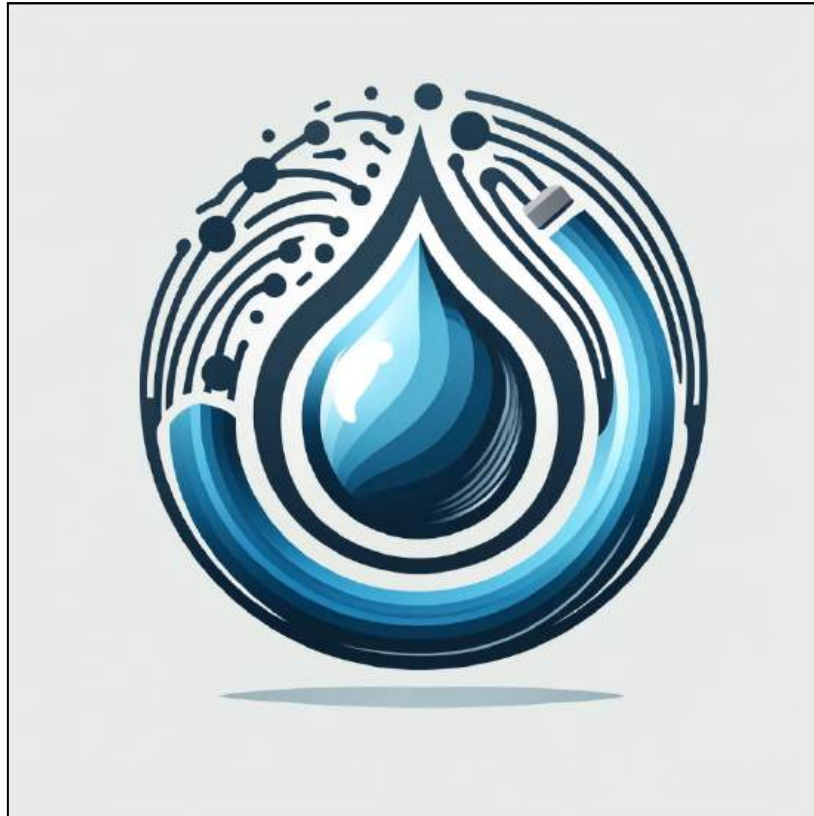


Projekt 2

Gruppe 1



Gruppe nr:	Team 4	
Gruppemedlemmer:	Navn:	Studienummer:
	Danni Raetzel	202200284
	Kasper David Arberg Nielsen	202307576
	Lucie Mandøe	202304936
	Martin Elken	202200298
	Mikkel Amstrup Brandt Neiiendam	202200296
Fag:	Projekt 2	
Vejleder:	Henning Slavensky	
	Jørgen Houe Pedersen	
	Kristian Lomholdt	
	Simon Mølgaard Møller	
Institution:	Aarhus Universitet - Herning	
Dato:	02-06-2024	

1 Abstract - english

Limescale deposits in household water are a common problem that can lead to clogged pipes, inefficient water heaters, and increased use of cleaning agents. This report presents the development of a cost-effective and user-friendly solution using magnetic water treatment to reduce the need for chemicals in household water. The project follows a systematic approach with two main phases: ideation and product development. The ideation phase includes the identification and analysis of various technologies, while the product development phase focuses on the design, construction, and testing of a prototype. The results show that the developed prototype can effectively reduce limescale deposits, indicating the potential to minimize chemical use in households. The report concludes with recommendations for future improvements and further research in sustainable water treatment.

1 Abstract - dansk

Kalkaflejringer i husholdningsvand er et almindeligt problem, der kan føre til tilstopning af rør, ineffektivitet i vandvarmere og øget brug af rengøringsmidler. Denne rapport præsenterer udviklingen af en omkostningseffektiv og brugervenlig løsning ved hjælp af magnetisk vandbehandling, med henblik på at reducere behovet for kemikalier i husholdningsvand. Projektet følger en systematisk tilgang med to hovedfaser: idéudvikling og produktudvikling. Idéudviklingsfasen inkluderer identifikation og analyse af forskellige teknologier, mens produktudviklingsfasen fokuserer på design, bygning og testning af en prototype. Resultaterne viser, at den udviklede prototype effektivt kan reducere kalkaflejringer, hvilket indikerer potentialet for at minimere kemikaliebrug i husholdninger. Rapporten konkluderer med anbefalinger til fremtidige forbedringer og videre forskning inden for bæredygtig vandbehandling.

2 Indholdsfortegnelse

1 Abstract - english	1
1 Abstract - dansk	1
2 Indholdsfortegnelse	2
3 Forord	4
4 Indledning	5
Fase 1	5
5 Problemformulering	5
5.1 Gruppedannelse og forarbejde	6
5.2 Metode og proces	7
5.2.1 Fokusområde	7
5.3 Design thinking (Martin)	8
5.4 Double diamond-modellen (Martin)	10
5.4.1 Discoverfase:	10
5.4.2 Interview	11
5.4.3 Brugerundersøgelse	11
5.4.4 Definefase:	12
5.4.5 Persona	12
5.4.6 Brugerprofil:	13
5.4.7 Developfasen:	14
5.4.8 Pitch:	15
6 Overgang mellem Fase 1 og Fase 2	17
6.1 Preproject:	17
6.2 Scrum-metoden	19
6.3 Krav	21
6.3.1 Krav til hardware	21
6.3.2 Krav til software	21
6.4 Afgrænsninger	21
Fase 2	21
7 Indledning – virker det?	21
8 Analyse	22
8.1 Kemiske forklaringer på dannelse af aragonit ved hypotetisk deduktiv (Kasper)	22
8.2 Hardware (Mikkel)	24
8.2.1 Behovsanalyse	24
8.2.2 Komponentanalyse	24
8.3 Software (Danni, Kasper)	28
8.3.1 Design Overvejelser og Begrundelser	28
8.3.2 Algoritme og Beregninger	29
9 Arkitektur og design	31

9.1 Hardware (Mikkel, Martin)	31
9.1.1 Udvikling af printplade (PCB) (Danni, Mikkel)	32
9.2 Software (Danni, Kasper)	34
9.3 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) (Danni, Lucie og Mikkel)	36
10 Implementering	38
10.1 Implementering af regressions funktion i programmering (Kasper)	38
10.2 Beregning og implementering af PWM signal (Kasper)	39
10.3 Initialisering og Opsætning - Danni	41
10.3.1 Hovedløkken	41
10.3.2 Håndtering af Brugerinput	41
10.3.3 Beregning og Justering af Magnetfelt	42
10.3.4 Konvertering af strøm til PWM (Danni)	42
11 Test	43
11.1 Funktionelle Tests	43
11.2 Ikke-funktionelle Tests	43
11.3 Integrationstest - Kasper	44
11.4 Hardware (Lucie)	49
11.5 Test konklusion	49
12 Resultater (Lucie)	50
13 Det opnåede produkt (Lucie)	50
14 Diskussion af test resultater	51
15 Projektstyringen i praksis	53
16 Diskussion af det opnåede produkt	53
17 Konklusion	54
18 Fremtidigt arbejde (Perspektivering)	55
19 Bibliografi	57

3 Forord

Denne rapport er skrevet til Projekt 2, en projektopgave givet på 2. semester Elektronik og Elektrisk Energiteknologi ved Aarhus Universitet, Herning. Projektet beskæftiger sig med at vælge et af FN's 17 Verdensmål og løse en problemstilling inden for dette. Vi har valgt at fokusere på FN's Verdensmål 6: Rent vand og sanitet. Vores opgave har været at udvikle en løsning, der kan reducere brugen af kemikalier i husholdningsvand ved hjælp af en magnetisk 'kalkknuser'.

