

Mai Helene Grosås
Kamilla Mortensen

Utvikling av en webapplikasjon for arbeid med tallinjen

Et system med bruk av spillifisering for å motivere unge skoleelever

Bacheloroppgave i Dataingeniør

Veileder: Jonathan Jørgensen

Mai 2022

Mai Helene Grosås
Kamilla Mortensen

Utvikling av en webapplikasjon for arbeid med tallinjen

Et system med bruk av spillifisering for å motivere unge skoleelever

Bacheloroppgave i Dataingeniør
Veileder: Jonathan Jørgensen
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for datateknologi og informatikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Denne oppgaven handler om utviklingen av en webapplikasjon for barn i 1.-5. trinn. Hensikten med applikasjonen er å la barn løse oppgaver i matematikkundervisningen med tallinjen som verktøy. Ved bruk av en slik applikasjon ønsker oppdragsgiverne å utforske om elever blir mer motiverte til å arbeide med tallinjen, og også om de utvikler sine evner innen matematisk resonnering på en annen måte enn ved bruk av en tradisjonell tallinje på ark.

Webapplikasjonen har blitt utformet med inspirasjon fra andre populære læringsapplikasjoner. Kahoot og Duolingo er undersøkt som applikasjoner for læring som er morsomme og motiverende å bruke.

Under utviklingen har det blitt lagt vekt på brukervennlighet og et gøyalt brukergrensesnitt. Juiciness er et begrep som har oppstått i forbindelse med spillutvikling, og underveis i prosjektet har det blitt undersøkt hva *juicy elementer* kan innebære. I applikasjonen er det brukt ulike virkemidler som skaper et positivt uttrykk og er passende for målgruppen.

Det er oppdaget at spillbasert læring kan brukes for å gjøre læringsaktiviteter engasjerende og motiverende. Denne oppgaven har undersøkt hvordan ulike *spillifiseringselementer* kan brukes i en læringsapplikasjon for å gjøre den motiverende for unge skoleelever.

Resultatet av utviklingen er en webapplikasjon som tilbyr elever flere oppgavesett, hvor hvert oppgavesett inneholder oppgaver av ulike vanskelighetsgrader. Med en smidig utviklingsmetode har webapplikasjonen blitt utviklet gjennom iterasjoner, og det har vært jevnlig kommunikasjon med oppdragsgiver og fin flyt av arbeidsoppgaver. Ett av hovedfunnene ved oppgaven er at spillifisering kan være fint å bruke i læringsssammenhenger, og gjerne sammen med en passende mengde juiciness. Spillifisering og juiciness er aldri nok til å øke læringsutbytte i seg selv, men kan være gode hjelpemidler dersom de brukes for å fremheve allerede anerkjente læringsmetoder.

Abstract

This bachelor thesis is written about the development of a web application for young children in grade 1.-5. in the Norwegian School System. The purpose of the application is to let children solve problems in mathematics using the number line as a tool. The clients goal of this project is to explore whether children become more motivated to work with the number line, and whether they develop their skills in mathematical reasoning in a different way when using such an application, compared to using a traditional number line on paper.

The web application has been designed with inspiration from other popular learning applications. Kahoot and Duolingo have been researched as learning applications that are fun and motivating to use.

During the project, emphasis has been placed on user-friendliness and a fun user interface. Juiciness is a concept that has arisen in connection with game development, and during the project it has been investigated what *juicy elements* can actually mean. The application uses various tools that create a positive expression and are suitable for the target group.

It has been discovered that game-based learning can be used to make learning activities engaging and motivating. This thesis has investigated how different *gamification elements* can be used in a learning application in order to make it motivating for young school students.

The result of the bachelor project is a web application that offers the students several task sets, where each task set contains several tasks with varying levels of difficulty. With the use of agile development, the web application has been developed through iterations, and there has been regular communication with the client and a good flow of work tasks. One of the main findings from the thesis is that gamification can be suitable to use in learning contexts, and preferably together with an appropriate amount of juiciness. Gamification and juiciness are never enough to increase learning outcomes by themselves, but can be good aids if used to highlight some already recognized learning methods.

Forord


Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med det avsluttende faget IDATT2900 Bacheloroppgave for studieretningen Dataingeniør ved Institutt for datateknologi og informatikk ved NTNU.

Oppgaven er gjennomført på oppdrag fra førsteamanuensis Hermund André Torkildsen og universitetslektor Øistein Gjøvik ved Institutt for lærerutdanning ved samme universitet. Ideen ble presentert som et morsomt konsept å se nærmere på, og oppgaven ble valgt fordi det virket som om utviklingen kunne by på spennende oppgaver.

Etter tildeling av oppgaven ble det holdt et møte med oppdragsgivere for å bedre forstå hva de ønsket og så for seg. Deretter satte gruppen i gang med å legge planer for prosjektet. Underveis ble det holdt jevnlig møter med oppdragsgiver for å tilse at prosjektet utviklet seg i ønsket retning.

Gruppen vil gjerne takke Torkildsen og Gjøvik for en spennende oppgave. Tilliten fra dem har gitt stort spillerom og en følelse av eierskap i utviklingen av webapplikasjonen. Gruppen vil også takke veileder Jonathan Jørgensen for å ha vært en engasjert og vennlig veileder som har kommet med gode råd underveis.

Trondheim 19. mai 2022



Mai Helene Grosås



Kamilla Mortensen

Oppgavetekst

Ambisjonene for bacheloroppgaven har vært å utvikle en motiverende webapplikasjon for skoleelever i 1.-5.trinn. Hensikten med applikasjonen er å trene elevene på matematisk resonnering ved hjelp av tallinjen.

Applikasjonen har blitt utviklet som et "spill" hvor elevene kan oppnå en mer fleksibel forståelse av tallinjen gjennom arbeid med ulike addisjon- og subtraksjonsoppgaver. Brukergrensesnittet har som mål å være enkelt og pent, og utformet på en mest mulig intuitiv måte for barn. Formålet med spillet er å motivere elevene til å bruke mer tid på arbeid med tallinjen i applikasjonen, enn de ville gjort med tradisjonelle oppgaver med tallinjen på ark. Et overordnet mål har vært at elevene, gjennom å arbeide i applikasjonen, til slutt behersker det som kalles den åpne tallinjen.

I utgangspunktet har det også vært ønskelig med sider som kun er tilgjengelig for lærere. Lærerne skulle ha funksjonalitet for å lage egne oppgavesett og dele disse med elevene sine ved hjelp av en PIN-kode. I tillegg har det vært ønskelig å kunne lagre og analysere data fra elevenes arbeid.

Funksjonaliteten for lærere har blitt definert, og er inkludert i oppgavens funksjonelle krav og skisserte prototyper. Utviklingen av lærersidene har allikevel måtte utgå til fordel for god kvalitet ved en intuitiv, motiverende og leken elevvisning.

Oppdragsgiverne har utelukkende stilt med funksjonelle krav, og har ikke hatt krav til teknologi eller utviklermiljø.

Innhold

Figurer	7
Tabeller	7
Forkortelser/symboler	8
1 Introduksjon og bakgrunn	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Hovedrapportens struktur	2
2 Teori og relevant litteratur	3
2.1 Tallinjen	3
2.1.1 Tallinje med markeringer	3
2.1.2 Den åpne tallinjen	3
2.2 Kriterier for læremidler i matematikk	4
2.3 Menneske-maskin-interaksjon	5
2.4 Brukergrensesnitt i læringsapplikasjoner for barn	5
2.5 Spillbasert læring og spillifisering	6
2.6 Juiciness	8
2.7 Teknologi	8
2.7.1 Backend-as-a-Service	8
2.8 Forsknings- og utviklingsmetodikk	9
2.8.1 Smidig utvikling med kanban	9
2.8.2 Brukertest med barn	10
3 Metode	11
3.1 Forskningsmetodikk	11
3.1.1 Litteraturstudie og uformell case-studie	11
3.1.2 Meningsmåling med bruk av digitale prototyper	11
3.1.3 Brukertest med barn	11
3.2 Utviklingsmetode	13
3.2.1 Smidig systemutvikling med kanban	13
3.2.2 GitLab	13
3.3 Valg av teknologier	13
3.3.1 Frontend: React	13
3.3.2 Backend: Firebase	14
3.3.3 Designverktøy	14
4 Resultater	15
4.1 Vitenskapelige resultater	15
4.1.1 Brukergrensesnitt	15
4.1.2 Resultat fra meningsmåling	20
4.1.3 Brukertest med barn	21

4.2	Ingeniørfaglige resultater	21
4.2.1	Produktets funksjonelle krav	21
4.2.2	Produktets ikke-funksjonelle krav	23
4.3	Administrative resultater	25
4.3.1	Fremdriftsplan	25
4.3.2	Timeregnskap	25
4.3.3	Utviklingsmetodikk	27
5	Diskusjon	28
5.1	Diskusjon av vitenskapelige resultater	28
5.1.1	Brukergrensesnitt tilpasset barn	28
5.1.2	Spillifisering	30
5.1.3	Juiciness	31
5.1.4	Sammenhengen mellom spillifisering, juiciness og MMI	32
5.1.5	Styrker og svakheter ved meningsmålingen	33
5.1.6	Styrker og svakheter ved brukertest med barn	33
5.2	Diskusjon av ingeniørfaglige resultater	34
5.2.1	Funksjonelle krav	34
5.2.2	Ikke-funksjonelle krav	34
5.3	Diskusjon av administrative resultater	36
5.3.1	Fremdriftsplan	36
5.3.2	Timeregnskap	36
5.3.3	Utviklingsmetodikk	37
5.3.4	Samarbeid	37
6	Konklusjon og videre arbeid	39
6.1	Konklusjon	39
6.2	Videre arbeid	40
	Samfunnspåvirkning	41
	Referanser	44
	Vedlegg	47

Figurer

1	Tallinje med markeringer langs linjen	3
2	Åpen tallinje, hvor de eneste markeringene er de eleven setter selv	4
3	Hvordan en Kanban-tavle kan se ut	10
4	Utformning av nettside med lenke til alternativer og spørreundersøkelse	12
5	Flyten i elevvisningen	15
6	Visning av landingsside	16
7	Utviklingen av slottet på siden med et oppgavesett	17
8	Brukergrensesnitt for visning av tallinjen	18
9	Brukergrensesnitt for visning av åpen tallinje	18
10	Hjelpeside	19
11	Tilbakemelding på riktig løsning av oppgave	19
12	Tilbakemelding på feil løsning av oppgave	19
13	Tilbakemelding på løst oppgavesett	20
14	Kontrastsjekk av bakgrunnsfarge på hovedknapp mot hvit skrift	24
15	Kontrastsjekk av lys rosa bakgrunnsfarge mot mørk rosa hovedknapp	24
16	Samlet tidsbruk for gruppen hver uke i prosjektperioden	26
17	Applikasjonens karakter i ulike situasjoner	28
18	Fargepalett brukt i applikasjonen	29
19	Visning av oppgavesett for en bruker med fargeblindhet	29

Tabeller

1	Nivåer av spilldesign (reprodusert fra (Deterding et al. 2011))	7
2	Resultater fra meningsmålingen	20
3	Funksjonelle krav	23
4	Resultater av WCAG prinsipp 1	23
5	Estimert og faktisk tidsbruk i timer per kategori i timelistene	26
6	Resultater av funksjonelle krav for elevvisning	34

Forkortelser/symboler

- API - Application Programming Interface (programmeringsgrensesnitt)
- CSS - Cascading Style Sheets
- DevOps - Development Operations
- GDPR - General Data Protection Regulation (personvernslovgivning for EU)
- HTML - HyperText Markup Language
- LCA - Life Cycle Assessment (Livsløpsanalyse)
- MMI - Menneske-maskin-interaksjon (HCI på engelsk)
- MVP - Minimum Viable Product (Minste brukbare produkt)
- NoSQL - Not Only SQL (Ikke-relasjonell database)
- NSD - Norsk Senter for Forskningsdata
- OWASP - Open Web Application Security Project
- Sass - Syntactically Awesome Stylesheets
- SQL - Structured query language
- Udir - Utdanningsdirektoratet
- WCAG - Web Content Accessibility Guidelines

1 Introduksjon og bakgrunn

1.1 Bakgrunn

Under Corona-pandemien oppdaget førsteamanuensis Hermund André Torkildsen og universitetslektor Øistein Gjøvik ved Institutt for lærerutdanning ved NTNU behovet for et digitalt tilbud til øving med tallinjen i matematikkundervisningen. Webapplikasjonen skulle være enkel å bruke for elever og lærere. Mens lærere helst skulle gi elever tilgang til et oppgavesett ved hjelp av en PIN-kode, skulle elevene i 1.-5. trinn enkelt kunne finne og løse oppgaver hjemmefra på nettbrett eller datamaskiner.

Tallinjen er en kjent ressurs i matematikkundervisningen i barneskolen. Den tegnes opp som en horisontal linje, tradisjonelt på ark, med tall skrevet i stigende rekkefølge langs linjen. Man kan tegne buer mellom to tall for å visualisere "hopp", som blant annet kan brukes for å illustrere regnestykker innen addisjon og subtraksjon.

I læreplanen står det et kompetansemål som beskriver ønskede ferdigheter med tallinjen etter 7. trinn. Kompetansemålet beskriver at elever skal kunne "bruke tallinjen i regning med positive og negative tall" (Utdanningsdirektoratet 2022). For å oppnå dette kompetansemålet, må elevene lære å bruke tallinjen som et verktøy for å illustrere sin tankegang i løsningen av oppgaver (Svingen 2018). Når elevene også lærer seg andre verktøy, som klosser eller perlesnor, utvikles en dypere forståelse for de ulike representasjonene og problemløsning over tid (Svingen 2018). På denne måten kan tallinjen brukes som ett av flere verktøy som bidrar til å styrke elevenes evne innen matematisk resonnering.

I 2020 kom Kunnskapsløftet med en ny skolereform og oppdatert læreplan. Rundt samme tid utarbeidet Utdanningsdirektoratet en rekke med kvalitetskriterier for læringsmidler i ulike fag. På grunn av et økende bruk av datamaskin og nettbrett i skolen, er det også laget spesifikke kvalitetskriterier for *digitale læremidler*. Disse har som hensikt å gi produktutviklere, innkjøpere og lærere en indikasjon på hva som er et godt læremiddel (Svingen & Gilje 2018).

Det finnes mange populære læringsapplikasjoner på markedet; eksempler på disse er Kahoot, Duolingo og HeiAlbert. Det de har felles, er at de tar i bruk ulike motiverende elementer for å appellere til brukeren. Noen av elementene kan kategoriseres som spillifiseringselementer, og handler om å bringe spill-elementer inn i nye kontekster (Daniela 2021a). Andre elementer kan tilskrives juiciness, og handler om en god og helhetlig brukeropplevelse (Abeele, Dickinson, Gerling & Hicks 2019).

1.2 Problemstilling

Prosjektet har gått ut på å lage en brukervennlig webapplikasjon som passer for skoleelever på 1.-5. trinn. For å gjøre applikasjonen motiverende, har det vært fokus på

å implementere elementer fra spillifisering og juiciness. Etter hvert som applikasjonen har blitt utviklet, har hovedfokuset blitt mer og mer rettet mot motiverende elementer fra spillutvikling. Oppgavens problemstilling har blitt som følger:

Hvordan kan elementer fra spillifisering brukes for å motivere barn til å lære matematikk ved hjelp av en tallinje?