Rapporten er struktureret i to faser:

1. Idéudviklingsfasen: Her opstilles problemformuleringen, og grundlæggende forskning og analyser udføres for at identificere mulige løsninger.
2. Produktudviklingsfasen: Her udvikles og testes en prototype for at løse problemformuleringen.

Fase 1 vejleder har været Simon Mølgaard Møller.

Vejlederne i fase 2 har været Henning Slavensky, Kristian Peter Lomholdt og Jørgen Houe Pedersen.

Rapporten skal afleveres på Wiseflow den 02-06-2024 klokken 13:00 og forsvares den 20-06-2024.

Vi vil gerne takke vores vejledere for deres støtte og vejledning gennem hele projektet. En særlig tak går til de fagfolk, herunder geologer og miljømedarbejdere, som har deltaget i vores interviews og undersøgelser. Deres bidrag har været uvurderlige for vores brugercentrerede arbejdsproces og udviklingen af vores prototype.

4 Indledning

Rent drikkevand er vigtigt for at vi og fremtidige generationer kan leve et sundt liv på jorden. Dette er vigtigt at sikre, i takt med at kemikalieudslip stadig er et problem. Vi har i forbindelse med desktop – research fundet ud af at der er en sammenhæng mellem hårdt drikkevand og kemikalieudslip, hvilket også er blevet bekræftet gennem interviews med professionelle.

Kalkaflejringer i husholdningsvand er et udbredt problem, der påvirker mange husstande. Disse aflejringer kan føre til tilstopning af rør, ineffektivitet i vandvarmere og et øget behov for rengøringsmidler.

Et centralt område, der fangede vores interesse, var brugen af kemikalier til at forhindre kalkdannelse. Selvom kemikalierne er effektive, har de negative miljøpåvirkninger og kan være dyre i længden. Mange husstande, som vores persona har udtrykt, ønsker mere miljøvenlige og omkostningseffektive løsninger.

Med dette i tankerne fokuserede vores undersøgelse på at finde alternativer til kemikaliebrug, som samtidig er effektive mod kalkaflejringer. Vi blev særligt interesserede i magnetisk vandbehandling, en metode, der har vist sig lovende i tidligere studier, men som stadig kræver yderligere undersøgelse for at optimere dens effektivitet og anvendelighed i dagligdagen.

Fase 1

5 Problemformulering

Hvordan kan vi udvikle et aggregat, som kan hjælpe en husstand med at bruge mindre kemi i forbindelse med deres almindelige husholdning?

- Hvordan kan vi mindske kemikalieforbruget i danske husstandes afløb i Danmark?
- Kan vi udvikle et hjælpemiddel, der ikke er for omkostningstungt for den enkelte forbruger?
- Kan vi samtidigt udvikle et hjælpemiddel, der er let at betjene?
- Hvordan kan videnskaben hjælpe os til at fremstille et hjælpemiddel? Hvad siger teorien?

5.1 Gruppedannelse og forarbejde

Til opstarten på dette semester valgte vi at gå sammen til en fem-mands gruppe. Vi var en blanding af elektronik- og elektrisk energiteknologi studerende. Nogle af os havde relationer til hinanden fra tidligere, da vi havde gået på samme adgangskursus til uddannelsen. Andre havde arbejdet sammen på 1. semesterprojektet.

Vi var enige om, at vi sammen havde nogle individuelle værdier og styrker, der kunne give et frugtbart samarbejde.

Første prøvelse var at udarbejde en psykologisk kontrakt. Vi havde erfaring med dette fra 1. semester og havde mange gode relevante bud på indholdet af kontrakten.

Vi var alle enige om, at den psykologiske kontrakt i højere grad skulle være værdibaseret end dikterende, da erfaringen fra tidligere viste at det var svært at holde helt stringente aftaler. Det havde i hvert fald vist sig, at det var svært at sanktionere, hvis kontrakten ikke blev overholdt.¹

Vi var til gengæld alle enige om, hvordan vores kommunikation skulle være i forløbet af dette projekt, for at vi alle var tilpas og præsterede bedst.

Til at understøtte opstarten med god kommunikation blev vi inviteret til workshop med Henning for at fortsætte arbejdet med vores Insights profil.

Workshoppen tog udgangspunkt i hæftet "Øvelser og udfordringer til personlig udvikling"²



Figur 1 - Insights

¹ Psykologisk kontrakt vedlagt som bilag

² insights discovery - "Øvelser og udfordringer til personlig udvikling"

Vi var alle ret skeptiske i forhold til workshoppen. Vi var egentlig af den overbevisning, at arbejdet med den psykologiske kontrakt var fint nok til vores gruppe.

Vi formåede dog som gruppe at engagere os 100% i processen og vi havde specielt en enkelt øvelse, hvor vi alle skulle sige en positiv ting om hver enkelt gruppemedlem. Det er svært at beskrive med ord hvad der skete, men vi følte alle en grad af samhørighed og som gruppe stod vi bagefter meget stærkere - især kommunikativt, da vi alle følte at vi kunne se hinandens stærke sider. Der opstod simpelthen en stor grad af psykologisk tryghed den dag.

5.2 Metode og proces

5.2.1 Fokusområde

Ved opstarten på Pro2 blev første opgave at finde et fokusområde ud fra FN's 17 verdensmål for en mere bæredygtig verden.

Ud fra de 17 verdensmål er der blevet udpeget 197 danske målepunkter, som danskerne opfordres til at bidrage til.

Hver gruppe skulle gennemlæse materialet fra FN³ og derefter udpege tre specifikke områder, som vi gerne ville undersøge nærmere og til sidst udarbejde et projekt omkring.



Figur 2 - Oversigt over FN's 17 verdensmål

³ FN17 - Vores mål

I beslutningsprocessen forsøgte vi at gøre det så demokratisk som muligt, så vi valgte at hvert gruppemedlem skulle udvælge tre forskellige mål.

Vi sammenlignede vores emner og fandt flere gengangere. Blandt gengangerne indledte vi ny en forhandling og endte til sidst med at blive enige om at fokusere på emne 6 - Rent vand og sanitet.

Vi var alle begejstrede for at arbejde med bæredygtighed ud fra FN's verdensmål, da vi i fremtiden sagtens kunne se os selv arbejde inden for områder med ressourcebeskyttelse. Vand er en af verdens vigtigste ressourcer, så vi havde også en idé om, at der kunne være mange spændende muligheder for projektarbejde. Vi var i hvert fald enige om, at teknologien helt sikkert kunne løse nogle af de udfordringer som findes indenfor emnet "Rent vand og sanitet".

Vi skulle nu igennem en refleksionsmodel, hvor fokusområdet skulle koncentreres ned til en ganske kort tekst.

Vi endte ud med at korte vores refleksioner ned til følgende tekst :

" Undersøgelse af metoder til forbedring af vandkvalitet og energieffektivitet i vandforsyningssystemer."

5.3 Design thinking (Martin)

Efter valg af emne blev vi nu introduceret for vores arbejds- og procesmodel, som skulle understøtte vores idegenereringsproces igennem resten af projektforsløbet.

Vi blev allerførst introduceret til procesmodellen - "Design Thinking"⁴, som havde til formål at inspirere til hvordan vi skulle gribe hele idéudviklingsfasen an.

Design thinking er en måde at tænke på design og æstetik. Modellen påstår at design har udviklet sig en retning, hvor man fokuserer mere og mere på, hvad der er det muliges kunst - frem for at tænke i hvad man egentlig ønsker af dit produkt. Tim Brown påstår blandt andet, at hvis man kun fokuserer på hvordan de enkelte ting skal fremstå æstetisk og hvad der er muligt, så misser man en mulighed for at forandre noget i verden.