1.3 Hovedrapportens struktur

Rapporten er strukturert på følgende måte:

Kapittel 1 - Introduksjon og bakgrunn inneholder informasjon om bakgrunnen for oppgaven og hvilke problemstillingen gruppen har jobbet med.

Kapittel 2 - Teori presenterer informasjon om ulike relevante temaer for bacheloroppgaven.

Kapittel 3 - Metode tar for seg hvordan gruppen har jobbet med oppgaven.

Kapittel 4 - Resultater presenterer hva gruppen har oppnådd i forhold til målene som ble beskrevet i forprosjektplanen (se vedlegg A).

Kapittel 5 - Diskusjon tar for seg hvorvidt problemstillingene ble besvart, hva som var bra og dårlig, samt hvorfor resultatene ble slik som de ble.

Kapittel 6 - Konklusjon presenterer de konklusjonene som kan trekkes fra arbeidet med problemstillingen. Det inkluderes også anbefalinger for videre arbeid.

Samfunnspåvirkning er et tilleggskapittel som drøfter arbeidet i et helhetlig systemperspektiv. Resultatene settes i en miljømessig og samfunnsmessig kontekst. Relevante etiske problemstillinger blir diskutert.

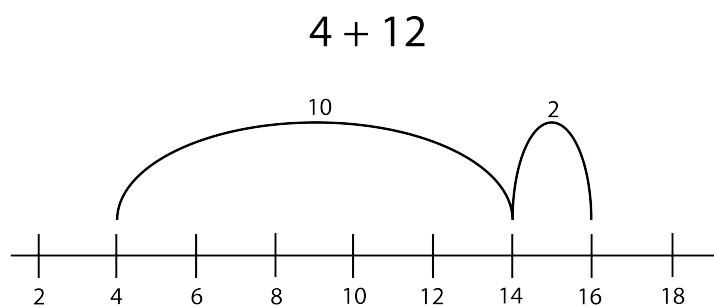
2 Teori og relevant litteratur

Dette kapitlet introduserer relevant teori for bacheloroppgaven. Først introduseres tallinjen på nytt for å gi litt mer dybde enn i oppgavens innledning. Deretter kommer en mer grundig beskrivelse av Utdanningsdirektoratets kvalitetskriterier for digitale læremidler i matematikk. Videre presenteres tidligere forskning på menneske-maskin-interaksjon, design av læringsapplikasjoner for barn, samt spillifisering og juiciness. Til slutt presenteres relevante begreper for teknologi, forsknings- og utviklingsmetodikk.

2.1 Tallinjen

2.1.1 Tallinje med markeringer

Den tradisjonelle tallinjen er en horisontal linje med markeringer, hvor tall skrives i stigende rekkefølge fra venstre til høyre. Intervallene på tallinjen er satt i proporsjonale størrelsesforhold, og er fordelt jevnt utover linjen (Svingen 2018). Tallinjen kan brukes til ulike regneoperasjoner som addisjon, subtraksjon, brøk og algebra (Fosnot 2007).



Figur 1: Tallinje med markeringer langs linjen

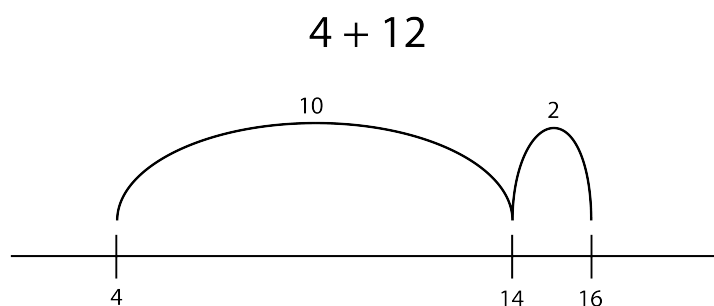
For å illustrere ulike regnestykker kan det tegnes buer mellom strekene. Det eksisterer flere strategier som kan benyttes for å illustrere regnestykkene: en kan tegne buer som "hopper" mellom ett og ett tall på tallinjen, en kan hoppe mellom ti og ti tall om gangen, eller gjøre en valgfri kombinasjon av ulike hopp. I realiteten finnes det uendelig mange måter å illustrere et regnestykke på, og det er opp til eleven å finne og bruke strategier som passer for seg.

2.1.2 Den åpne tallinjen

Den åpne tallinjen er kun tegnet som en horisontal linje, og kan i likhet med den tradisjonelle tallinjen brukes til å illustrere elevens tankegang innen addisjon og

subtraksjon (Fosnot 2007). De eneste markeringene på linjen er tallene som elevene setter selv. Buene på den åpne tallinjen behøver ikke ha korrekte størrelsesforhold mellom seg.

Når elever har lært seg grunnprinsippene med en tallinje med markeringer, kan de gå over til å bruke den åpne tallinjen. Kunnskapen om den "den tradisjonelle" tallinjen brukes fortsatt ved at den ligger i bakhodet som mental støtte (Svingen 2018).



Figur 2: Åpen tallinje, hvor de eneste markeringene er de eleven setter selv

2.2 Kriterier for læremidler i matematikk

Digitale læremidler kjennetegnes av Utdanningsdirektoratet ved at de tar utgangspunkt i læreplanmålene, har oppgaver som må løses, og kan inkludere ulike former for belønning (Svingen & Gilje 2018). Læremidler i matematikk skiller seg fra læremidler i andre fag ved at de har hovedfokus på oppgavene som elever skal løse, og mindre fokus på tekst (Svingen & Gilje 2018). Et eksempel på et læremiddel er Gyldendals Skolestudio.

Utdanningsdirektoratet har utviklet en rekke med kvalitetskriterier for læringsmidler i ulike fag (Svingen & Gilje 2018). Kvalitetskriteriene for digitale læringsmidler i matematikk er delt inn i tre kategorier:

- Design
- Pedagogisk og didaktisk kvalitet
- Kopling til læreplanverket

Læremidler skal som følge av kriteriene være brukervennlige og oppfylle krav om universell utforming, og burde ha bevisst bruk av språk, uttrykk, bilder og figurer som er enkle å forstå (Utdanningsdirektoratet n.d.). Elevene skal ha muligheten til å benytte

læremiddelet med sitt hovedmål som skriftspråk. Læremidlene må også være utviklet etter forskriftene om personopplysninger.

2.3 Menneske-maskin-interaksjon

MMI handler om hvordan mennesker interagerer med maskiner. Brukergrensesnittet i applikasjoner er sentralt for denne interaksjonen. Gjennom grensesnittet kan brukere få output fra maskinen og selv gi input til maskinen (Chao 2009).

Brukskvalitet oppsummeres av Maddix som hovedessensen av MMI i sin bok *Human-computer Interaction* (Maddix 1990). I følge Jakob Nielsen er et datasystem med høy brukskvalitet et system som (Nielsen 1993):

- Er lett å lære
- Er effektivt å bruke
- Er lett å huske
- Har få feil ved bruk
- Er subjektivt tilfredsstillende å benytte

Et system med høy brukskvalitet vil være givende for brukere å interagere med ettersom de slipper frustrasjon ved å ikke forstå, eller frustrasjon over at systemet er tungvint å bruke. For å oppnå høy brukskvalitet er det viktig å ha innsikt i brukergruppen, bruke god tid på planlegging av brukergrensesnittet og teste det på brukergruppen.

2.4 Brukergrensesnitt i læringsapplikasjoner for barn

En studie gjort av Latiff, Razali og Ismail i 2019 oppsummerte generelle retningslinjer i design av læringsapplikasjoner for barn med følgende elementer fra deres litteraturstudie (Latiff et al. 2019):

- **Innhold** - Brukergrensesnittet burde være konsekvent og ha gjenkjennelige objekter. Designet burde fungere på enheter med og uten berøringsskjerm. Det burde også fungere på ulike skjermstørrelser, og scrolling burde unngås hvis mulig. Applikasjonen burde inneholde motiverende elementer som historier eller rollespill.
- **Navigering** - Navigering på siden burde være intuitivt, og helst være på toppen eller bunnen av siden. Siden burde ikke kreve mer enn tre klikk for å komme til læringsinnholdet. Ved aktiviteter burde det være mulig å angre handlinger.
- **Tekst** - Språk burde være av en art som barnet forstår med konsis formulering og gode kontraster til bakgrunnen. Typografi burde ha god lesbarhet som barnet kan kjenne igjen fra andre arenaer, eksempelvis sans serif-fonter med stor skriftstørrelse og nøytrale farger.

- **Bilder og figurer** - Applikasjonen kan bruke figurer som kan snakke, bevege seg og bruke ulike ansiktsuttrykk. De kan fungere som positive rollemodeller for barna med nysgjerrige, smarte og lærevillige karakteristika. Bruk av beskrivende ikoner ved siden av tekst er hensiktsmessig.
- **Farger** - Det burde velges farger og bakgrunner som er tilfredsstillende for aldersgruppen, eksempelvis klare pasteller eller andre livlige fargetoner. Klare kontrastfarger burde kun brukes for å understreke noe. Det kan være fordelaktig med alternativ til fargetema.
- **Lyd** - Aktiv bruk av bakgrunnslyd og/eller lydeffekter. Det burde også være mulig å justere eller skru av disse.
- **Interaksjon** - Systemet burde interagere med barnet og gi tilbakemeldinger og belønning i passende grad. Dette kan blant annet gjøres med bruk av lyd, video, tekst eller animasjoner. Dette kan gjerne kommuniseres gjennom bruken av karakterer i spillet. Systemet burde tillate muligheter som "zoom in", "zoom ut" og enkle elementer som klikk og dra.

Prinsippene som nevnes samsvarer også med funnene i Trude Haugens masteroppgave *Designprinsipper for elektroniske læringsspill for barn* fra 2006. I tillegg poengteres viktigheten av alderstilpasning, da hennes brukertest av læringsspillet *Babilani* viste at elevene kunne like spillet fordi det hadde kult design, til tross for kompliserte instruksjoner og problemer med oppgaveløsning (Haugen 2006).

2.5 Spillbasert læring og spillifisering

Spillbasert læring blir brukt for å motivere elever til å være mer aktive og engasjerte i læringsprosesser ved å legge til morsomme elementer (Daniela 2021a). Økt engasjement vil videre føre til økt læringsutbytte. Spillbasert læring kan eksempelvis gjøres ved bruk av spill og lek for læring, eller ved å kun bruke enkelte spill-elementer i en læringskontekst for å oppnå ønsket effekt - dette kalles spillifisering.

Spillifisering kan defineres som bruk av elementer fra spill utenfor spillsammenheng (Daniela 2021a). Ved å bruke spillifisering i undervisningssammenhenger kan elevenes atferd, motivasjon og følelse av tilhørighet bidra til utvikling av kunnskap og ferdigheter. Fordi utviklingen av gode spill kan være ressurs- og tidkrevende, kan det være et godt alternativ å bruke spillifisering for å gi eksisterende læringsmateriale en liknende effekt med lavere kostnad (Daniela 2021b).

Ulike spillkarakteristika kan brukes hver for seg eller sammen for å oppnå ønsket effekt av spillifisering. Deterding et al. satte i 2011 opp en inndeling av nivåer og tilhørende eksempler innen spilldesign, som vist i Tabell 1.

Det er også forsket på negative effekter av spillifisering. I *The Dark Side of Gamification: An Overview of Negative Effects of Gamification in Education* ble det identifisert fire mulige negative effekter: likegyldighet, avtagende effekter, tap av

Nivå	Beskrivelse	Eksempel
Spillgrensesnitt-designmønstre	Felles, suksessfulle interaksjonsdesign-komponenter og designløsninger for et kjent problem i en kontekst, inkludert prototypiske implementasjoner	“Badge”, ledertavle, nivå
Spilldesignmønstre og mekanikk	Ofte gjentatte deler av designet av et spill som omhandler spillingen	Tidsbegrensing, begrensede ressurser, bytte på tur
Spilldesignprinsipper og -heuristikk	Evaluerende retningslinjer for å nærme seg et designproblem eller analysere en gitt designløsning	Utholdende spill, klare mål, variasjon i spillstil
Spillmodeller	Konseptuelle modeller av komponenter av spill eller spillopplevelse	Mekanikk, dynamikk og estetikk; utfordring, fantasi, nysgjerrighet; formelle elementer av spilldesign; kjerneelementer ved spillopplevelse
Spilldesignmetoder	Spesifikke øvelser og prosesser for spilldesign	Spilltesting, spillsentrert design, verdibevisst spilldesign

Tabell 1: Nivåer av spilldesign (reprodusert fra (Deterding et al. 2011))

ytelse og uønsket oppførsel (Toda et al. 2018). Likegyldighet handler om muligheten for at spillelementene ikke har noen innvirkning på læring sammenliknet med tradisjonelle læringsmetoder, mens avtagende effekter handler om at spillifiseringen har gode effekter på elevene i starten, men at disse avtar underveis når eleven blir vant med spillet. Tap av ytelse var den mest rapporterte effekten. I denne kategorien ble det rapportert at noen elever ikke forstod reglene for spillet, og at dette kan ha påvirket ytelsen. Andre rapporterte at elever ble mer fokusert på spill-effektene enn selve oppgaven. Et siste eksempel var at noen elever følte at spillifiseringen gjorde oppgavene for vanskelige, hvilket påvirket deres arbeid og læring. Den nest mest rapporterte effekten som virket negativt på spillifisering, var uønsket oppførsel. Dette handler om at tiltakene kan virke mot sin hensikt, for eksempel ved at elevene blir frustrert over elementene, eller rett og slett ikke liker designet (Toda et al. 2018).

I artikkelen *Developing a Theory of Gamified Learning: Linking Serious Games and*

Gamification of Learning fra 2014 beskrives viktigheten av å ta bevisste valg rundt bruk av spillifisering. Artikkelen fant at effektene av spillifiseringen vil være avhengig av de valgte elementene som brukes og konteksten de brukes i. Spillifisering kan altså ikke føre til læring i seg selv, og læringsmaterialet som brukes burde ha bevist gode effekter i utgangspunktet (Landers 2014).

2.6 Juiciness

Juiciness er et begrep som har oppstått i forbindelse med spillutvikling, og beskrives gjerne som en helhetlig bruk av virkemidler som gir en god "spill-følelse". Det kan blant annet innebære bruk av audiovisuelle designelementer eller andre virkemidler som gir bekreftende, eksplisitte tilbakemeldinger til brukeren (Abeelee et al. 2019). En studie fra 2019 så på sammenhengen mellom juiciness og brukernes oppfatning av spillet, og effekter på resultatoppgjøret. Studien fant at juiciness hadde målbare effekter på brukernes inntrykk av spillet, uten å ha målbar effekt på ytelse eller resultatoppgjøret (Abeelee et al. 2019). Dette ble ansett som et viktig funn, spesielt fordi bruken av spillifisering og juiciness øker i omfang.

I 2020 ble det publisert en stor studie på effektene av juiciness i et RPG. RPG betyr Role playing game, og er en type spill hvor brukeren gjør handlinger gjennom en karakter og følger en gitt historielinje. I studien ble det innført ulike grader av juiciness i spillet: ingen, medium, høy, eller ekstrem, og det ble testet på en gruppe med 3018 testpersoner. Resultatene viste at ingen eller ekstrem bruk av juiciness reduserte spilltid, brukeres oppfatning av spillet, indre motivasjon og ytelse sammenliknet med medium og høy grad av juiciness (Kao 2020). Disse funnene var signifikante. Til forskjell fra forskningen presentert i forrige avsnitt, viste denne studien at juiciness også kan ha målbare effekter på ytelse.

Studien ovenfor så kun på den helhetlige bruken av elementer, og tilbød ikke deltakerne å bytte mellom de ulike nivåene underveis i testingen. Forfatterne poengterte at dette kunne være en potensiell svakhet, og at mer eller mindre juiciness kunne vært foretrukket i spesifikke deler av spillet. Det viktigste funnet var allikevel at juiciness har ekte, målbare effekter på spillopplevelsen, indre motivasjon og spilltid (Kao 2020).

2.7 Teknologi

2.7.1 Backend-as-a-Service

Backend-as-a-service (BaaS) er en digital tjeneste som tilbyr utviklere å koble web- og mobilapplikasjoner til skylagring og prosessering på en enkel måte. Gjennom BaaS kan man få tilgang til funksjonalitet som brukerautentisering, databasehåndtering, fillagring, pushvarsler og integrering med sosiale medier (Cloudflare 2022). Akkurat hvilken funksjonalitet som er tilgjengelig vil variere litt med tilbyderen som blir valgt, men de ovennevnte funksjonene er universale.

Fordeler ved å bruke BaaS er at det er kostnadseffektivt og enkelt i bruk dersom utvikleren ønsker å fokusere på frontend-utvikling. BaaS kan dermed bidra til å øke utviklerhastigheten ettersom man unngår å bruke tid på å kode en backend-løsning.

For utviklere som ønsker mer kontroll over backend-koden sin, vil BaaS være et dårligere valg enn å kode backend selv. BaaS er med andre ord et godt verktøy for prosjekter som krever relativt standardisert funksjonalitet fra sin backend, mens prosjekter som krever mer omfattende funksjonalitet kan ha mer nytte av å utvikle sin egen.

2.8 Forsknings- og utviklingsmetodikk

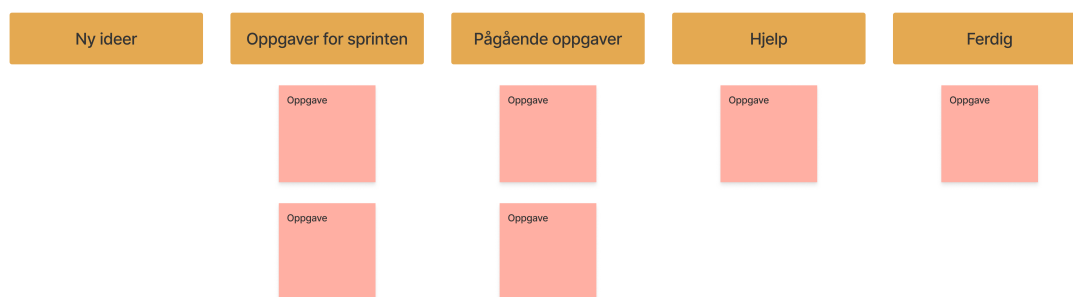
2.8.1 Smidig utvikling med kanban

Smidig systemutvikling er et samlebegrep for et sett med arbeidsmetoder og praksiser som er basert på *Manifestet for smidig programvareutvikling* (Eng: The Agile Manifesto) (Agile Alliance 2022). Det smidige manifestet ble utformet i 2001 av en gruppe med utviklere og teknologer som så behovet for et nytt fokus i systemutviklingsprosesser (Agile Manifesto 2001). De ønsket prosesser som var mindre dokumentasjonstunge og mer fokusert på mennesker og problemløsning. På bakgrunn av dette utviklet de fire grunnpilarer for manifestet:

*"Personer og samspill fremfor prosesser og verktøy
Programvare som virker fremfor omfattende dokumentasjon
Samarbeid med kunden fremfor kontraktsforhandlinger
Å reagere på endringer fremfor å følge en plan
(Agile Manifesto 2001)"*

Manifestet for smidig programvareutvikling består i tillegg av 12 overordnede prinsipper. Kort oppsummert fokuserer prinsippene på kundefokus, tverrfaglig samarbeid, kommunikasjon, fungerende kildekode, gode tekniske løsninger og hyppige delleveranser (Agile Alliance 2022). Grunnpilarene og prinsippene til manifestet har blitt et utgangspunkt for smidige utviklingsmetodikker og verktøy.

Kanban-tavle er eksempel på et smidig verktøy som kan være fysisk eller digitalt, og brukes til å organisere pågående arbeid (Rehkopf 2022). I sin enkleste form brukes det en tavle med ulike notatlapper for å illustrere oppgaver som skal gjøres. Disse lappene flyttes rundt mellom områder på tavlen, hvor hvert område representerer ulike kategorier som "må gjøres", "arbeides med" og "er ferdig". Nye notatlapper med oppgaver kan raskt henges opp på tavlen, og ideer man legger fra seg kan plukkes ned. Ved smidig utvikling med kanban er det enkelt å visualisere arbeidsflyten i prosjekter og fordele oppgaver mellom gruppe-medlemmer.



Figur 3: Hvordan en Kanban-tavle kan se ut

2.8.2 Brukertest med barn

Hensikten med brukertester er å teste brukskvaliteten på produkter og å oppnå større brukerinnsett. Brukertest er noe som kan gjøres gjennom hele utviklingsløpet til et produkt, fra utviklingsprosessen starter med "low fidelity prototyper" i papp eller på ark til testing kort tid før produktet distribueres på markedet i ferdig kodet form (Cantuni 2020). Det er også vanlig å teste ny funksjonalitet underveis som en del av smidig utvikling.

I *Designing Digital Products for Kids* skriver Rubens Cantuni om viktigheten av brukertest med barn. Mens voksne forventes å gi samme resultater selv med et aldersspenn på 40 år, vil relativt små aldersforskjeller, som 2 år, ha veldig stor betydning for brukertest med barn i utvikling (Cantuni 2020). Det er flere ting å ta hensyn til ved brukertest med barn enn med voksne. Den viktigste forskjellen er at testing med barn krever samtykke fra foreldre, mens voksne kan gi eget samtykke til å delta.

I Norge er det Norsk Senter for Forskningsdata (NSD) som ser til at innhenting, behandling og lagring av data skjer på en forsvarlig måte (NSD 2022b). De presiserer viktigheten av frivillig deltakelse i forskning på skole- og barnehagebarn. Foresatte har juridisk samtykke til barn er minimum 15 år, men barnet må uansett ha et eget ønske om å delta (NSD 2022a). All kommunikasjon og spørsmål til barnet må tilpasses dens alder og språklige ferdigheter. Det må alltid være tydelig at barnet kan velge om de vil være med, og at de alltid kan stille spørsmål og trekke seg fra forskningsprosjektet.

Til slutt må det alltid vurderes om forskningens formål står i stil med utformingen av forskningsprosjektet og dataene som skal innhentes. Barn skal aldri belastes for at det gjennomføres forskning (NSD 2022a).

3 Metode

Metodekapittelet er delt inn i forskningsmetodikk og utviklingsmetodikk. Forskningsmetodikken beskriver de tiltakene som har blitt brukt for å innhente eksisterende eller skape ny kunnskap, mens utviklingsmetodikken viser til valg av teknologi og hvordan produktet har blitt utviklet i praktisk forstand.

3.1 Forskningsmetodikk

3.1.1 Litteraturstudie og uformell case-studie

Det har blitt gjennomført litteratursøk for å lære om tallinjen og bruk av den i skolen, samt spillifisering, juiciness og design av brukergrensesnitt for barn. Det finnes godt dokumentert kunnskap om emnene i bøker, læreverk og tidsskrifter. I tillegg til litteraturstudie er det også gjort uformelle case-studier av de populære læringsapplikasjonene Duolingo, Kahoot og HeiAlbert.

3.1.2 Meningsmåling med bruk av digitale prototyper

I arbeidet med å lage en brukervennlig applikasjon er det laget fire digitale prototyper for tallinjen. Disse ble distribuert på et eget webdomene sammen med en tilhørende meningsmåling. Hensikten med dette var å avdekke det mest brukervennlige alternativet av de fire prototypene.

Nettskjema ble valgt som et fleksibelt og sikkert verktøy for å utforme og innhente data (NTNU 2022). Spørsmålene ble utformet for å unngå lagringen av sensitive personopplysninger i tråd med GDPR og for å anonymisere testpersonene. Undersøkelsen måtte tilrettelegges for at barn under 18 skulle vise til samtykke fra voksen, fordi det også var et ønske om at barn skulle kunne delta. Det ble valgt å åpne opp for svar fra alle aldersgrupper, fordi målet med meningsmålingen var å finne en indikasjon på hva som er brukervennlig, samtidig som det var et ønske om å samle inn mange svar på kort tid.

Rekrutteringen til meningsmålingen ble gjort ved at oppdragsgiverne delte lenken med sine lektorkolleger, ved publisering på facebookside *Matematikkside for lærere i grunnskolen - del lær spør* og ved å dele meningsmålingen med bekjente lærere og lærerstudenter. Innhenting av svar ble gjort mellom 16. februar og 1. mars 2022. Se vedlegg F for å studere meningsmålingen i sin helhet.

3.1.3 Brukertesting med barn

Brukertester med barn ble ansett som svært sentralt for å undersøke brukervennligheten ved applikasjonen. For å rekruttere skoler til å gjennomføre brukertestene på, ble det valgt å sende ut mail til skoleledelsen ved ni skoler i Trondheimsregionen. Før skolene ble kontaktet ble det produsert en intervjuguide for



Figur 4: Utforming av nettside med lenke til alternativer og spørreundersøkelse

gjennomføring av eventuelle brukertester.

Intervjuguiden bestod av en innledende fase med informasjon, en hoveddel for testing av applikasjonen med ulike "oppgaver", og en avslutning med tid til spørsmål. Den ble utarbeidet med grunnlag i maler fra Steve Krug, ekspert på brukervennlighet og forfatter av boken *Don't make me think* (Krug 2014). For å tilpasse guiden til å passe for barn, ble Kapittel 9 i boken *Designing Digital Products for Kids* brukt som kunnskapsgrunnlag (Cantuni 2020). Det ble besluttet å bruke skriftlige notater som dokumentasjon for å beskytte elevenes identitet og senke terskelen for å delta. Intervjuguiden ligger ved oppgaven som vedlegg G.

3.2 Utviklingsmetode

3.2.1 Smidig systemutvikling med kanban

Webapplikasjonen er utviklet ved bruk av en smidig tilnærming uten en spesifikk utviklingsmetodikk. I startfasen av prosjektet ble det planlagt at design og utvikling skulle foregå i iterasjoner, hvor ny funksjonalitet skulle implementeres for hver runde. Det var dessuten fokus på å arbeide kontinuerlig, og ha jevnlig møter med oppdragsgiver og veileder underveis i prosjektet. Online-verktøyet Trello ble brukt som kanban-tavle for å organisere arbeidsflyten i hver iterasjon.

3.2.2 GitLab

GitLab har blitt brukt som DevOps-verktøy for samarbeid med og versjonskontroll av kildekode. Dette har vært essensielt for å kunne fordele og organisere arbeidsflyten på den måten som var ønskelig. Det har vært fokus på å kvalitetssjekke hverandres kode underveis. Hver merge request som har blitt gjort av ett gruppemedlem, skulle gjennomgås og godkjennes av det andre gruppemedlemmet.

3.3 Valg av teknologier

3.3.1 Frontend: React

Prototypene som ble utviklet for tallinjen ble kodet med "vanilla JavaScript", JavaScript uten bruk av rammeverk. Formålet med prototypene var rask utvikling og testing, og det var ikke behov for gjenbruk av kodesegmenter eller avansert flyt av informasjon mellom sider.

Til utviklingen av den endelige webapplikasjonen var det ønske om å bruke et rammeverk eller bibliotek for å skape en kjent struktur og gjøre prosjektet enkelt å overta etter prosjektslutt. Applikasjonen skulle kunne vise de samme sidene flere ganger, som med oppgavesett og regnestykker, med ulike variasjoner. Webapplikasjonen skulle også være kompatibel med enheter med og uten berøringsskjerm. Hyppige endringer som følge av at buer ville bli tegnet og fjernet var

også en indikator på at bruken av rammeverk ville være nyttig.

React er et populært rammeverk med god dokumentasjon, og ble valgt til utviklingen av webapplikasjonen. I tillegg ble Sass valgt som utvidelse for CSS for å kunne gjenbruke styling på tvers av filstrukturen. Mer informasjon om systemet kan leses i systemdokumentasjonen i vedlegg E.

3.3.2 Backend: Firebase

Prosjektet krevde kun tilgang til en database for lagring av oppgaver og oppgavesett. Det var dessuten en prioritet å bruke mye tid på utviklingen av brukergrensesnittet. For å minimere tiden brukt på backend, ble det derfor valgt å bruke en BaaS. Valget falt på tilbyderen Firebase som er utviklet av Google, med tjenesten Cloud Firestore som er en NoSQL-database (Firebase 2022).

Det kan bli aktuelt å utvide applikasjonen for at lærere kan ha brukere i fremtiden slik at de kan opprette, redigere, slette og hente ut data fra oppgavesett. Dersom man skal lage slike brukere vil Firebase enkelt kunne hjelpe med brukerhåndtering og autentisering.

3.3.3 Designverktøy

Figma

Siden prosjektet har krevd design av en webapplikasjon fra bunnen av, har det vært behov for verktøy til idèmyldring og designskisser. Figma er et nettbasert verktøy for utforming av brukergrensesnitt og prototyping som er gunstig for samarbeid (Figma 2022a).

FigJam

FigJam er utviklet og distribuert av samme utgivere som Figma. Som et online tavle-verktøy, har FigJam blitt brukt til ulike aktiviteter som idèmyldring, notater, diagrammer og utviklingen av kreative konsepter (Figma 2022b).

Adobe Creative Cloud

Det ble valgt å lage egne animasjoner med programvarene Adobe Illustrator og Adobe After Effects for å ha størst mulig valgfrihet i designet og utviklingen av applikasjonen.

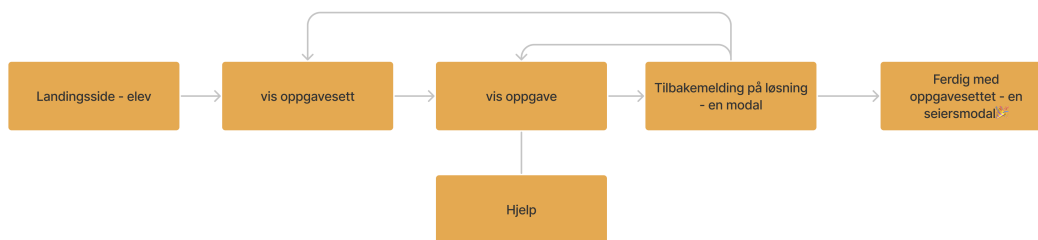
4 Resultater

Resultatene viser arbeidet som er tilbakelagt under prosjektperioden. De vitenskapelige resultatene presenterer det arbeidet som har blitt gjort for å svare på oppgavens problemstilling, mens de ingeniørfaglige resultatene vurderer produktiviteten i lys av målene som ble satt i starten av prosjektet. Administrative resultater viser gruppens arbeidsprosess gjennom timelister, møtevirksomhet og liknende.