Han opfordrer først og fremmest til at tænke på, hvad behovet er frem for hvad der er muligt at fremstille.

⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=UAinLaT42xY> - Tim Brown urges designers to think big

Han opstiller en række dogmer for design thinking, hvor han også giver enkelte eksempler:

- Starts with humans

Alt design thinking tager udgangspunkt i mennesker og deres ønsker og behov. Det gør processen lettere, når den tager udgangspunkt i ting vi ønsker skal ske.

Han har et eksempel fra Indien, hvor der mangler teknikere til at betjene medicinsk udstyr. I stedet for at fokusere på, at man ikke har uddannet folk til at betjene de tekniske apparater, valgte man at udvikle en app, der instruerede almindelige folk i at betjene de tekniske apparater. Et godt eksempel på at udviklingen blev styret af menneskers behov og ikke hvad man umiddelbart ville tro var muligt eller ikke muligt.

- Building on order to think / learning by making

I design thinking er prototypefremstilling vigtigt. Man må meget gerne forsøge at udvikle flere forskellige prototyper på problemer, da det er med til at speede fremstillingsprocessen op.

- From consumption to participation

Det er vigtigt at engagere sine brugere i produktet. Produktet må ikke udelukkende ses som en forbrugsvare, men også give mening for den enkelte bruger personligt. Løsningerne skal være værdibaserede, så den enkelte forbruger føler ejerskab over sit produkt og værdierne produktet symboliserer. Produktet skal i høj grad appellere til nogle holdninger og meninger ved den enkelte.

Tim Brown påstår at man i højere grad i fremtiden vil have succes med en værdibaseret tilgang, hvor man ikke udelukkende bruger profit som målestok for sine produkter.

“The diversity of ideas presents the primary source of innovative outcomes.” - Tim Brown

Normalt har man tendens til at træffe beslutninger ud fra det man ser der er muligt. Design thinking indbyder til, at man først tænker, hvad man skal have løst og hvordan man så kan finde kreative løsninger på sine problemstillinger og gerne løsninger, der ikke er set før.

Man kan dermed sige, at opstarten med at vælge et emne ud fra FN's bæredygtigheds mål opfylder kravene fra design thinking om, at man skal involvere sine brugere i en værdibaseret proces, der gerne skulle udfylde et menneskeligt behov.

5.4 Double diamond-modellen (Martin)

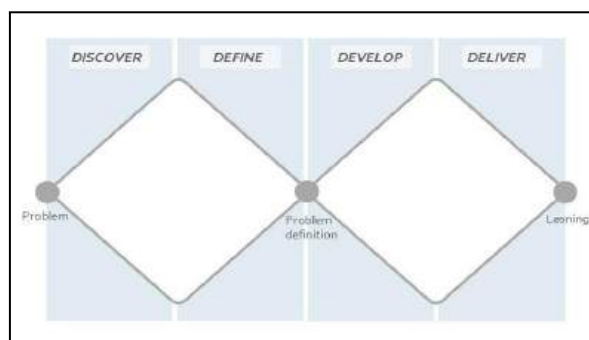
Double diamond består grundlæggende af to diamanter som vist nedenfor.⁵⁶

De to diamanter kaldes problem diamanten og løsnings diamanten - de dækker over hver deres fase.

Problem Diamanten består af en *discover fase* og en *define fase*. I denne fase handler det om idegenerering. Vi skal have så mange ideer og tanker frem, som til sidst skal snævres ind til et specifikt problem.

Ud fra vores hovedfokusområde undersøger vores interessenter behov og problemstillinger. Dette kan gøres ved at søge information bl.a. på internettet, brugerundersøgelser og interviews.

Løsning Diamanten består af en *develop fase* og en *deliver fase*, hvor der etableres et løsningsrum for det specifikke problem. Der skal idégenereres i forhold til det specifikke problem, og vi arbejder her med visualisering i form af preto- og prototyper.



Figur 3 Double diamond-modellen

5.4.1 Discoverfase:

I denne fase skulle vi med udgangspunkt i vores valgte fokusområde tilvejebringe mest muligt viden.

Vi besluttede i denne fase, at vores undersøgelser skulle bestå af desktop research, interviews med fagfolk og brugerundersøgelser af almindelige borgere.

Desktop research gav også en masse information og var med til at stille os skarpe på vores fokusområde⁷. Vi blev især optaget af brugen af kemi i vand. Det gav god baggrundsviden til at arbejde videre med yderligere research, som for vores vedkommende kom til at bestå af interviews og brugerundersøgelser.

⁵ <https://www.designorate.com/the-double-diamond-design-thinking-process-and-how-to-use-it/>

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=unHyfWvZhFc> - Forstå Double Diamond på 4 minutter

⁷ Uddrag af research vedlagt som bilag

På baggrund af vores nyfundne opmærksomhed på brug af kemi i vand vurderede vi, at det var relevant både at inkludere fagpersoner, men også ganske almindelige mennesker i vores undersøgelser.

Fagpersoner ønskede vi at finde på kommunalt niveau for at spørge ind til deres syn på problematikkerne med kemi i vores vand.

Brugerundersøgelse med almindelige mennesker var også særdeles interessant for at kunne analysere på holdninger og forbrugsvaner.

5.4.2 Interview

Inden vi skulle i gang med vores interview, søgte vi en interviewmodel til at hjælpe os.

Vi tog udgangspunkt i "Det kvalitative interview"⁸)

- Før interview - Hvem er relevante for interviewet? Forberede interviewguide
- Under interview - Udgangspunkt i et overordnet emne. Korte og åbne spørgsmål
- Interviewguide - Introduktion af gruppen - eksisterende praksis - fremtid

Vi kontaktede en geolog ansat ved miljømyndigheden i Københavns Kommune og en miljømedarbejder ansat ved Hjørring Vandselskab. Begge ville gerne deltage i vores interviews, som havde til formål at give et kvalitativt svar på noget af vores research.

Geologen kunne oplyse os om, at kemikalier i vand er et emne, der bliver taget meget alvorligt.

Der er strenge krav til industrien og diverse rensningsanlæg i forhold til udledning og rensning af spildevand og drikkevand. Han vurderer dog, at vi er ret godt reguleret i Danmark. Han bliver også spurgt ind til om kalk er et reelt problem, hvortil han svarer, at det mest er for den enkelte husejer det kan give problemer i form af dårligt vandtryk og ekstra brug af sæbe, rengøringsmidler og lignende.

Medarbejderen ved vandselskabet kunne bekræfte, at kalk kun var et problem ude ved den enkelte forbruger. På vandværket bruger de kemi til at rense vandet, og det fungerede hensigtsmæssigt. Den største udfordring for deres vedkommende var den øgede forekomst af PFAS-stoffer, som er meget svære at nedbryde.

5.4.3 Brugerundersøgelse

På baggrund af interviews med fagpersoner blev vi nu nysgerrige på privatpersoners holdning til brug af kemi i deres husstand.

⁸ (<https://innovation.sites.ku.dk/metode/det-kvalitative-interview/>)

Vi lavede en brugerundersøgelse, der tog udgangspunkt i deres egen husstand. Om de brugte kemikalier i deres vand og om det var noget de havde gjort sig større miljømæssige overvejelser omkring. Vi spurgte ind til, om de oplevede at kalk og særdeleshed fjernelse af kalk udgjorde et problem for dem.

Vi fokuserede derefter på økonomi i eventuelle løsninger for at blive klogere på, om folk var villig til at betale for en bæredygtig løsning.