4.1 Vitenskapelige resultater

4.1.1 Brukergrensesnitt

Den endelige webapplikasjonen har fokus på funksjonalitet for elevene. Applikasjonen består av 4 sider: landingssiden, en side for visning av oppgavesett, en side for løsning av oppgaver samt en hjelpeside. I tillegg er det flere sentrale komponenter, for eksempel modaler som brukes for tilbakemelding.



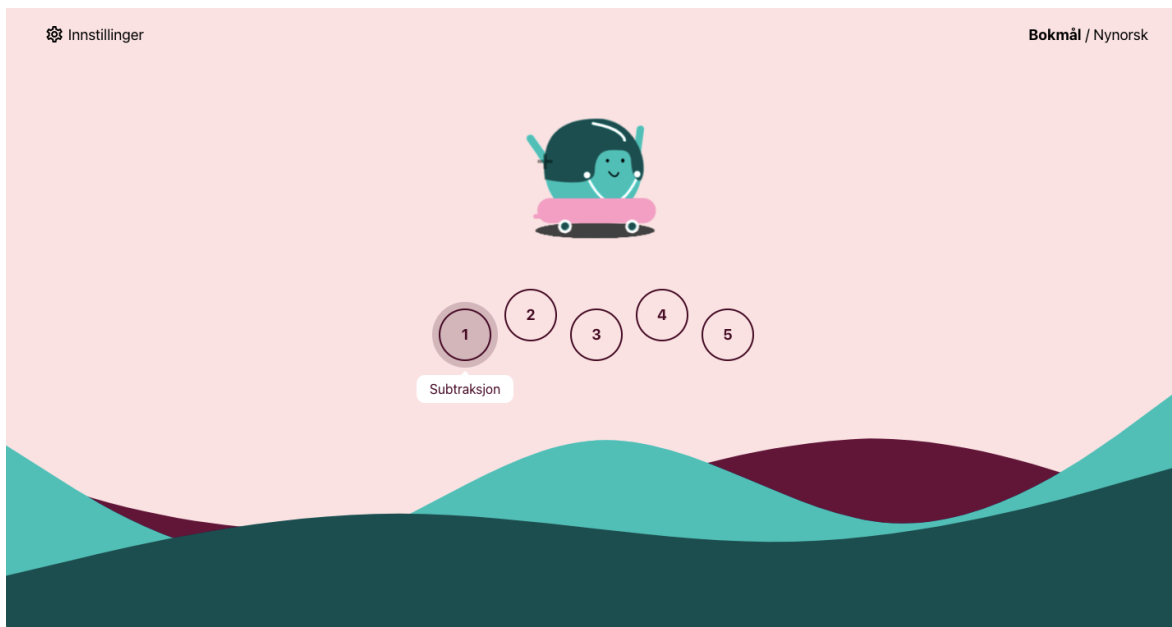
Figur 5: Flyten i elevvisningen

Flere design-elementer er gjennomgående for alle sidene i applikasjonen. Fargepallettet er gjennomgående, og det er alltid den samme "menyen" øverst i brukergrensesnittet, med innstillinger og muligheten for språkbytte. Ved innstillinger er det en juicy effekt ved at menyen sklir inn og ut, mens bakgrunnen ellers blir dempet for å rette fokuset mot menyen. På sider som benytter seg av en tittel er denne plassert på toppen av siden, og er designet som en hvit boks med skrift og et ikon for mulighet for tekst-til-tale. Når tekst blir lest opp vil man kunne se at ikonet pulserer svakt. Videre er det gjennomgående bruk av generelle lydeffekter som lyd ved klikk på knapper. Det er også en bakgrunnsmusikk som starter når man åpner et oppgavesett. Lyd er et kjerneelement for spillopplevelse, men kan også være forstyrrende, og det er derfor mulig å skru av lydene i innstillingene.

Landingssiden

Elevene blir først møtt med en landingsside, hvor de kan trykke på knapper som leder til hvert sitt oppgavesett. Vi kan se bruk av spillifisering ved at de ulike oppgavesettene

har ulike nivåer. Juiciness er implementert ved at knappene har en effekt ved hover og lager lyd ved klikk. Det er også brukt en animert karakter som sitter i en bil, og kjører avgårde når eleven klikker på en knapp for å åpne et oppgavesett.



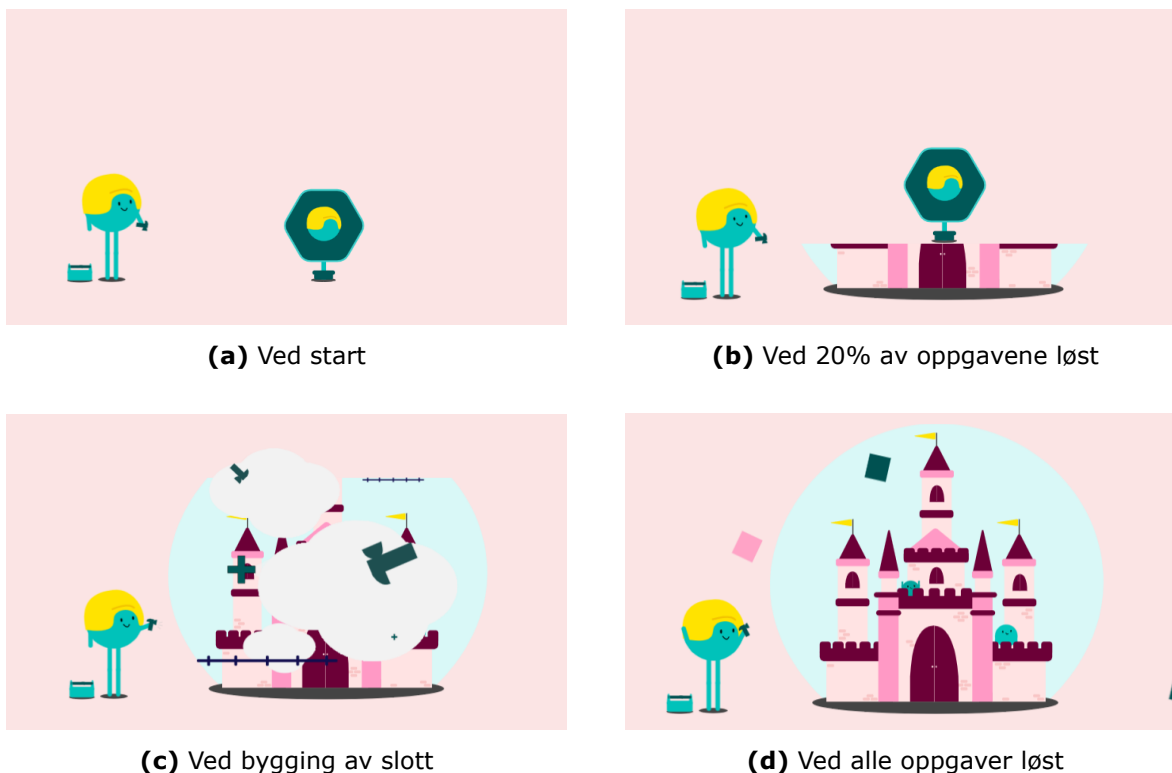
Figur 6: Visning av landings siden: musepekeren ligger over sirkel 1 og viser navnet på oppgavesettet

Visning av oppgavesett

I visning av oppgavesett blir eleven presentert for en sti med knapper for å komme til de ulike oppgavene. Spillelementer er implementert gjennom klare mål, ved at karakteren i spillet har en arbeidsoppgave om å bygge et slott. Ved å løse oppgavene i oppgavesettet kan elevene bidra til byggingen av slottet. For hver oppgave som blir løst, kommer mer og mer av slottet til syne, helt til oppgavesettet er ferdig og slottet er bygget. Juiciness er implementert ved at den animerte karakteren står og svinger hammeren sin rolig frem og tilbake. Ved hover på knapper i stien for å løse oppgaver, vises en hammer som indikerer at eleven kan bygge ved å klikke på knappen. Knappene har også ulike farger, basert på om eleven har løst oppgaven eller ikke. Når eleven fullfører en oppgave, blir slottet "bygget" foran eleven ved at figuren hamrer, og en støvsky omringer slottet med tilhørende hamrelyd. Figur 7 viser byggingen av slottet steg for steg.

Visning av oppgave

På denne siden blir man møtt med en tallinje og ser oppgaven som skal løses. Her er det flere spillfiserings-elementer. Det er et klart mål om å løse oppgaven, og på noen oppgaver er det lagt til begrensede ressurser i form av et maks antall buer tilgjengelig. Eleven kan ha en variert spillstil, ved at det er opp til eleven å velge hvilken kombinasjon av buer som skal benyttes. Av og til må elevene løse samme oppgave på flere måter, og blir på denne måten tvunget til å variere spillstil. Det er også ulike



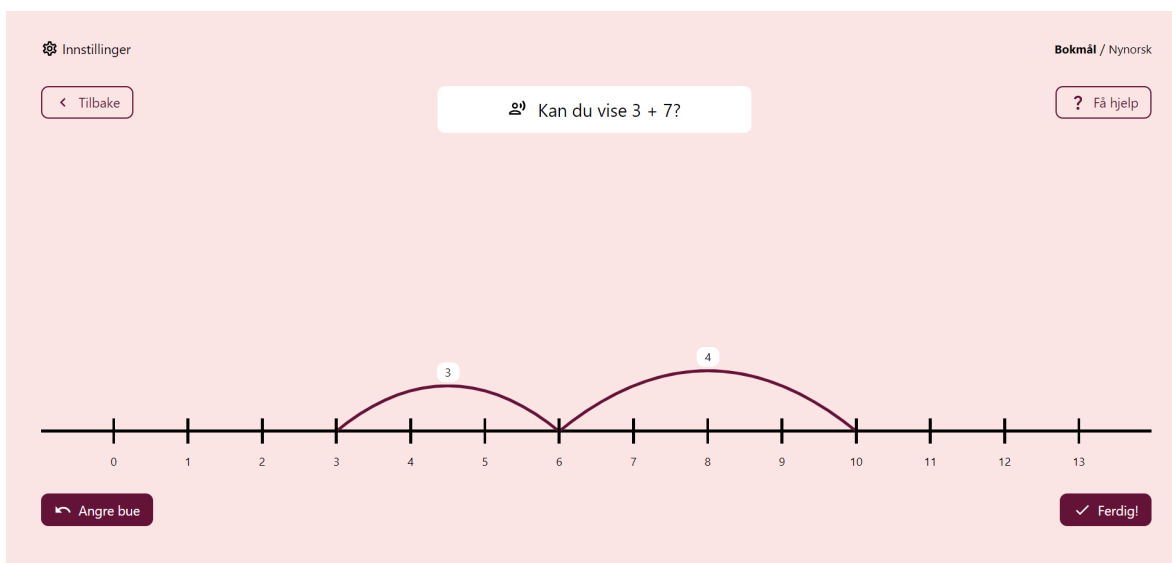
Figur 7: Utviklingen av slottet på siden med et oppgavesett

metoder for å endre eller slette buer. Juiciness er implementert ved at markeringene og tallene på tallinjen animeres ved hover, at det kommer lyd ved start og slutt ved tegning av en bue, og lyd ved sletting av bue.

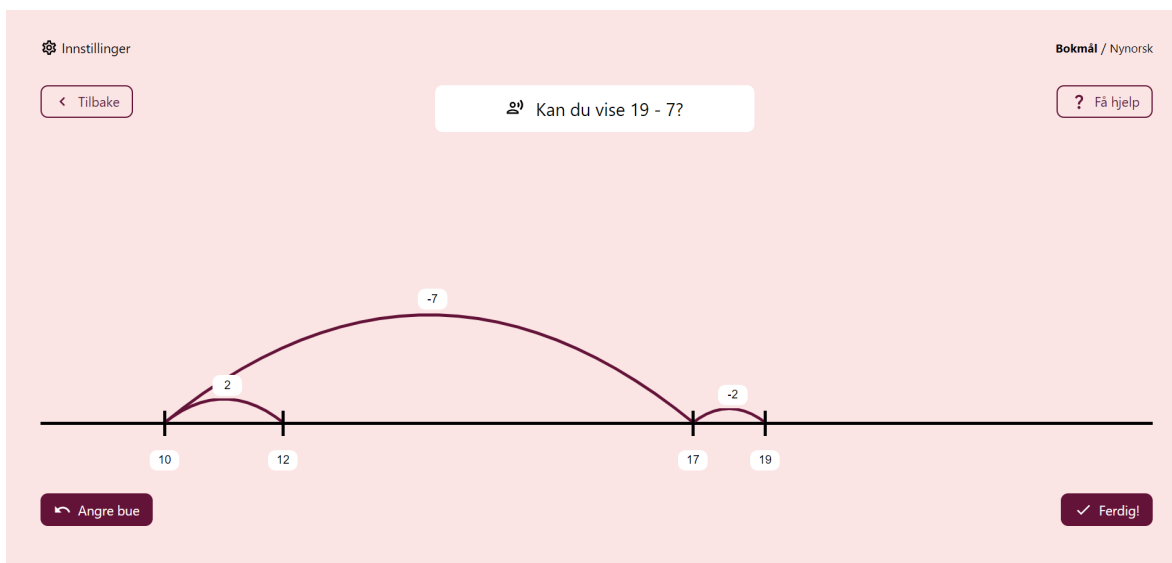
Når elevene har satt ut buer og klikker på knappen "ferdig!" kommer det opp modaler med tilbakemeldinger på forsøket. Tilbakemeldingene skiller mellom feil svar og riktig svar. Dersom oppgavesettet blir fullført, vises en egen seiers-modal etter eleven har hatt mulighet til å se det ferdige slottet. Juiciness er implementert i modalene ved at det spilles av ulike lyder og vises ulike animasjoner ved riktig og feil svar.

Hjelpeside

Du kommer til hjelpesiden ved å klikke på "få hjelp"-knappen som er lagt inn på siden for visning av oppgave. På hjelpesiden kan elevene finne korte videoer og tekster som beskriver grunnleggende bruk av applikasjonen. Et juicy element på denne siden er hvordan teksten tilhørende hver video er animert til å skli inn og ut når man trykker på knappen med video-tittel.



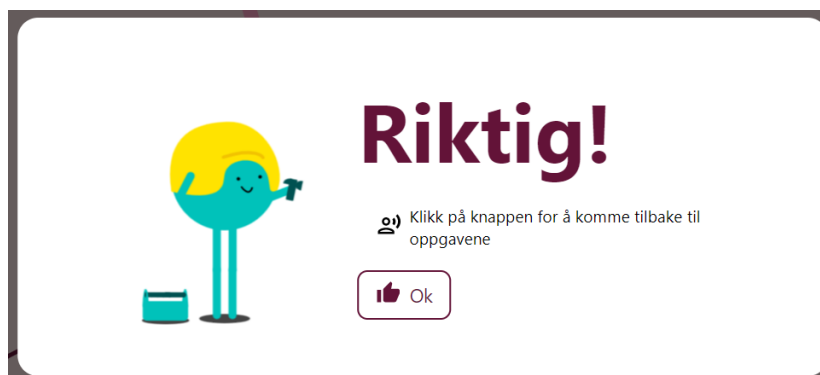
Figur 8: Brukergrensesnitt for visning av tallinjen



Figur 9: Brukergrensesnitt for visning av åpen tallinje



Figur 10: Hjelpeside som inneholder korte videoer med beskrivelser av hvordan man bruker tallinjen



Figur 11: Tilbakemelding på riktig løsning av oppgave. Utsnitt av modalen



Figur 12: Tilbakemelding på feil løsning av oppgave. Utsnitt av modalen



Figur 13: Tilbakemelding på løst oppgavesett. Legg merke til konfetti i bakgrunnen!