På daværende tidspunkt havde vi nu fået samlet så meget relevant information, at vi nu var klar til at gå ind i næste fase af idegenereringen.

5.4.4 Definefase:

Næste skridt var define fasen, hvor vi nu skulle forsøge at indsnævre vores indsamlede viden til et specifikt problem, som vi kunne udvikle løsninger til.

Formålet med define fasen er at få analyseret data for at få defineret et specifikt problem.

På baggrund af data analyse af research, interviews og brugerundersøgelse fik vi skabt en profil af typerne som evt. ville kunne tænke sig at fokusere på problemstillingen i forhold til at anvende kemi i vandet. Vi fik også et overblik over forskellige interessenters bekymringer i forhold til kemi i vandet.

5.4.5 Persona

Vi fik skabt en persona som vi i grove træk anså som en gennemsnitlig husejer med fast indkomst og familie. Personaen havde ambitioner om at leve mere bæredygtigt og var også villig til i en eller anden grad at bruge penge for at opnå målet. Her er vores persona:



The persona card for Mikkel Rasmussen is divided into three main sections. The left section features a circular portrait of Mikkel, a middle section with a green background containing text about his goals and challenges, and a right section with a light green background detailing his history and interests. Below the portrait is a table of personal details.

MIKKEL RASMUSSEN

Alder	35
Arbejde	Lokomotivfører
Status	Gift og far
Location	Sorø
Fritid	Padel og Mountainbike
Device	iPhone og PC
Sociale Medier	Instagram

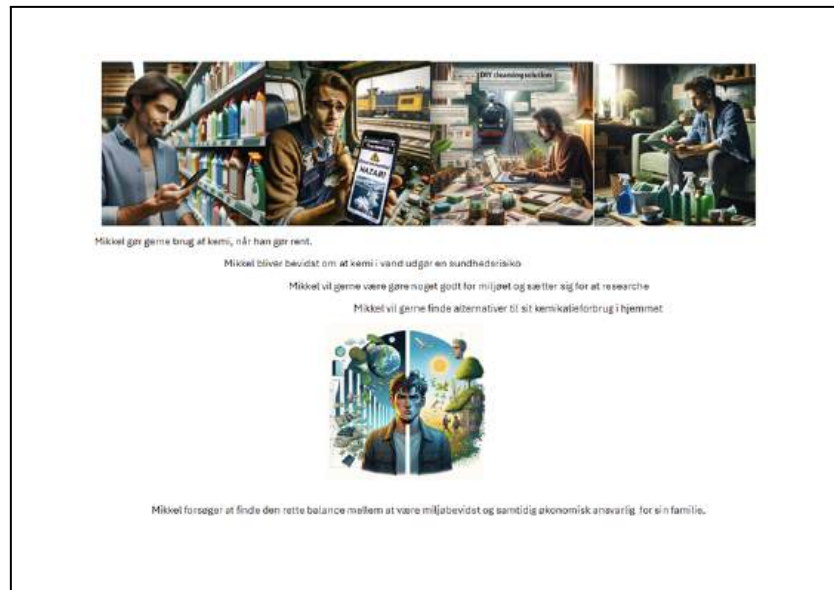
Mikkels historie:
Mikkel er en 35-år gammel mand, der bor i sit eget hus i forstaden sammen med sin kone og to børn. Mikkel er engageret i bæredygtighed og teknologi. Han ønsker at forbedre vandkvaliteten i hjemmet ved at mindske hårdheden og dermed døde med mindre kalk.
Karriere: Mikkel er en lokomotivfører, der bruger sine mange timer på skinnerne til at reflektere over hverdagens udfordringer. Samtidig nyder han også den store mængde fritid, som hans job giver ham, og hans solide økonomiske situation giver ham mulighed for at udforske nye måder at gøre livet lidt lettere på.
Interesser: Udover sit arbejde er Mikkel dybt engageret i sin familie. Han prioriterer også tid til at spille padel og køre mountainbike, da disse aktiviteter giver ham glæde og udfordring. For Mikkel er det afgørende, at der er balance mellem familieliv og individuelle interesser, samtidig med at der er tid til at nyde hinandens selskab som familie.

Mikkel ønsker at være forserger for sin familie og at kunne skabe en god fremtid hvor bæredygtighed spiller en særlig rolle. Samtidig ønsker han løsninger som letter dagligdagen og mindsker kemikalieudslippet fra sit spildevand.

Mikkel står over for udfordringen med at balancere sin tid mellem arbejde, familie og personlige projekter. Han søger løbende efter effektive måder at integrere bæredygtige løsninger i sit eget hjem, der både er økonomisk overkommelige og teknologisk avancerede.

Mikkel drømmer om et samfund, hvor bæredygtighed er integreret i hverdagen, og teknologi spiller en central rolle i at løse miljømæssige udfordringer. Han håber at kunne bruge sin ekspertise til at gøre en mærkbar forskel både lokalt og globalt.

Figur 4 - Persona



Figur 5 - User Journey Map

Med vores user journey map forsøgte vi nu at indsnævre det specifikke problem yderligere, da vi nu fik til opgave at illustrere vores persona både i hans nuværende, men også den ønskede situation.

Vi fik det indkredset til, at vores miljøbevidste persona var frustreret over sit kemiforbrug i forbindelse med kalkfjernelse i hjemmet. Personaen vil gerne være miljøbevidst, men er også klar over at løsninger kan være dyre.

5.4.6 Brugerprofil:

Vi udarbejdede en brugerprofil for at synliggøre pains og gains for kunderne til vores produkt



Figur 6 - Brugerprofil

5.4.7 Developfasen:

Vi skulle nu i gang med idégenereringsfasen. Vi blev ledt igennem denne proces af en idéfaciliteringsvideo, som inspirerede til kreativ tænkning.. Der var specifikke krav, der skulle være på plads inden idegenereringsfasen. Persona, customer profile og user journey maps skulle være udarbejdet inden da.

De skulle være udarbejdet, så vi alle var bevidste om, hvad vores specifikke problem bestod af. Med synliggørelsen af det specifikke problem, kunne det nu anvendes på formen:

Kunden/Brugeren har behov for..... fordi

Vi endte med at snævre vores specifikke problem ned til problematikken omkring anvendelse af kemi i vores spildevand.

Kunden har behov for hjælp til at mindske brug af kemi i vand, da det er miljøskadeligt og dyrt.

I næste del af forløbet skulle vi brainstorme i forhold til anvendelse af "HMW-spørgsmål" (How might we) relateret til vores specifikke problem. Disse spørgsmål kaldes innovationsspørgsmål.

Vi blev dernæst introduceret for "Dødsrejsen" som en kreativ metode til en brainstorm.

Dette arbejde udmøntede sig i adskillige idéer; 12 forskellige idéer.

Vi valgte en demokratisk udvælgelsesproces og stemte derfor om hvilke idéer vi ville gå videre med til vores pitch.



Figur 7 - Resultatet af afstemningen om emner til næste projektarbejde.

Vi endte med disse tre idéer:

- En kalkknuser med magnet
- Elektronisk sensor for detektering af stoffer i vandet
- En vandspare konkurrence inspireret af platformen Strava.

5.4.8 Pitch:

Inden pitch forberedelsen skulle vi nu udarbejde value maps og synliggøre pains og gains ved hvert forslag. Der blev udarbejdet eksperiment tavle og eventuelle forslag til pretotyper af vores idéer.

Alle pitches blev forberedt efter NABC-metoden:

- Need - Hvad er markedets og kunders behov?
- Approach - Hvilken unik tilgang tilbyder vi i forhold til behovet?
- Benefit - Hvad er fordelene for interessenter?
- Competition - Hvem og hvad er konkurrenterne på området?