4.1.2 Resultat fra meningsmåling

Meningsmålingen som ble gjort i forbindelse med undersøkelsene av en brukervennlig tallinje fikk 18 svar fra deltakere i aldersgruppen 18-55 år. Av de fire alternativene til brukergrensesnitt som ble presentert, ble fordelingen av den foretrukne tallinjen som vist i tabell 2.

Svaralternativ	Antall	Prosent
Alternativ 1 - Justerbar bue	3	16,7%
Alternativ 2 - Klikk-klikk	7	38,9%
Alternativ 3 - Klikk og dra	8	44,4%
Alternativ 4 - Bue med input	0	0%

Tabell 2: Resultater fra meningsmåling: Hvilket alternativ synes du var lettest å bruke?

I begge de foretrukne alternativene (Alternativ 2 - Klikk-klikk, og Alternativ 3 - Klikk og dra) ble buene laget i direkte interaksjon med tallinjen. Samlet fikk de to foretrukne alternativene 83,3 prosent av stemmene.

Det endelige grensesnittet for tallinjen tok utgangspunkt i alternativ 3 - klikk og dra. I tillegg ble noe funksjonalitet fra de andre alternativene implementert på bakgrunn av øvrige kommentarer i meningsmålingen.

4.1.3 Brukertest med barn

Ni skoler i Trondheimsregionen ble kontaktet for hjelp til å gjennomføre brukertester på en gruppe med skoleelever. Av disse svarte to skoler på henvendelsen, hvorav begge takket nei til å være med. Oppgaven fikk dermed ingen resultater knyttet til brukertesting med barn.

4.2 Ingeniørfaglige resultater

4.2.1 Produktets funksjonelle krav

Produkteierne stilte med en rekke funksjonelle krav, og disse måtte revideres og prioriteres for å passe oppgavens tidshorisont. Listen i denne rapporten viser kun de funksjonelle kravene for elevvisningen. Den fullstendige listen med funksjonelle krav kan sees i det vedlagte visjonsdokumentet, vedlegg C.

Funksjonelle krav	Oppfylt	Ikke oppfylt	Kommentar
Funksjonalitet for å kunne tegne en bue på en tallinje	X		
Funksjonalitet for å fjerne en bue du tidligere har laget	X		
Funksjonalitet for å flytte en bue som er tegnet	X		
Funksjonalitet for å endre størrelsen på en bue som er laget	X		
Funksjonalitet for å sette starttall og stopptall på en bue laget på en åpen tallinje	X		
Funksjonalitet for å fylle inn lengden på buen som er laget på en åpen tallinje	X		
Funksjonalitet for å autogenerere start- og slutt punkt på tallinje med markeringer	X		Det finnes en metode som kan kjøres manuelt per nå. Metoden kan kobles til en lærerflyt dersom det skulle komme under senere arbeid.

4 Resultater

Funksjonalitet for å kunne endre på synlig intervall på tallinjen		X	Dette ble nedprioritert. Oppdragsgiver godtok ordning med intervaller tilpasset hver oppgave på tallinjen for nå.
Funksjonalitet for å få presentert en oppgave	X		
Funksjonalitet for å løse en oppgave på ulike måter	X		
Funksjonalitet for å sjekke og få tilbakemelding på om løsningen var riktig eller feil	X		
Funksjonalitet for å få hint/hjelp til å løse oppgaver		X	Kan få hjelp til å forstå hvordan man interagerer med tallinjen, men ikke til løsningen av selve oppgaven
Funksjonalitet for å skrive inn PIN og få hentet riktig oppgavesett	X		Koden for PIN eksisterer, men i den endelige løsningen har PIN blitt fjernet til fordel for knapper på ønske fra oppdragsgiver
Funksjonalitet for å vise hvor mange oppgaver som er i et oppgavesett	X		
Funksjonalitet for å se hvor langt en er kommet i oppgavesettet, hvor mange oppgaver som er fullført	X		
Funksjonalitet for å bevege seg til neste oppgave i oppgavesett	X		
Funksjonalitet for å bevege seg fritt mellom oppgaver i oppgavesett	X		
Funksjonalitet for å "levere" oppgavesettet, si seg ferdig			Forkastet

Funksjonalitet for å få tilbakemelding på den totale løsningen av oppgavesettet / oppsummering			Forkastet
Funksjonalitet for å bruke maks X hopp for å løse en oppgave	X		
Elever skal kunne velge mellom å vise applikasjonen i nynorsk eller bokmål avhengig av hovedmål	X		

Tabell 3: Funksjonelle krav

4.2.2 Produktets ikke-funksjonelle krav

De ikke-funksjonelle kravene er definert i oppgavens visjonsdokument, og kan også leses i vedlegg C. Til sammen er det fem funksjonelle krav: universell utforming, skalerbarhet, sikkerhet, personvern og kriterier for digitale læremidler.

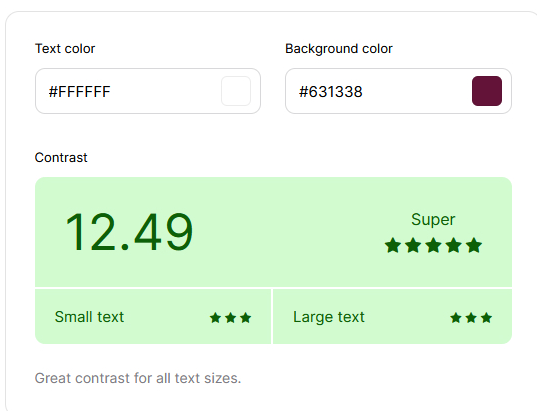
Universell utforming

Prosjektet skulle ha et brukervennlig grensesnitt og WCAG 2.0 prinsipp 1 skulle etterstrebes. En sjekklister fra Yale Universitet ble benyttet for opptellingen og kan leses i vedlegg H. Tabell 4 viser hvor mange av punktene i prinsipp 1 som det ble støtte for og ikke. Elleve retningslinjer har blitt vurdert som ikke aktuelle.

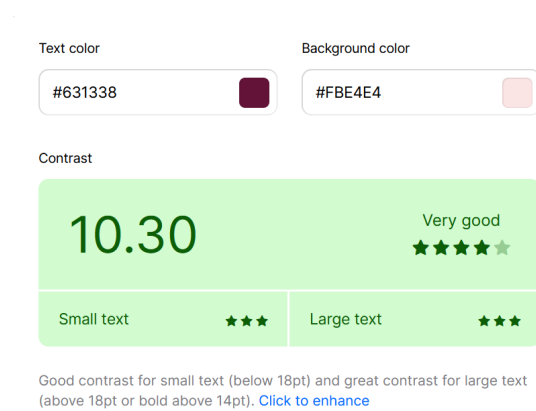
Støtte	Delvis støtte	Ikke relevant
25	4	11

Tabell 4: Resultater av WCAG prinsipp 1

Ved valg av farger ble det brukt en kontrastsjekker, colors.co, på de ulike fargekodene for å se om tekst ville være leselig på en gitt bakgrunnsfarge og for å se om andre elementer ville bli synlige mot bakgrunnen. I figur 14 kan det sees en super kontrast mellom en farge brukt på knapper og hvit skriftfarge. Super kontrast tilsvarer at nivå AAA, det beste nivået av kontrast, er oppnådd ved denne fargekombinasjonen. Tilsvarende kontrast også oppnådd for sort skriftfarge på den gjennomgående rosa bakgrunnen i applikasjonen. For mørk knapp (hovedknapp) mot rosa bakgrunn, som vist i figur 15, er kontrastene også på nivå AAA.



Figur 14: Kontrastsjekk av bakgrunnsfarge på hovedknapp mot hvit skrift



Figur 15: Kontrastsjekk av lys rosa bakgrunnsfarge mot mørk rosa hovedknapp

For å tilfredsstille prinsipp 1 har det også vært fokus på å bruke passende HTML-elementer i riktige settinger. Dette innebærer for eksempel at `<button>` tags er brukt for å markere endringsmuligheten mellom bokmål og nynorsk, og bruken av `<nav>` for å markere listen med oppgavesett. Videre ble `alt="..."`-tekst lagt på bilder, og animasjoner har fått `role="img"` og `alt="..."`-tekst for å skape samme effekt. Hensikten med dette har vært å skape et system som skjermleser-programvare kan oppfatte på en god måte. Se vedlegg I for å studere kildekoden og bruken av HTML-elementene.

Skalerbarhet

Systemet skulle lages slik at det kan utvides. Det skulle også være enkelt for andre å kunne ta over prosjektet. For å bidra til dette er det benyttet komponenter der det er kode som er aktuell å benytte flere steder. Knapper er et godt eksempel på noe som er lett å få likt gjennom hele applikasjonen, med tre ulike typer for å illustrere ulik viktighet ved knappen. Det er også laget variabler og mixins som skal bidra til en uniformhet gjennom applikasjonen. Metoder og variabler er navngitt på en måte som er beskrivende, slik at det burde være lett å sette seg inn i koden på et overordnet nivå.

Databasen kan enkelt utvides ved å opprette nye tabeller eller felter. Firebase har et enkelt brukergrensesnitt og god dokumentasjon, og det finnes også mange eksempler på hvordan man kan skrive spørringer mot databasen ved bruk av JavaScript med React.

Sikkerhet

Prosjektet skulle ha grunnleggende fokus på sikkerhet ved å se på OWASP top 10. Tiltak mot punktet om SQL-injection var et minstekrav å ha fokus på. Cloud Firestore er en NoSQL-database, og kan ikke bli utsatt for SQL-injections. Forøvrig er det beskyttet mot cross-site scripting, XSS, gjennom standard bruk av React, uten `setInnerHTML`, på input fra brukere. Applikasjonen har per tid kun input på åpen tallinje hvor man skriver

inn starttall, sluttall og lengden på buer. Disse feltene er satt til type "text", men har ulike sjekker som kjøres ved oppdatering for å sørge for at det er et tall og ikke noe annet. Sjekkene bidrar til å hindre folk fra å legge inn scripter i applikasjonen.

Personvern

Prosjektet skulle følge reglene for GDPR. Det ble ikke lagret persondata og det ble heller ikke tatt i bruk cookies eller noe annet som ville kreve tiltak som følge av GDPR.

Kriterier for digitale læremidler

Systemet skulle lages med hensyn på Utdanningsdirektoratets kvalitetskriterier for digitale læremidler i matematikk. Det ble valgt å ta hensyn til følgende punkter:

- **Universell utforming** - Universell utforming ble allerede tatt hensyn til som følge av et annet funksjonelt krav.
- **Tekst til tale** - Tekst til tale ble implementert som et støttetiltak for universell utforming, og er laget for elever som har behov for lyd støtte foran å lese selv. I brukergrensesnittet er det satt inn et ikon på steder hvor tekst-til-tale er aktuelt, og er blant annet synlig i det hvite feltet i figur 8. Web speech API ble brukt for å få til tekst-til-tale på en enkel måte.
- **Støtte for begge skriftspråk** - Støtte for begge skriftspråk betyr muligheten for å skifte mellom skriftspråkene bokmål og nynorsk. Rammeverket react-i18next ble brukt for å få til dette. Funksjonaliteten er plassert øverst til høyre i brukergrensesnittet, og er synlig gjennom hele applikasjonen.

4.3 Administrative resultater

4.3.1 Fremdriftsplan

Under planleggingen av prosjektet ble det laget et GANTT-diagram med plan for aktiviteter og forventet timebruk, og en plan for fordelingen av tidsbruk per uke gjennom prosjektperioden. GANTT-diagrammet ble tegnet opp som en grov skisse, og viser ganske så riktig fremdriften slik som den ble mellom de ulike kategoriene. Ettersom diagrammet hadde få detaljer ble det til lite hjelp for gruppen gjennom prosjektet. Planen for fordeling av tidsbruk ble derimot flittig brukt.

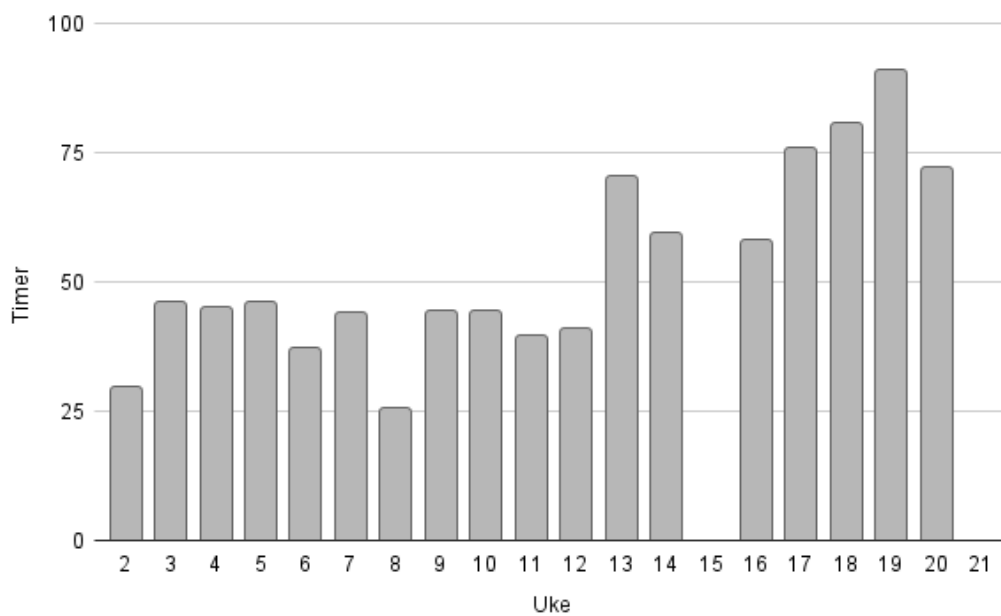
4.3.2 Timeregnskap

Det ble ført timer hver uke for hva som ble gjort. Estimert tidsbruk for hver kategori fra GANTT-diagrammet blir sammenlignet mot faktisk tidsbruk i tabell 5.

Det ble skrevet timelister underveis i prosjektperioden. Fra figur 16 kan det ses at det ble jobbet jevnt og trutt med prosjektet underveis, med en naturlig økning av timer mot prosjektslutt. Både timelistene og GANTT-diagrammet kan finnes i vedlegg B.

Kategori	Estimert tidsbruk	Faktisk tidsbruk
Prosjektadministrasjon	50	59
Research	40	64,5
Obligatorisk arbeid	35	49
Forprosjekt	40	51
Hovedrapport	300	270,5
Utvikling	450	368,5
Design	45	45
Testing/datainnsamling	40	22,5
Systemdokumentasjon	20	20
Sum	1020	950

Tabell 5: Estimert og faktisk tidsbruk i timer per kategori i timelistene



Figur 16: Samlet tidsbruk for gruppen hver uke i prosjektperioden

4.3.3 Utviklingsmetodikk

Gruppen benyttet seg av en smidig utviklingsmetode med Kanban. Kanban-tavlen ble stegvis fylt med nye arbeidsoppgaver som skulle prioriteres den kommende perioden. Arbeidsoppgavene ble valgt i fellesskap med oppdragsgiver utifra hva som var relevant blant de funksjonelle og ikke-funksjonelle kravene for neste steg i prosessen. Først ble det utviklet digitale prototyper og en tilhørende meningsmåling. Etter resultater fra dette kom inn, ble det satt i gang med å utvikle wireframes og kode en MVP. Under utvikling av MVP-en ble de ulike sidene og komponentene bygd opp gradvis - fra å kun ha den mest grunnleggende funksjonaliteten, til å se bedre ut, og til slutt føles bra ut også (hint: juiciness).

Det ble innkalt til møter med oppdragsgiver med jevne mellomrom for å sørge for at ting ble som ønsket. Etersom gruppen hadde en smidig utviklingsmetode, kunne oppdragsgiver komme med eventuelle nye ønsker under møtene. Et resultat av nye ønsker fra oppdragsgiver var at lærerflyten skulle nedprioriteres for prosjektperioden til fordel for et mer juicy grensesnitt gjennom elevflyten.

5 Diskusjon

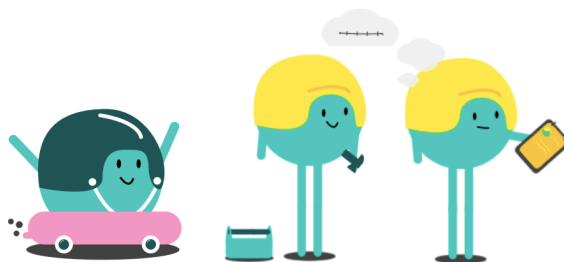
Diskusjonskapittelet forsøker å trekke linjene mellom teorien som er presentert og resultatene av utviklingen. Kapittelet belyser og drøfter hva som er gjort bra og hva som kunne vært bedre.

5.1 Diskusjon av vitenskapelige resultater

5.1.1 Brukergrensesnitt tilpasset barn

Det endelige brukergrensesnittet ble presentert på en grundig måte i kapittel 4.1.1. Det er mulig å analysere applikasjonen i lys av Latiff, Razali og Ismails retningslinjer for læringsapplikasjoner for barn, for å se på styrker ved brukergrensesnittet (Latiff et al. 2019):

- **Innhold** - Det har blitt laget en applikasjon som fungerer med og uten berøringsskjerm i liggende format. Tiltakene for å lage et helhetlig design diskuteres nærmere i kapittel 5.1.3: designvalg for juiciness.
- **Navigering** - Navigeringen mellom oppgaver er vist på en linje i bunnen av skjermen, og det krever maksimalt tre klikk for å navigere seg fra landingssiden til første oppgave. Det er også navigering på toppen av skjermen. Plasseringen er i tråd med teorien om brukergrensesnitt for barn.
- **Tekst** - Det var fokus på å bruke et kort og konsist språk som var forståelig for elever i 1. til 5. trinn. Teksten ble presentert gjennom en sans-serif font i nøytrale farger for å ha god lesbarhet.
- **Bilder og figurer** - I applikasjonen er det brukt en karakter som går igjen på tvers av sidene i applikasjonen. Den ble laget selv for å sikre full kreativ frihet og opphavsrett over applikasjonen. Karakteren er laget i applikasjonens fargepalett, og kan sees i figur 17. Det er også brukt ikoner ved siden av tekst, eller i stedet for tekst, der det har vært hensiktsmessig.



Figur 17: Applikasjonens karakter i ulike situasjoner

- **Farger** - Det er brukt et triadisk fargepalett som er satt sammen av rosa, turkise nyanser og gul. De mørkere variasjonene er lagt til i pallettet slik at WCAG-krav om

kontraster kan oppfylles. Palettet kan ses i figur 18, og eksempel på kontrastsjekk med disse kan sees i figur 14. Kontraster alene er ikke nødvendigvis nok for at brukere med ulike typer fargeblindhet kan se innhold tydelig. Det er gjort en sjekk av siden ved hjelp av www.color-blindness.com, og den viser at det skal gå bra for brukere med fargeblindhet å se på det valgte fargepalettet. Visning av oppgavesiden for en bruker med rødblindhet kan ses i figur 19.



Figur 18: Fargepalett brukt i applikasjonen

- **Lyd** - All lyd er hentet fra en side med "royalty free music", hvor skaperne av lyden har gitt alle bruksrettigheter til brukerne. Applikasjonen bruker bakgrunnsmusikk, lyd når du trykker på knapper og lyder for vellykkede eller ikke-vellykkede oppgaveforsøk. Det er også lyd når brukeren sletter en bue, når brukeren starter å tegne og når brukeren setter ut buen på tallinjen.
- **Interaksjon** - Sammen med aktiv bruk av lyd og animasjoner for tilbakemelding, er modalene sentrale for å gi elevene tilbakemeldinger. Modalene for korrekt og feil oppgave ble illustrert i figur 11 og 12 i resultater.



Figur 19: Visning av oppgavesett slik det ville sett ut for en bruker med protanopi (rødblindhet)

En svakhet ved utformingen av brukergrensesnittet er vurderingen av alderstilpasning. Tidligere ble det presentert at alderstilpasning kan ha stor betydning for applikasjonens motiverende effekt (Haugen 2006), og det ble argumentert for at brukertesting kan være med på å avdekke hvor bra tilpasningen har vært (Cantuni 2020). Det tenkes derfor at brukertester kan bidra til å vurdere kvaliteten av alderstilpasningen i framtiden.

5.1.2 Spillifisering

Spill-elementene som listes i dette delkapittelet er hentet fra tabell 1 i teorikapittelet. I tillegg til å se på tabellen, har gruppen sett på applikasjonene Kahoot, Duolingo og HeiAlbert for inspirasjon til hvordan elementene kunne inkorporeres. De valgte spill-elementene er:

- **Nivå** - Nivå var sentralt å bruke ettersom målet med applikasjonen er at elevene skal bli flinkere på matematisk resonnering. Ulike nivåer tilbyr muligheten for økende vanskelighetsgrad. Per nå er det opp til skaperen av oppgavesettene å lage nivåforskjeller i oppgavene, men et alternativ kunne vært å autogenerere oppgaver basert på nivåer som er definert i kildekoden.
- **Begrensede ressurser** - Begrensede ressurser ble brukt som et virkemiddel for å tvinge fram ulike strategier hos eleven, ettersom ulike strategier bidrar til utvikling av elevenes evner innen matematisk resonnering (Svingen 2018). Det er mulig å legge begrensninger på et maksimalt antall buer som eleven kan sette ut på tallinjen. En enkel strategi er å kun benytte seg av én bue, og den bidrar ikke meget til barnets læring. I ettertid sees det at det burde være mulig å sette begrensninger på et *minimum* antall buer i stedet for et maksimum.
- **Klare mål** - Klare mål ble brukt fordi det er motiverende å se progresjonen og jobbe mot et mål. For denne applikasjonen er det små mål om å klare oppgaver i seg selv, men det overordnede målet er å bygge et slott. Det kan diskuteres om et endelig mål, slik som slottet er, kanskje ikke er det beste for læringsapplikasjoner. Noen elever vil bli utålmodige på å bygge slottet, og derfor skynde seg gjennom oppgavene, hvilket er negativt for treningen i matematisk resonnering. Andre elever kan bli demotiverte dersom de sliter med oppgavene og aldri får til å bygge hele slottet. Brukertesting kan bidra med nyttig informasjon for denne diskusjonen. Det kan også diskuteres om gruppen burde funnet måter å inkorporere et fokus på matte og tallinjen i slottet, ettersom dette naturligvis er et stort fokus i spillet.
- **Variasjon i spillstil** - Variasjon i spillstil har vært ønskelig for å gi elevene valgmuligheter i applikasjonen. Dette punktet kan blant annet videreutvikles ved å tilby muligheten for å tegne buer via tastaturet.

Spillelementer som har blitt valgt vekk er:

- **Ledertavle** - Ledertavle har blitt valgt vekk av pedagogiske hensyn. Små barn kan være sårbare, og det er ikke ønskelig å lage en konkurransebasert applikasjon hvor elevene blir oppfordret til å sammenlikne seg med hverandre.
- **Poeng** - Poeng ble valgt vekk av samme grunn som ledertavle. I tillegg ville det vært vanskelig å avgjøre hvilke oppgaver som skulle gitt hvilke poengsummer. Det er heller ikke ønskelig å sette elevene i en posisjon hvor de kan haste seg gjennom oppgaver kun for å maksimere antall poeng.
- **Badges** - På samme måte som applikasjonen Kahoot, er denne applikasjonen laget for å brukes i utvalgte deler av undervisningen, og ikke jevnlig gjennom året. Hvis

applikasjonen var mer som Duolingo, hvor det legges opp til jevnlig bruk, kunne badges vært relevant for langsiktige målsetninger, slik at barnet kunne samlet opp over tid.

- **Fantasi og nysgjerrighet** - Applikasjonen er ikke laget for å være et "matematikkunivers" hvor eleven kan utforske og bruke fantasien. Fantasien som elevene må ta i bruk, blir i løsingene av oppgaver med tallinjen.

Det er relevant å diskutere hvorvidt spillifiseringselementene kan føre til negative effekter som likegyldighet, avtagende effekter, tap av ytelse eller uønsket oppførsel (Toda et al. 2018). I vurderingen av alle virkemidlene har det vært viktig å tilby passende vanskelighetsgrad og frihet til elevene. En applikasjon med for høyt nivå, for streng begrensning av ressurser, mål som er uopnåelige og en begrensende spillstil vil kunne føre til samtlige negative effekter. Begrensningene og nivåene som er satt, skal kunne følge elevens kunnskapsnivå.

I diskusjonen av klare mål og variert spillstil kommer det frem at valgene kunne vært annerledes for denne oppgaven. Allikevel er spillifiseringselementene i applikasjonen totalt sett blitt gjort i tråd med Landers poeng om å ta bevisste valg i bruken av spillifiseringselementer (Landers 2014). Tallinjen er et anerkjent verktøy som har beviste effekter, og spillifiseringselementene har blitt lagt til for å gjøre brukeropplevelsen mer motiverende.

5.1.3 Juiciness

Definisjonen av juiciness sier at den samlede bruken av virkemidler er avgjørende for at applikasjonen skal være tilfredsstillende å bruke (Abeele et al. 2019). Det er derfor implementert en variasjon av virkemidler: bakgrunnsmusikk, lydeffekter, animasjoner, ikoner og en karakter som "kommuniserer" med brukeren. For å oppnå den helhetlige opplevelsen som kreves av en "juicy" webapplikasjon, er det forsøkt å tilpasse elementene slik at de harmoniserer sammen:

- **Fargepalett** - Fargepalettet tok som nevnt utgangspunkt i pastellfarger ettersom det gir positive assosiasjoner og er attraktivt for barn (Latiff et al. 2019). Det triadiske fargepalettet med rosa, turkis-blå og gult tilbød gode kontraster uten å virke forstyrrende for øyet (Cantuni 2020).
- **Karakterbruk og animasjon** - I applikasjonen ble det brukt animasjoner og karakterer for å skape et livligere brukergrensesnitt enn ved bruk av stillbilder, og for å gi indikasjoner til elevene gjennom ansiktsuttrykk og bevegelser (Latiff et al. 2019). Målet var å lage en karakter med positivt kroppsspråk, som eleven kunne kjenne igjen på tvers av sidene i applikasjonen.

Det kan også argumenteres for at animasjoner av kodete objekter har stor effekt på totalopplevelsen av applikasjonen. Det beste eksempelet er i interaksjon med tallinjen, hvor hover over tallinjen vil føre til en skygge over markeringen, og at de markerte tallene beveger seg opp og ned. Dette skal gi eleven en opplevelse av at tallinjen er "levende" og mulig å interagere med. Effektene er enkle å implementere, har stor effekt og gjør applikasjonen behagelig å bruke.

- **Ikoner** - I bruken av ikoner ble det viktig å ta hensyn til at barn ikke har det samme forholdet til ikoner som voksne. Et eksempel på dette er i visningen av progresjonen i et oppgavesett, som bruker ikoner med hammer og stjerne. Ved å bruke "voksne" ikoner som check-marks eller kryss kunne barnet blitt forvirret av kommunikasjonen, og uttrykket ville blitt mindre juicy.
- **Konfetti** - Det er brukt konfetti for å vise at eleven har gjort noe bra. Konfettien er også enkel for barn å forstå, da det ikke er tekst som må leses. Konfettien følger applikasjonens fargepalett for å ha samme positive uttrykk.
- **Lyd** - Lydeffektene er tatt i bruk for å gi tilbakemeldinger til elevene i tillegg til de visuelle virkemidlene. Som virkemiddel er lyd relativt enkelt å ta i bruk og gir betydelig effekt.

Det har vært fokus på at alle lydene skal ha positive undertoner. Selv lyden for feil svar på en oppgave, har blitt valgt for å ha en framtoning som ikke skal være skremmende for barnet. Det har også vært forsøkt å velge lyder som ikke skal være for forstyrrende. Lydeffekten som kommer ved klikk på tallinjen er et eksempel på en lyd som skal være kort og behagelig, men ha god effekt.

5.1.4 Sammenhengen mellom spillifisering, juiciness og MMI

Menneske-maskin-interaksjon handler om systemer som er: effektive å bruke, lett å huske, lett å lære, har få feil ved bruk og er subjektivt tilfredsstillende å benytte (Nielsen 1993). En god applikasjon burde ha grunnleggende fokus på disse elementene. Dette har blitt forsøkt oppnådd ved å ha enkel navigering, lite tekst, og en helhetlig og oversiktlig applikasjon.

Det er mulig å knytte juiciness direkte til menneske-maskin-interaksjon, fordi selve definisjonen av juiciness handler om en tilfredsstillende brukeropplevelse. Spillifisering, på sin side, har forsøkt å bidra til enkel bruk og en applikasjon som er lett å memorisere med sine motiverende elementer. Totalt sett er det blitt erfart at spillifisering og juiciness i bunn og grunn søker å tjene det samme formålet: den gode brukeropplevelsen. Med tiden og ressursene som har vært tilgjengelig under utviklingen, kan det argumenteres for at dette har vært gjennomført etter beste evne.

Gjennom utviklingen av applikasjonen har det blitt erfart at juiciness og spillifisering kan oppfattes som to sider av samme sak. Et eksempel på dette er bruk av lyd. Lyd er et element som kan tolkes som spillifisering dersom den kommuniserer et budskap til brukeren, og juiciness dersom man velger en tilfredsstillende og passende lyd. Juicy elementer kan også være effektfulle uten å samtidig være fra spillifisering.

Bruken av juiciness kan gjøre applikasjonen levende og spill-liknende på en enkel og effektiv måte, og gruppen har forsøkt å lage en applikasjon med passende mengde av juicy elementer. Overdreven bruk av spillifisering og juiciness kan dessuten fjerne fokuset fra det viktigste målet: læring og matematisk resonnering. Ettersom

oppdragsgiver er fornøyd, kan det argumenteres for at applikasjonen har oppnådd en god balanse mellom bruk av juiciness og nyttige spillifiseringselementer.

5.1.5 Styrker og svakheter ved meningsmålingen

Utformingen av prototypene er ansett som en styrke ved meningsmålingen. En digital meningsmåling kunne innhente flere testpersoner enn ved fysiske brukertester, og klikkbare prototyper ble ansett som mer effektive enn en meningsmåling med bilder eller tekstlige beskrivelser.

Meningsmålingen fikk ingen svar fra barn og traff dermed ikke målgruppen for applikasjonen, hvilket anses som en stor svakhet. En annen svakhet er at det kun ble innhentet 18 svar, og antallet er ikke tilstrekkelig for å gi generaliserbare resultater.