Pitchen blev gennemført. Vi havde forberedt et kort oplæg til hver idé og gennemgik dem. Efter pitchen var der bred enighed blandt vejledere og studerende om, at ide 2 med "Kalkknuseren" kunne være spændende at arbejde videre med.


```

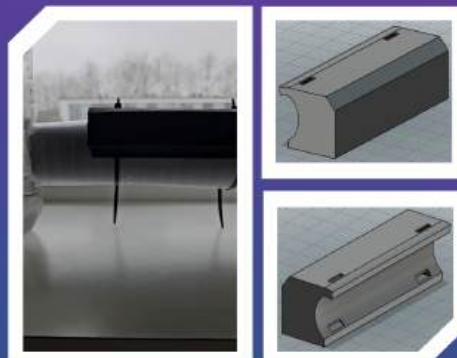
14      cout << "Press (1) to exit program" << endl;
15      cin >> input;
16      if(input == '1')
17      {
18
19          cout << "Nitrit is 0,001 ug/l" << endl;
20          cout << "Coliform bacteria at 37 degrees is < 1/100 ml." << endl;
21          cout << "Escherichia coli is < 1/100 ml" << endl;
22          cout << "Intestinal enterokokker is < 1/100 ml" << endl;
23          cout << "Totalt vand 22 grader < 1/100 ml" << endl;
24          cout << "Acrylamid is 0,05 ug/l" << endl;
25          cout << "Bensen is 0,03 ug/l" << endl;
26          cout << "Epichlorhydrin is 0,02 ug/l" << endl;
27      }
28  }

```

...-Interpreter>
Press (1) to scan pipe
Press (2) to exit program
1
Nitrit is 0,001 ug/l
Coliform bacteria at 37 degrees is < 1/100 ml
Escherichia coli is < 1/100 ml
Intestinal enterokokker is < 1/100 ml
Totalt vand 22 grader < 1/100 ml
Acrylamid is 0,05 ug/l

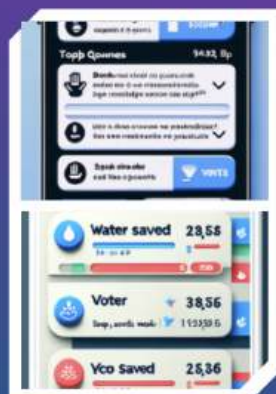
IDÉ 1 ELEKTRONISK SENSOR FOR DETEKTERING AF STOFFER I VANDET

- **Need**
Forbedre kontrollen af vandkvaliteten
- **Approach**
Hurtig stofdetektering
- **Benefit**
Tillid til sin vandkvalitet
- **Competition**
Hurtig respons



IDÉ 2 KALK-KNUSER

- **Need**
Mindske kemikalieforbrug i forbindelse med rengøring
- **Approach**
Vi vil gøre det nemt og billigt at mindske kemikalieforbruget
- **Benefit**
Økonomi og tid
- **Competition**
Økonomi og tid



IDÉ 3 PLATFORM TIL AT SPARE PÅ KEMI I VANDET

- **Need**
Mindre kemiforbrug
- **Approach**
Social fællesskab til at inspirere og søge information
- **Benefit**
Øget miljøbevidsthed og fællesskab
- **Competition**
Unikt samlingssted

Figur 8 - Pitch præsentationer

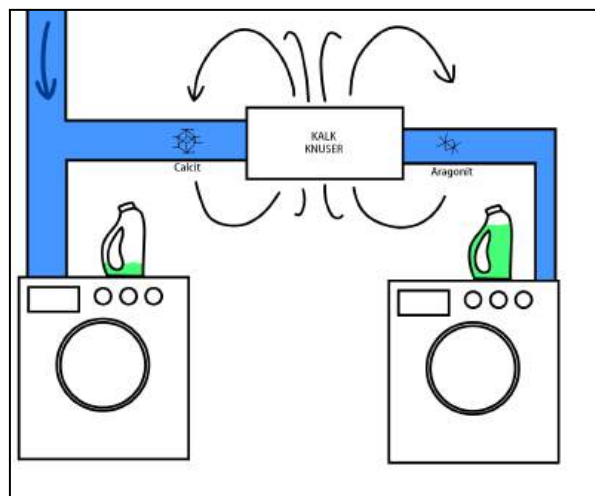
6 Overgang mellem Fase 1 og Fase 2

6.1 Preproject:

Vi var nu så langt i processen, at der skulle udarbejdes et preproject inden vi kunne komme i gang med udviklingen af prototyper.

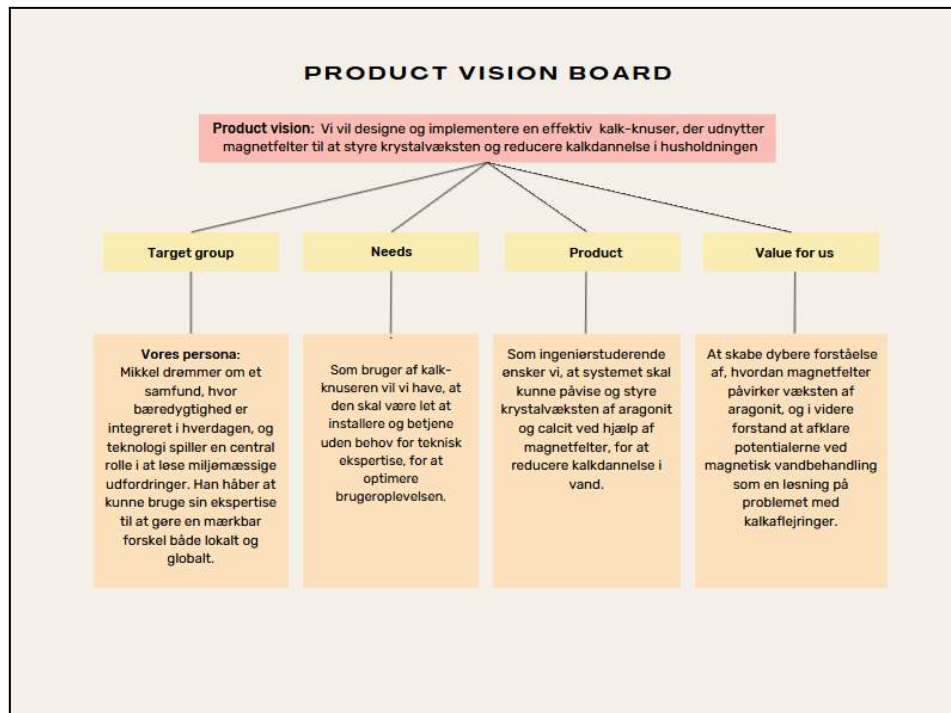
Vi skulle nu have defineret en klar problemformulering som vores prototyper skulle udarbejdes efter.

Vi skulle have defineret krav og tydelige mål. Dette gjorde vi blandt andet ved at visualisere vores tænkte produkt ved hjælp af et rich picture.



Figur 9 - Rich picture

Vi var samtidig så langt vi kunne udarbejde en produktvision med fokus på, hvilke behov vi skal opfylde for hvilken målgruppe og med hvilke midler vi skal løse det med.



Figur 10 - Product Vision Board

Vi definerede en lang række krav til vores produkt. Funktionelle, ikke-funktionelle og miljønæssige krav. Vi udarbejdede roadmap og en releaseplan for næste fase, som udgjorde grundlaget for at bruge Scrum-modellen som arbejdsredskab.