I tillegg til nevnte svakheter ble det også oppdaget mulige feilkilder ved meningsmålingen. Enkelte brukere gav tilbakemeldinger som indikerte at de hadde misforstått hensikten med prototypene. Andre brukere opplevdes som late, og gav indikasjoner på at de ikke forsøkte å gjøre meningsmålingen slik den var tiltenkt. Dette kan tyde på at en meningsmåling med prototyper var en avansert testmetode, eller at den generelle testeren foretrekker å eksperimentere foran å lese om testprosedyren.

Til tross for svakhetene og de mulige feilkildene, mener gruppen at svarene kunne gi en god indikator på hvilken tallinje som var mest brukervennlig å arbeide med. De atten svarene opplevdes som nok til å skape et overordnet inntrykk av interaksjonen med tallinjene.

5.1.6 Styrker og svakheter ved brukertest med barn

Intervjuguiden for brukertesten er skrevet i tråd med NSDs retningslinjer. Den inneholder blant annet informasjon om brukertesten og barnets rettigheter, og er laget for å brukes dersom tillatelse er gitt fra både foreldre og barn (NSD 2022a). Språket i intervjuguiden er også tilpasset barn.

Brukertestene ble aldri gjennomført, så det er umulig å diskutere intervjuguiden i praksis, eller resultatet av testingen. Den optimale testgruppen for applikasjonen hadde vært 5-8 elever på 3.-5. trinn. Dette for å få et relativt stort beslutningsgrunnlag uten å kreve for mye tid fra skole eller SFO, som var det ønskede stedet å gjennomføre brukertestene.

Det ble forsøkt å innhente testpersoner ved å kontakte ledelsen ved ulike skoler. I ettertid viser det seg at det sannsynlig vis ville vært mer effektivt å rekruttere en lærer, som deretter kunne skaffet tillatelse hos skoleledelsen. Ved å gå "fra toppen og ned" ble

dette prosjektet for tidkrevende og lite interessant å bidra til.

5.2 Diskusjon av ingeniørfaglige resultater

5.2.1 Funksjonelle krav

Som tidligere nevnt ble funksjonaliteten for lærervisning nedprioritert for å utvikle en elevvisning av god kvalitet. Etter å ha redefinert de funksjonelle kravene underveis, ble sluttresultatet en applikasjon som tilfredsstilte de fleste av kravene for elevvisningen:

Implementert	Ikke implementert	Idé forkastet
17	2	2

Tabell 6: Resultater av funksjonelle krav for elevvisning

Blant de kravene som er implementerte har noen gitt rom for tolkning. I kravet om hjelp til elevene har det blitt lagt fokus på å vise hvordan applikasjonen brukes - og ikke på hjelp til å forstå hvordan tallinjen fungerer fra et pedagogisk perspektiv. Dette punktet står dermed oppført som "ikke fullført", og er relevant for videre arbeid.

For presentasjon og løsning av oppgaver har det blitt prioritert å lage en tallinje med markeringer som fungerer på relativt enkle oppgaver. Per nå fungerer tallinjen med markeringer på oppgaver hvor små tall adderes eller subtraheres, som $5+5$ eller $19-9$. For vanskeligere oppgaver som går over større intervall, som $82-50$ eller $30+77$, vil den nåværende tallinjen med markeringer ha vansker for å vise hele tallintervallet på skjermen. Derfor står punktet om å endre synlig intervall, eller kunne navigere seg "til høyre eller venstre" på tallinjen, som "ikke fullført". Dette kan være relevant for senere arbeid. Oppgaver med store tallintervaller fungerer godt på åpen tallinje.

Det understrekes at oppdragsgivere tok del i hvilke krav som ble prioritert underveis, og har uttrykt at de er fornøyde med resultatet.

5.2.2 Ikke-funksjonelle krav

De ikke-funksjonelle kravene handler om universell utforming, skalerbarhet, sikkerhet og personvern.

Universell utforming

Prosjektet skulle etterstrebe å oppfylle WCAG 2.0 prinsipp 1. Dette fokuset ble forsterket da UU også ble nevnt i Udirs suksesskriterier for læremidler i matematikk. Prinsipp 1 handler om at innhold skal være mulig å oppfatte, og det har derfor blitt

fokusert på tekst, størrelse og farger (Utdanningsdirektoratet n.d.).

Tallinjen er et *visuelt verktøy*, og setter dermed sine naturlige begrensninger for bruk for *alle* elever. Svaksynte og blinde vil ikke få den tiltenkte effekten av verktøyet selv om den er fysisk istedenfor digital, og det er derfor ikke tatt særlig hensyn til denne brukergruppen. Elever som ser, men som har nedsatt mobilitet, er en annen brukergruppe som også kunne vært tatt mer hensyn til. Gruppen fokuserte på WCAGs prinsipp 1, men det hadde vært fint for brukervennligheten om man også hadde fokusert på prinsipp 2 som handler om at det skal være mulig å betjene applikasjonen. Samtidig hadde oppgaven en begrenset mengde tid tilgjengelig, og fokus på ett prinsipp gav gruppen mulighet til å fokusere ordentlig på det ene.

Så langt er det gjort et forsøk på å bruke passende HTML-elementer for å gjøre applikasjonen mer vennlig for skjermlesere og andre utviklere. En følge av bruk av semantiske HTML-elementer gjennom koden er at det også er mulig å navigere gjennom store deler av applikasjonen med tastatur, til tross for at det ikke har vært et fokus. HTML-elementer som `<button>` har innebygd funksjonalitet for å kunne bli fokusert ved hjelp av et tastatur.

Skalerbarhet

Det andre ikke-funksjonelle kravet handlet om at systemet skulle kunne utvides. Et viktig tiltak for å gjøre dette mulig er å skrive god systemdokumentasjon. Oppdragsgiver har uttrykt ønske for at systemet skal videreutvikles, og det er derfor brukt litt ekstra plass i systemdokumentasjonen på å beskrive de ulike delene av applikasjonen. Eksempler på dette er beskrivelser av oppbygningen av sider og sentrale komponenter. Systemdokumentasjonen kan leses i vedlegg E.

Visjonsdokumentet i vedlegg C har oversikten over alle de opprinnelige kravene dersom det blir relevant å utvide systemet slik det er tiltenkt nå. Kravdokumentasjonen i vedlegg D inneholder produserte wireframes for elev- og lærervisning. Wireframes for lærervisning er fremdeles i idemyldringsfasen, og er ikke godkjent av oppdragsgivere.

Sikkerhet

I de ikke-funksjonelle kravene ble det skrevet at det skulle være fokus på grunnleggende sikkerhet, med forhindringen av SQL-injections som minstekrav. Dette har vært greit å ta hånd om ettersom databasen som ble benyttet er en NoSQL-database.

Ved en eventuell utvidelse av systemet er det viktig at fokuset på sikkerhet fortsetter. Ved nye tabeller eller felter i databasen, så må reglene i Firestore oppdateres. Dersom det skulle bli aktuelt med brukere og innlogging vil man måtte huske på hashing av passord. Brukere er ennå ikke diskutert, men det er lagring av data fra besvarelsene. For å beskytte brukerne av applikasjonen må dette gjøres med omhu om det skulle bli implementert.

Personvern

Applikasjonen skulle ta hensyn til GDPR. Applikasjonen benytter seg ikke av cookies, og det foretas heller ingen lagring av persondata. Det har altså ikke vært nødvendig med noen tiltak på grunn av GDPR. På samme måte som med sikkerhet, er det sentralt å beholde fokus på GDPR når systemet utvides med ny funksjonalitet.

Kriterier for læremidler

Dersom produktet skal brukes i skolen er det viktig at det holder standarden som er satt av offentlige etater. For å ta hensyn til kriterier for læremidler ble det valgt ut noen kriterier som førte til ny funksjonalitet i applikasjonen. Kriteriene knyttet til pedagogikk og tilknytning til læreplanmål, ble ansett å være utenfor oppgavens omfang. De valgte kvalitetskriteriene ble ansett som relevante å ta hensyn til fra et utviklerperspektiv.

- **Universell utforming** - Universell utforming ble diskutert i et eget punkt ovenfor, i sammenheng med WCAG prinsipp 1.
- **Tekst til tale** - En utfordring ved API'et som ble brukt i tekst-til-tale, web speech api, er at det er et nettleseravhengig API. Det betyr at elever kan få ulik kvalitet på opplesningen, avhengig av hvilken nettleser de bruker. Til senere arbeid kunne det blitt vurdert å bruke en annen løsning som krever abonnement, men som sikrer god kvalitet på tvers av nettlere.
- **Støtte for begge skriftspråk** - Støtte for begge skriftspråk måtte planlegges og implementeres på systemnivå ved bruk av et eksternt bibliotek. Denne støtten gir elevene mulighet til å vise applikasjonen i sitt hovedmål, slik at de kan jobbe med tallinjen uten å bli forvirret av et annet skriftspråk samtidig. Oversettelsene ble gjort av undertegnede, og arbeidet burde kvalitetssikres ved videre utvikling.

5.3 Diskusjon av administrative resultater

5.3.1 Fremdriftsplan

GANTT-diagrammet ble lite brukt ettersom det var en naturlig flyt mellom de ulike delene i prosjektet. Den eneste delen av prosjektperioden som førte til ventetid, var da gruppen måtte vente på svar fra meningsmålingen. Sett bort fra dette ble den naturlige flyten beholdt, og det var alltid ledige arbeidsoppgaver å jobbe med. Dersom prosjektet hadde vært større med flere milestones og aktiviteter som var avhengige av hverandre, kunne GANTT-diagrammet vært mer nyttig å bruke.

5.3.2 Timeregnskap

De ulike arbeidsoppgavene som ble definert på starten av prosjektet har fungert godt til organisering og føring av timer. Til slutt endte gruppen opp med 950 timer totalt, hvilket er 70 timer under estimert tidsbruk. Målet om å bruke omtrent 500 timer per medlem kan altså sies å ha blitt oppnådd.

Mens GANTT-diagrammet ble lite brukt, ble dokumentet som gruppen kalte "Fordeling av tidsbruk" hyppig brukt. I dokumentet ble det loggført hvor mange timer det var ønsket å jobbe hver uke. Hver uke ble dokumentet oppdatert i forhold til fremdriften. Planen for estimert tidsbruk per uke har bidratt til en jevn fordeling av timer gjennom prosjektperioden, med litt flere timer mot prosjektslutt. Det har vært fint å ha en slik plan i perioder med lav motivasjon.

I tabell 5 vises estimert og faktisk tidsbruk for prosjektperioden. Gruppen hadde ikke erfaring med prosjekter av denne størrelsen og tidshorizonten, og hadde vanskelig for å estimere tidsbruk per kategori. Dette vises for eksempel i kategorien "forprosjekt", hvor det ble brukt 25% mer tid enn estimert. I kategorien "testing/datainnsamling" ble det satt av tid til brukertesting, som endte opp med å ikke bli gjennomført, og det ble derfor brukt færre timer enn estimert. Det er også brukt mindre tid på utvikling enn planlagt. Dette er delvis fordi det estimerte timeantallet var høyt sammenliknet med andre kategorier, og delvis på grunn av at oppdragsgiver ønsket å nedprioritere noen av de funksjonelle kravene.

5.3.3 Utviklingsmetodikk

Ulike utviklingsmetodikker ble vurdert, og gruppen måtte ta hensyn til at det kun var to medlemmer. Det ble vurdert at en utviklingsmetodikk som SCRUM ville vært en lite egnet metode for en så liten gruppe. Flere av artefaktene ved SCRUM-rammeverket er laget for å tilrettelegge for god informasjonsflyt, hvilket kommer naturlig i en mindre gruppe.

Gruppen valgte istedenfor å ta i bruk elementer fra smidig utvikling uten et spesifikt rammeverk. I startfasen av prosjektet ble mye tid brukt på design av wireframes og problemforståelse, samt utarbeidelse av meningsmålingen med interaktive prototyper. Deretter kunne en MVP med innhold fra elevvisningen produseres. Etter tilbakemeldinger fra oppdragsgiver, ble det laget en liste med ønskede endringer og ny funksjonalitet. Med dette som prosess, er det mulig å argumentere for at gruppen arbeidet i ulike iterasjoner.

For hver av iterasjonene ble det tatt i bruk en kanban-tavle for organisering av arbeidsoppgaver. Dette fungerte godt for fordeling av oppgaver til koding og oppfølging av hverandre i prosessen.

Gruppen er fornøyd med den valgte utviklingsmetodikken. Arbeidsoppgavene samlet seg i naturlige iterasjoner, og møter og diskusjoner kunne avholdes ved behov. Kanban-tavlen fungerte bra som verktøy for å organisere oppgavene i hver iterasjon.

5.3.4 Samarbeid

Samarbeidet i gruppen har vært bra. Medlemmene har utfyllt hverandre med sine ulike egenskaper og interesseområder. Medlemmene har vært flinke til å kommunisere, har

jobbet jevnt og trutt og hatt god oppgavefordeling. Det har ikke vært behov for arbeidskontrakten, da det ikke har vært noen alvorlige konflikter. Gruppen har hatt mindre diskusjoner om beste løsning, men har løst dette fint.

6 Konklusjon og videre arbeid

6.1 Konklusjon

Målet med prosjektet har vært å utvikle en brukervennlig webapplikasjon som kan bidra til barns læring og matematiske resonnering ved bruk av tallinjen. I den forbindelse er det gjort tiltak for å kartlegge en digital tallinje som er brukervennlig å arbeide med, og design av en brukervennlig applikasjon for alle barn.

En digital meningsmåling har gjort det mulig å samle inn data fra en rekke testpersoner. Resultatene inneholdt ikke svar fra målgruppen, men har allikevel gitt en indikasjon på hvilket design som er enklest å bruke for folk flest. Det endelige grensesnittet for tallinjen er en god kombinasjon av de mest vellykkede prototypene, som har tatt utgangspunkt i direkte interaksjon med tallinjen.

Det har blitt gjort et grundig litteratursøk på MMI og brukergrensesnitt tilpasset målgruppen. Kahoot, Duolingo og HeiAlbert er sett på som gode eksempler på motiverende applikasjoner for læring. I tillegg til dette, har det vært fokus på å lage en applikasjon som kan brukes av de fleste barn. Det er mulig å konkludere med at applikasjonens design er godt forankret i teori og inspirasjon fra andre vellykkede applikasjoner. Videre dekkes Udirs grunnleggende kvalitetskriterier for design.

Etter hvert som oppgaven tilspisset seg mot motiverende elementer, ble følgende problemstilling formulert:

Hvordan kan elementer fra spillifisering brukes for å motivere barn til å lære matematikk ved hjelp av en tallinje?

Sett i lys av problemstillingen er manglende brukertester en stor svakhet for prosjektet. Brukertesting på målgruppen anses som en nødvendighet om applikasjonen skal videreutvikles og distribueres i fremtiden. Det er allikevel verdt å nevne at applikasjonen har motatt positive tilbakemeldinger, til tross for den åpenbare utfordringen med brukertesting.