Preproject er vedlagt som bilag⁹

⁹ Preproject - se bilag

6.2 Scrum-metoden

I dette projekt har vi implementeret Scrum som vores centrale arbejdsmetode, hvilket har hjulpet os med at opretholde struktur og fremdrift under produktudviklingen. Vi har fra projektets start haft en klar og fast plan for anvendelsen af Scrum-metoden, hvilket har gjort det muligt for os at overholde deadlines og følge de fastsatte sprints nøje.

Sprint Planning

Hver sprint begyndte med en detaljeret sprint planning session, hvor vi fastlagde specifikke user stories for den kommende periode. Disse møder sikrede, at alle teammedlemmer havde klare mål og forstod deres ansvarsområder, hvilket optimerede arbejdsprocessen og minimerede forvirring.

Weekly Stand-up

Selvom vores team er geografisk spredt og opererer under forskellige personlige omstændigheder, har vi opretholdt en regelmæssig rytme af korte ugentlige stand-up møder. Disse møder har været afgørende for at holde teamet informeret om hinandens fremskridt og udfordringer, hvilket har fremmet et miljø af åbenhed og samarbejde.

Sprint Review

Ved afslutningen af hvert sprint har vi afholdt sprint review møder for at evaluere det arbejde, der er blevet udført, og diskutere eventuelle ændringer eller justeringer, der skal foretages i den næste sprint. Dette har styrket vores produkts kvalitet og sikret, at det fortsat møder brugernes behov og forventninger.

Refinement Meeting

Vi har også regelmæssigt afholdt refinement møder, hvor vi har haft mulighed for at afklare og prioritere user stories. Disse møder har hjulpet os med at vurdere og tilpasse vores projektplan, så vi altid arbejder på de mest værdiskabende opgaver.

Konklusion på SCRUM-anvendelse

Vores erfaringer med Scrum i dette projekt har været overvejende positive. Den agile tilgang har ikke kun styrket vores teams samarbejde og evne til at innovere, men har også været fleksibel nok til at tilpasse sig de unikke udfordringer, som et online, geografisk spredt team står overfor. Vi er overbeviste om, at vores vedholdenhed og strukturerede tilgang til Scrum har været en afgørende faktor i projektets succes.



Figur 11 - Jira-dashboard

6.3 Krav

6.3.1 Krav til hardware

For at modvirke calcit og fremme aragonit i vandet, skal spolen generere et tilstrækkeligt magnetfelt, hvilket kræver præcise viklinger, spoletype og længde. Designet skal sikre effektiv vikling omkring vandrøret. Strømkilden skal levere den nødvendige strøm og spænding, mens en frekvensgenerator skal kunne variere strømmen for optimale betingelser. Kontrollementer skal justere strømstyrke og spænding baseret på ydeevne, og sikkerhedsforanstaltninger skal beskytte mod overstrøm, kortslutning og fly-back strøm.

6.3.2 Krav til software

Softwaren skal have en brugervenlig grænseflade, der kan justeres til den enkeltes behov. Systemet skal behandle brugerinput som vandets hårdhed og pH-værdi for at beregne det nødvendige magnetfelt og understøtte trådløs kommunikation for fjernstyring. Energioptimering skal minimere omkostninger og maksimere komponenternes levetid.

6.4 Afgrænsninger

Systemet skal fungere under danske forhold med typiske variationer i vandets hårdhed og pH-værdi. Hardwarekomponenterne skal være økonomisk rentable og let tilgængelige. Designbeslutninger skal baseres på eksisterende forskning om magnetfeltets påvirkning på calcit og aragonit. Løsningen skal være skalerbar for husstande, men ikke beregnet til industrielle applikationer uden yderligere tilpasninger.

Fase 2

7 Indledning – virker det?

Man har i nogle år kunnet vise at det har haft en effekt, men at forklare hvad årsagen til resultaterne helt præcist er, har derimod været meget vanskeligt. Den teoretiske tilgang har i mange årtier gået på vandets egenskaber, hvor der har været teorier omkring at vandet skulle have haft en form for hukommelse. Denne teori er blevet forkastet¹⁰ mange gange, og er blevet set på som ufagligt videnskab. Derfor har et stort flertal i lange perioder også forkastet, at magnetisk vandbehandling overhovedet kan virke.

Det er først indenfor de senere år, at forskere er begyndt at undersøge magnetisk vandbehandling

¹⁰ <https://www.chem1.com/CQ/magscams.html>

igen, ud fra andre teorier. Fællesnævneren for de artikler vi har brugt til projektet, er at de alle sammen kigger på strukturen af calciumkarbonat.

Magnetisk vandbehandling har været undersøgt i mange årtier af det videnskabelige samfund, som en nem løsning på de problematiske kalkaflejringer. Bare i 2010 i USA blev det anslået til at koste 10 milliarder dollars om året.¹¹ Så det er også et økonomisk problem.

8 Analyse

Dette afsnit omhandler både de kemiske og tekniske aspekter af projektet. Vi starter med en gennemgang af de kemiske forklaringer på dannelsen af aragonit ved hjælp af magnetisk vandbehandling, efterfulgt af en detaljeret analyse af hardware- og softwarekomponenterne, herunder beregning og implementering af PWM-signalet til styring af magnetfeltet. Formålet er at opnå en dybere forståelse af, hvordan vi effektivt kan reducere kalkaflejringer i vandrør gennem en kombination af videnskabelige metoder og tekniske løsninger.

8.1 Kemiske forklaringer på dannelse af aragonit ved hypotetisk deduktiv (Kasper)

Videnskabelig¹²tilgang til magnetisk vandbehandling

Vi tager udgangspunkt i flere videnskabelige artikler, hvor vi dykker ned i hver deres forklaringer og forholder os til dem. Vi bruger de videnskabelige artikler på to måder.

1. Den ene er en empirisk induktiv tilgang, hvor vi samler data fra relevante observationer i artiklerne, som vi vil bruge til at lave vores produkt.
2. Den anden tilgang er en hypotetisk deduktiv metode, hvor vi studerer artiklernes forklaringer, som vi vil give et kort resumé af, samt se om vi kan finde en sammenhængende forklaring på, hvordan det virker på tværs af artiklerne.

Kalciumkarbonat¹³

Kalcium karbonat er et atypisk materiale, som kan have mange former og størrelser, det er relevant at vide, da det tilsyneladende er magnetfeltets påvirkning af kalcium og karbonat i en opløsning som kan forklare den magnetiske vandbehandling, men det kommer vi til senere. Der er tre forskellige krystalstrukturer af kalciumkarbonat, calcit, aragonit og vaterit. Vi forholder os til calcit og aragonit, som er centrale i fænomenet.

¹¹ "Experimental study on the scale inhibition effect of the alternating electromagnetic field on CaCO₃ fouling on the heat exchanger surface in different circulating cooling water conditions" af Jing Xu, Judong Zhao, Yun Jia.

¹² "Videnskabsteori for begyndere" 3. udgave, 1. oplag af Torsten Thurén

¹³ "Magnetic water treatment - how might it work?" af J.M.D. Coey

Calcit vs aragonit¹⁴

Calcit og aragonit er forskellige krystalstrukturer af calciumcarbonat (CaCO_3). Calcit har en trigonal krystalstruktur, ofte i form af rhomboedriske krystaller, hvilket gør den mere tilbøjelig til at binde sig fast til vandrør. Aragonit har en orthorombisk krystalstruktur, som ofte danner nålelignende krystaller. Vi kan allerede nu konkludere at calcit er det krystal som skaber problemet, og det vi gerne vil undgå.

Hvorfor dannes calcit?

Når calciumcarbonat er til stede i vandet, kan det udfældes og sætte sig i vandrørene. Den mest stabile krystalstruktur under normale temperatur- og trykforhold er calcit, som ofte dannes fra calciumhydrogencarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Så hvis der ikke er nogle udefrakommende påvirkninger af opløsningen, vil den mest stabile form være calcit, derfor dannes det.

Dokumenterede effekter af magnetisk vandbehandling

I en artikel beskrives et eksperiment med to vandvarmere. Den ene udsættes for MWT, mens den anden fungerer som kontrol. Vandet i MWT-enheden blev udsat for et magnetfelt i 0,1 sekunder og havde en gennemstrømningshastighed på ca. 5,31 l/min. Vandet blev opvarmet fra 16 til 70 grader Celsius, og magnetfeltet var mellem 0,6 og 0,8 Tesla. Forsøget varede tre uger.

I MWT-enheden var der en 70% reduktion af sedimenter sammenlignet med kontrolenheden.

Desuden var sedimenterne i MWT-enheden 2,5 gange mindre end dem i kontrolenheden.

Mange artikler har ligesom denne også dokumenterede resultater af magnetisk vandbehandling.

Mest sandsynlige forklaringer på magnetisk vandbehandling

Flere artikler peger på at forklaringen på magnetisk vandbehandling kan findes ved at kigge nærmere på hvordan calciumkarbonat bundfældes. Der dannes små klynger af calcium og karbonat i en opløsning uanset koncentrationen af det. Nogle artikler peger på, at Lorentzkraften¹⁵¹⁶ kan påvirke dem, så de er mere tilbøjelige til at vokse sig til aragonit. Andre mener at det er usandsynligt, og en mere kompliceret teori er blevet brugt i en anerkendt artikel, af J.M.D Coey¹⁷, hvor han bruger proton dimerisation som forklaring. Denne teori kan også forklare hvordan pH-værdien hænger sammen med magnetfeltets størrelse. pH-værdien er en signifikant faktor i vores regressions funktion, som bliver beregnet senere i rapporten.

Denne teori bliver der lavet en formel på, og dermed kan det magnetiske felt af den magnetiske vandbehandler udregnes, som ud fra artiklens parametre ender med 100 T/m.

¹⁴ "Influence of magnetic field on the aragonite precipitation" af L.C. Lipus, D. Dobersek

¹⁵ "Magnetic water treatment - how might it work?" af J.M.D. Coey

¹⁶ "Influence of magnetic field on the aragonite precipitation" af L.C. Lipus, D. Dobersek

¹⁷ "Magnetic water treatment - how might it work?" af J.M.D. Coey

8.2 Hardware (Mikkel)

8.2.1 Behovsanalyse

Formålet med hardware komponenterne i systemet er at det skal kunne skabe et præcist og justerbart magnetfelt, der kan fremme væksten af aragonit og dermed hæmme væksten af calcit i et vandrør. Systemet skal samtidig kunne understøtte en brugervenlig grænseflade og effektiv datahåndtering for at sikre en god brugeroplevelse og optimal funktionalitet. For dette skal opnås kræver det følgende:

For at opnå ovenstående er der herunder lavet en komponent analyse af valgte komponenter.

8.2.2 Komponentanalyse

Mikrokontrolleren

Vi har valgt at anvende en ESP32 til at generere vores justerbare PWM-signal til at styre strømmen, som løber til spolen. Her benytter mikrokontrolleren sin indbyggede funktionalitet til at opfylde flere kritiske roller.



Generering af PWM-signal: ESP32 mikrokontrolleren er programmeret til at generere et PWM signal. PWM er en teknik, hvor mikrokontrolleren varierer forholdet mellem signalernes "on" og "off" perioder for at styre mængden af energi, der sendes til basen på mosfetten og dermed kontrollere mængden af strøm, som tillades til spolen. PWM signalet står for strømstyring, så systemet effektivt administrerer energiforbruget, hvilket er vigtigt for at minimere omkostninger og maksimere levetiden for de anvendte komponenter.

Brugerinteraktion: ESP32 understøtter udviklingen af en brugerflade, hvor brugerne kan indtaste oplysninger såsom postnummer gennem en dedikeret applikation. Denne data bruges til at tilpasse spolens magnetfelt via algoritmen, der beregner det optimale magnetfelt baseret på geografisk område.

Kommunikation og datahåndtering: Med sine indbyggede Wi-Fi og Bluetooth funktioner fungerer ESP32 også som et kommunikationshjerte i systemet. Da den tillader den nødvendige input fra brugeren.

Mosfetten

Mosfet'en er kernen i kontrolmekanismen i systemet. Den fungerer som en switch, der tænder og slukker i overensstemmelse med PWM-signalet. Dette gør det muligt at justere effekten leveret til spolen, således at magnetfeltets intensitet kan kontrolleres, hvilket fungerer således.



Signalmodtagelse: MOSFET'en modtager et PWM-signal fra mikrokontrolleren. Dette signal fungerer som en gate-spænding, som åbner og lukker mosfet'ens kanal.

Strømstyring: Gate-spændingen aktiveres når den når en tærskelværdi på 1 Volt¹⁸, og dermed tillader mosfetten strøm at løbe fra drain til source. Styrken og varigheden af strømmen gennem mosfetten er proportional med PWM-signalets duty cycle, hvilket betyder, at ved at justere duty cycle kan ESP32 kontrollere, hvor meget strøm der flyder til spolen. Beregningen for at se, om vores system opfylder mosfettens tærskelværdi, kan laves ved en simpel spændingsdeling.

$$PWM \cdot \frac{R2}{R1+R2} = V_{gs}^{19}$$

Strømbegrænsning: Mosfetten virker også som en beskyttelse ved at begrænse strømmen baseret på dens maksimale kapacitet, hvilket forhindrer overbelastning af spolen og andre dele af kredsløbet. Dette gør sig dog ikke gældende for vores nuværende produkt, men er væsentlig hvis det skulle skaleres til at trække mere strøm.

Køleplade: En køleplade er en komponent, der bruges til at sprede varme og forhindre overophedning i elektroniske kredsløb. I vores nuværende system er en køleplade dog ikke nødvendig på mosfetten. Dette skyldes, at den strøm, der trækkes gennem mosfetten, er inden for dens termiske kapacitet, og den genererede varme er minimal. Dette kan beregnes således.

$$T_J = T_A + (P \cdot R_{JA}) = 33,1^\circ C^{20}$$

¹⁸ <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68872/IRF/IRLZ44N.html>

¹⁹ Med vejledning fra Kjeld Laursen - Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering - Electronics and Photonics, Aarhus university

²⁰ beregning på køleplade til mosfet.mcdx

Betydning af koefficienter:

T_J = Operating junction for mosfetten i systemet.

T_A = Omkringliggende temperatur.

R_{JA} = Junction-to-ambient termisk modstand.²¹

$P = I_{Dmaks}^2 \cdot R_{DSon}$ hvor I_{Dmaks} er den maksimale strøm i systemet og R_{DSon} er modstanden mellem drain og source på mosfetten i tændt tilstand.

Spolen

Spolen, som i dette tilfælde er en solenoide, er det aktive element, som ved induktion skaber et magnetfelt. Dette magnetfelt anvendes til at påvirke de kemiske forbindelser i vandet for at hæmme væksten af calcit. Sådan fungerer spolen i kredsløbet.

Metalrør frem for PVC: Metalrør er gode elektriske ledere, hvilket betyder, at metallet lettere kan blive magnetiseret, hvilket forstærker det genererede magnetfelt og dermed øger effektiviteten af den inducerede påvirkning af vandets kemiske forbindelser.

Kalciumkarbonat bliver mere magnetisk når det er i nærheden af jern i forhold til når det er i nærheden af plastik²².