De fleste elementene innen spillifisering kan bidra til at en applikasjon med tallinjen blir motiverende å bruke. Det er allikevel viktig å huske at elementene kan slå negativt ut; det er kjedelig å være eleven i klassen som har færrest badges eller er på bunnen av poengtavlen. Elementene som brukes burde motivere individet til å "slå" seg selv. Det har blitt forsøkt å velge elementer som er motiverende på bakgrunn av progresjon og et ønske om å lære, foran konkurranse og sammenlikning med medelever. Læringen skal være i fokus, og ikke spillet.

Spillifisering kan med fordel brukes sammen med juiciness for å oppnå en ønsket grad av motivasjon. Juicy elementer kan være relativt enkle å implementere, men har stor effekt på helheten ved en applikasjon. Ved bruk av juiciness i tillegg til spillifisering, vil brukeren kunne oppleve en mer helhetlig spill-følelse uten at det er så mange

spillifiseringselementer tilstede.

6.2 Videre arbeid

De åpenbare oppgavene for videre arbeid er å ferdigstille applikasjonen etter de funksjonelle kravene som ble satt i starten av prosjektet. Dette innebærer funksjonalitet for lærere, arbeid med store tall på en tallinje med markeringer, mulig brukerhåndtering og lagring av data.

I forhold til problemstillingen for denne oppgaven er det oppført relevante punkter for videre arbeid:

- **Revurdering av klare mål** - I valg av spillifisering ønskes en revurdering av punktet klare mål. Et alternativ til bygging av slottet kan være å ha et stort, tomt og fargeløst slott som utgangspunkt. Gevinsten ved å løse en oppgave kan bli å plassere vimpler, farger, dyr eller andre figurer på slottet. Til slutt kan eleven sitte igjen med et personlig tilpasset slott, hvor antall utførte oppgaver er relativt irrelevant. En slik løsning vil fjerne bruken av klare mål, og eleven kan fokusere mer på oppgavene på tallinjen. Det kan også vurderes om bruken av slottet er en god løsning i seg selv.
- **Utforske karakteren i "spillet"** - I fremtiden kan karakteren brukes mer aktivt i interaksjonen med tallinjen. Et eksempel kan være når eleven klikker "ferdig" på en oppgave: karakteren studerer buene som eleven har tegnet, før den forsøker å hoppe langs disse. Dersom løsningen er riktig kan karakteren lande fornøyd på svaret, men faller ned på tallinjen dersom svaret er feil. En slik type løsning spiller videre på at karakteren skal være en nysgjerrig og positiv rollemodell for barn, og kan utforskes for å se om tallinjen blir mer motiverende å arbeide med.
- **Opplæringsmateriale for variert spillstil** - Opplæring av strategier i bruken med tallinjen, for eksempel i form av mini-spill, tips underveis eller hjelpe-sider, kunne oppfordret elevene til å variere spillstilen. Et annet alternativ hadde vært å gi flere begrensninger på oppgavene, som å begrense til bruk av spesifikke strategier. Per nå er det lærerens ansvar å ha grunnleggende opplæring og oppfordre elever i bruken av ulike strategier. I framtiden kan applikasjonen bli laget for å fungere enda mer selvstendig og inspirere til variert spillstil.
- **Brukertesting med barn** - En hovedprioritet for framtidig utvikling vil være å gjennomføre brukertester med barn. Testingen står sentralt i arbeidet med å teste applikasjonens brukskvalitet.

Samfunnspåvirkning

Dette kapitlet er et supplement til den øvrige rapporten, og skal drøfte resultatene i et helhelhetlig systemperspektiv. Først diskuteres relevante profesjonsetiske problemstillinger knyttet til oppgavens tematikk. Deretter drøftes oppgavens resultater knyttet til bærekraft, som for denne oppgaven innebærer vurderinger på de miljømessige, sosiale og samfunnsmessige plan.

Profesjonsetiske problemstillinger

Som arkitekter og utviklere av en innovativ læringsapplikasjon har vurderingen av pedagogiske virkemidler vært ansett som en viktig del av arbeidet. Det har vært en utfordring å sette seg inn i den pedagogiske bakgrunnen for arbeidet med tallinjen, og videre bruke kunnskapen til å finne de riktige spill-elementene for en læringssammenheng. I en profesjonell setting med flere ressurser, ville det vært fordelaktig å inkludere fagpersoner som pedagoger eller psykologer i arbeidet.

Hensikten for denne oppgaven har vært å bruke spillifisering til å framheve læring, og det er også viktig å være bevisst de mulige effektene av feil bruk. Dette har blitt drøftet tidligere i rapportens diskusjon, gjennom muligheten for likegyldighet, avtagende effekter, tap av ytelse og uønsket oppførsel.

Videre kan det argumenteres for at det er behov for å studere mulige avhengighetsfaktorer ved spillifisering. I et konferanseforedrag fra 2016 anerkjennes de positive effektene ved spillifisering, men poengteres samtidig at det finnes potensielle farer å ta hensyn til (Andrade et al. 2016). En av disse er "Flow State" som har vist mulige sammenhenger med avhengighet. "Flow State" er en muntlig betegnelse på dyp konsentrasjon hvor brukere føler seg oppslukt og mister oppfatningen av tid. I foredraget foreslås det også et rammeverk for intelligent spillifisering (Framework for Intelligent Gamification - FIG). Forslaget av rammeverket viser at det er behov for mer kunnskap og regulering innen emnet for å sikre trygg og hensiktsmessig bruk av spillifiseringselementer (Andrade et al. 2016).

I en forlengelse av diskusjonen rundt etikk og spillavhengighet, er det også mulig å se applikasjonen fra et mer helhetlig perspektiv. Med økende bruk av digitale læremidler i skolen, er det rimelig å anta at barns eksponering for spillifiseringselementer også er økende. En problemstilling som den ovennevnte artikkelen belyste, er hvorvidt bruken av spillifisering kan gjøre barn avhengige av ytre faktorer for å motiveres til læring (Andrade et al. 2016). I tillegg er det mulig å vurdere påvirkningen som bruken av læringsapplikasjoner vil ha på et klasserommiljø hvor læreren i større grad benytter seg av digitale hjelpemidler.

Påstandene i forrige avsnitt og påstanden om avhengighet, er i stor grad basert på *potensielle farer*, og ikke evidensbaserte farer, ved bruk av spillifisering. Det er også

mulig å vurdere om enkeltpåstander er mer deterministiske enn realistiske. Videre kan det også argumenteres for at de etiske problemstillingene er mer av pedagogisk og skolestrukturell relevans, men det er allikevel viktig å belyse utvikleres rolle i prosjekter og samfunnet, og anerkjenne det ansvaret som medfølger.

Oppgavens vitenskapelighet er diskutert gjennom hovedrapporten der hvor det har vært relevant. Den største svakheten med oppgaven er at det ikke er gjennomført brukertester på målgruppen. Styrkene ved oppgavens vitenskapelighet ligger i gode faglige vurderinger av kildemateriale som er implementert i praksis, og de planlagte brukertestene som har fulgt regelverk for testing med barn og personvern. Ulike etiske problemstillinger knyttet til barn er nevnt gjennom hovedrapporten, og handler i stor grad om nettopp samtykke og rettigheter ved testing.

Bærekraftsvurderinger

En sentral vurdering for miljømessig bærekraft er å se på miljøpåvirkningene fra en digital tallinje sammenliknet med en tradisjonell tallinje på ark. Papir krever bruk av råmaterialet tre, i tillegg til utslipp fra hele produksjonsprosessen: hogging, produksjonen av papiret, transporten til en skole og håndtering når arket er ferdig brukt. Optimale analyser av programvare vil ta hensyn til råvarene som kreves for å lage datamaskiner og servere, produksjonen av disse, og elektrisiteten som kreves for å drifte systemet.

Livsløpsanalyser (LCA) er en av de mest kjente formene for vurdering av utslipp gjennom produkters livsløp. Artikkelen "Comparative life cycle assessments: The case of paper and digital media" skriver om utfordringene ved å bruke LCA for sammenlikning mellom papir og digitale media. Det argumenteres for at LCA er et godt verktøy, men at forskjellene mellom produktene gjør det uegnet som sammenlikningsverktøy (Kozak & Bull 2014). Dette er på grunn av de store materialforskjellene mellom IKT-produkter og papir, og at IKT-sektoren har unike egenskaper som gjør det avansert å analysere totalutslipp. Bransjen er også i stadig utvikling, hvilket gjør det enda mer vanskelig å finne oppdaterte beregninger på klimafotavtrykket til digitale tjenester.

Det er allikevel funnet livsløpsvurderinger fra 2015 som sammenlikner programvarebaserte visittkort mot papirbaserte visittkort. Den fagfellevurderte artikkelen ser på mobilapplikasjoner hvor brukere kan utveksle informasjon med hverandre, mot tradisjonelle visittkort som designes, printes på papir, fraktes, brukes og behandles ved livsløpets slutt. Resultatet viser at papirbaserte visittkort har lavere miljøpåvirkning for mindre enn 1000 utvekslinger, mens digitale visittkort har langt lavere energiforbruk når utvekslingene overstiger høyere verdier som 30 000 (Karapetyana et al. 2015). Elektrisitetsforbruket er den faktoren som har størst utslippspåvirkning for begge prosessene. Hvorvidt resultatene er overførbare til en applikasjon eller ark for bruken av tallinjen er diskutert, men artikkelen indikerer at

applikasjonen vil være mere lønnsom fra et miljøperspektiv jo flere som bruker den.

Når det kommer til inkludering og sosial bærekraft, har denne applikasjonen et klart og målbart ansvar. God praksis angående språk og universell utforming vil bidra til å gjøre applikasjonen brukbar for så mange skoleelever som mulig. Eksempelvis kan muligheten for å endre teksten i applikasjonen til andre språk gjøre den lett å betjene av elever med andre morsmål. Det burde også være mulig å betjene applikasjonen med en hånd, eksempelvis kun ved bruk av tastaturet. I tillegg er det viktig å ta hensyn til at barn har ulik teknologisk kompetanse, og tilrettelegge for at alle skal klare å betjene applikasjonen. Ved å ta hensyn til ulike utfordringer som elever kan besitte, vil applikasjonen kunne brukes av de fleste skoleelever, som videre kan utvikle sine evner innen matematisk resonnering. Matematikk er i seg selv et universelt språk, og det er opp til produktutviklere og kunnskapsformidlere å tilrettelegge for gode læringsforhold.

Referanser

Abeele, V. V., Dickinson, P., Gerling, K. & Hicks, K. (2019), 'Juicy game design: Understanding the impact of visual embellishments on player experience'.

URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3311350.3347171>

Agile Alliance, p. (2022), 'What is agile?'. Hentet: 2022-04-29.

URL: <https://www.agilealliance.org/agile101/>

Agile Manifesto, p. (2001), 'Manifestet for smidig programvareutvikling'. Hentet: 2022-04-29.

URL: <https://agilemanifesto.org/iso/no/manifesto.html>

Andrade, F. R., Mizoguchi, R. & Isotani, S. (2016), 'The bright and dark sides of gamification', **13**, 176–186.

Cantuni, R. (2020), 'Designing digital products for kids : deliver user experiences that delight kids, parents, and teachers'.

Chao, G. (2009), Human-computer interaction: Process and principles of human-computer interface design, *in* '2009 International Conference on Computer and Automation Engineering', pp. 230–233.

Cloudflare, I. (2022), 'What is baas? | backend-as-a-service vs. serverless'. Hentet: 2022-05-03.

URL: <https://www.cloudflare.com/learning/serverless/glossary/backend-as-a-service-baas/>

Daniela, L. (2021a), *Smart pedagogy of game-based learning*, Springer, pp. 85–87.

Daniela, L. (2021b), *Smart pedagogy of game-based learning*, Springer, p. 457.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L. (2011), From game design elements to gamefulness: Defining gamification", *in* 'Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments', MindTrek '11, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, p. 9–15.

Figma (2022a), 'The modern interface design tool'.

URL: <https://www.figma.com/ui-design-tool/>

Figma (2022b), 'An online whiteboard for teams to ideate and brainstorm together'.

URL: <https://www.figma.com/figjam/>

Firebase (2022), 'Products / build'.

URL: <https://firebase.google.com/products-build>

Fosnot, C. T. (2007), 'Investigating number sense, addition, and subtraction : grades k-3 : Overview'.

Haugen, T. (2006), 'Designprinsipper for elektroniske læringsspill for barn'.

Kao, D. (2020), 'The effects of juiciness in an action rpg'.

URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1875952118300879?token=75A64586F63C0F7BDAA307FA4E1984F0533DA79E2704824BC3E82CE78CD80D724E3109E6D6CCCF4CEB92ACAeu-west-1&originCreation=20220405103455>

Karapetyana, A., Yaquba, W., Kirakosyana, A., , S. & Sgouris (2015), 'A two-stage comparative life cycle assessment of paper-based and software-based business cards', *Procedia Computer Science* **52**, 819–826.

Kozak, R. A. & Bull, J. G. (2014), 'Comparative life cycle assessments: The case of paper and digital media', *Environmental Impact Assessment Review* **45**, 10–18.

Krug, S. (2014), *Don't make me think, revisited: a common sense approach to web and mobile usability*, Peachpit, a division of Pearson Education.

Landers, R. N. (2014), 'Developing a theory of gamified learning', *Simulation Gaming* **45**(6), 752–768.

Latiff, H., Razali, R. & Ismail, F. (2019), 'User interface design guidelines for children mobile learning applications', **8**(3), 3311–3319.

Maddix, F. (1990), *Human-computer interaction: theory and practice*, Prentice Hall.

Nielsen, J. (1993), Morgan Kaufmann an imprint of Academic Press, a Harcourt Science and Technology Company, p. 23–37.

NSD (2022a), 'Barnehage- og skoleforskning'. Hentet: 2022-05-02.

URL: <https://www.nsd.no/personverntjenester/oppslagsverk-for-personvern-i-forskning/barnehage-og-skoleforskning/>

NSD (2022b), 'Nsd'. Hentet: 2022-05-02.

URL: <https://www.nsd.no/>

NTNU, N. t.-n. u. (2022), 'Nettskjema'.

URL: <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Nettskjema>

Rehkopf, M. (2022), 'What is a kanban board?'

URL: <https://www.atlassian.com/agile/kanban/boards>

Svingen, O. E. L. (2018), 'Representasjoner i matematikk'.

Svingen, O. & Gilje, Ø. (2018), 'Kunnskapsgrunnlag for kvalitetskriterium for læremiddel i matematikk'.

URL: https://www.udir.no/contentassets/9178af2725fd4773a46374be4ba54de9/grunnlagsdokument_kvalitetilareremidler_udir_2018.pdf

Toda, A. M., Valle, P. H. D. & Isotani, S. (2018), 'The dark side of gamification: An overview of negative effects of gamification in education'. Hentet: 2022-05-05.

URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97934-2_9

Utdanningsdirektoratet (2022), 'Kompetansemål og vurdering'.

URL: <https://www.udir.no/lk20/mat01-05/kompetansemaal-og-vurdering/kv17>

Utdanningsdirektoratet (n.d.), 'Veileder for vurdering av læremidler i matematikk (for lærere)'.
URL: <https://reflex.udir.no/egenvurdering/oversikt>

Vedlegg

Vedlegg A - Forprosjektplan

Vedlegg B - Prosjekthåndbok

Vedlegg C - Visjonsdokument

Vedlegg D - Kravdokumentasjon

Vedlegg E - Systemdokumentasjon

Vedlegg F - Meningsmåling

Vedlegg G - Intervjuguide

Vedlegg H - WCAG sjekkliste

Vedlegg I - Kildekode