Placering omkring vandrøret: Spolen er designet til at være viklet omkring vandrøret, hvilket sikrer, at det elektromagnetiske felt er koncentreret omkring vandrørets materialer. Dette optimerer feltets effekt på vandets strømning og de mineraler, som bærer kalken.

²¹ <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68872/IRF/IRLZ44N.html>

²² effects of magnetic field on calcium carbonate precipitation ionic and particle mechanisms

Forebyggelse af kalkdannelse: Det elektromagnetiske felt, der genereres af spolen, påvirker de ioner, der er ansvarlige for kalkdannelser i vandet. Feltet kan ændre den måde, hvorpå disse ioner krystalliserer og aflejrer sig, hvilket reducerer eller forhindrer dannelsen af hård kalk på indersiden af rørene. For at vurdere en passende størrelse af magnetfeltet har vi brugt resultaterne af tidligere forskning²³ på området som udgangspunkt og senere egne test til at justere magnetfeltet yderligere. Beregningen af magnetfeltets størrelse er lavet således.

$$\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot I = B_{indre} \quad 24$$

Betydning af koefficienter:

μ_0 = Er permeabiliteten af vakuum.

μ_r = Er permeabiliteten af galvaniseret jern.

n = Antal viklinger pr. cm.

I = Strømmen som løber til spolen, den er udregnet således.

$$\frac{V}{R_{spole} + Z_{mosfet}} = I$$

Ikke-invasiv metode: Da spolen kan vikles omkring eksisterende rør uden behov for direkte indgreb i rørsystemet, er det en ikke-invasiv løsning. Dette gør installationen relativt enkel og mindre forstyrrende i forhold til andre vandbehandlingsmetoder.

Resterende komponenter

Modstande: R1 på 1kΩ begrænser strømmen gennem mosfettens gate for at beskytte ESP32 mod høje strømme. R2 på 100kΩ sørger for at holde gate-spændingen lav og forhindre mosfetten i at tænde utilsigtet ved at lede gate-lækagestrømme til jord.

Diode parallel med spolen: Dioden beskytter mod induktiv spænding ved at give en sti for strømmen, når mosfetten slukkes. Når mosfetten er tændt, lagres energi i spolen som et magnetisk felt. Ved slukning fortsætter strømmen på grund af spolens induktans, hvilket kan generere en modsat spænding. Uden dioden kan denne spænding beskadige mosfetten og andre komponenter.

²³ Effect of the magnetic field on the growth rate of aragonite and the precipitation of CaCO₃

²⁴ Beregning af magnetfelt og induktans.mcdx

LED og Modstand: LED'en med dens tilhørende modstand på 330Ω tjener som en visuel indikator for, at PWM-signalet er aktivt. Dette giver en hurtig visuel bekræftelse på kredsløbets operationelle status.

Strømforsyning: Den eksterne DC strømforsyning på 5V forsyner mosfetten, og ESP32.

8.3 Software (Danni, Kasper)

I dette afsnit analyseres design- og udviklingsprocessen for softwaren i vores projekt, der styres af en ESP32 mikrocontroller og interagerer med brugere via Blynk-appen²⁵. Vi fokuserer på de overvejelser og beslutninger, der ligger til grund for softwareudviklingen, samt de anvendte teknologier og metoder.

8.3.1 Design Overvejelser og Begrundelser

Behovsanalyse

Udgangspunktet for software-designprocessen var en grundig behovsanalyse, hvor vi identificerede de vigtigste funktioner, som softwaren skulle understøtte. Vores hovedmål var at skabe en brugervenlig løsning, der effektivt kunne styre magnetfeltet for at reducere kalkdannelse i vandrør.

Valg af Teknologier

Blynk-appen blev valgt for dens brugervenlighed og evne til at give real-time overvågning og kontrol via en mobil enhed.

Softwarearkitektur

Softwaren er udviklet i Arduino IDE med C++ som programmeringssprog. Vi benyttede flere biblioteker, herunder:

- **Arduino-biblioteket:** Grundlæggende funktionalitet.
- **WiFi-biblioteket:** Håndtering af netværksforbindelser.
- **Blynk-biblioteket:** Muliggør fjernstyring og overvågning via en mobil app.

Strukturen i softwaren følger en klar arkitektur, hvor data om vandets hårdhed og pH-værdi, baseret på brugerens postnummer, gemmes og behandles i en lokal datastruktur. Denne tilgang sikrer, at systemet kan tilpasse behandlingsniveauet dynamisk efter lokale vandforhold.

²⁵ <https://docs.blynk.io/en>

Fejlhåndtering og Sikkerhed

Softwaren indeholder fejlhåndtering mekanismer for at sikre stabilitet og driftssikkerhed. Dette inkluderer kontrol af gyldigheden af hentede data og sikring af at PWM signalet ligger indenfor de korrekte værdier. Kommunikation mellem appen og mikrocontrolleren er krypteret for at beskytte mod uautoriseret adgang.

Brugerinteraktion og Optimering

Brugeren interagerer med systemet gennem Blynk-appen ved at indtaste deres postnummer. Softwaren opdaterer derefter det magnetiske felt baseret på de nye data. Gennem iterativ testning og optimering har vi finjusteret softwarens algoritmer for at sikre maksimal effektivitet i kalkreduktionen ved minimal energiforbrug.

8.3.2 Algoritme og Beregninger

For at justere det magnetiske felt korrekt, bruger softwaren en algoritme, der tager hensyn til flere variabler som vandets hårdhed og pH-værdi. Disse variabler indtastes via Blynk-appen og behandles af ESP32'en, som derefter beregner den nødvendige PWM duty cycle for at opnå det ønskede magnetfelt.

Multiple regression²⁶

Multiple regression blev brugt som værktøj til den empiriske induktive metode for at opnå en matematisk funktion for magnetfeltet. Multiple regression er en statistisk metode, hvor en afhængig variabel forudsiges ud fra flere uafhængige variabler. Den endelige formel har følgende form:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n$$

- β_0 er en konstant
- X_1, X_2, \dots, X_n repræsenterer hældningen af hver parameter, som indikerer påvirkningen af hver parameter på den afhængige variabel.
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ er de målte værdier af de givne parametre, som ganges med deres respektive hældningskoefficienter.

For eksempel, hvis pH-værdien (Beta7) måles til 8,5, og hældningskoefficienten for pH-værdien i vores regression er 0,0246, vil pH-værdien øge den afhængige variabel med 0,2091.

$$0,0246 \cdot 8,5 = 0,2091$$

Denne metode gentages for hver af de udvalgte parametre.

²⁶ <https://www.exceldemy.com/how-to-do-multiple-regression-analysis-in-excel/>

Første Udgave af Multiple Regression

Den første udgave af multiple regression blev udviklet ved at tage udgangspunkt i data fra en videnskabelig rapport²⁷. Dataene inkluderede variabler som vandets pH-værdi, temperatur og magnetfeltstyrke. Nogle data blev aflæst ud fra grafer, mens andre blev direkte overført fra artiklen.

Excel blev brugt til at udføre regressionen og generere statistikker som multiple R, der viser nøjagtigheden af modellen. Den første regression havde en multiple R på 0,44, hvilket indikerer, at modellen er 44% nøjagtig. Vi konkluderede, at flere observationer fra andre forskningsartikler kunne øge nøjagtigheden af regressionen.

Koefficienter og Nøjagtighed

Koefficienterne for hver parameter blev beregnet, hvor hver koefficient repræsenterer påvirkningen af den pågældende parameter på den afhængige variabel, magnetfeltet. Nogle parametre havde en koefficient på 0, fordi deres værdier blev holdt konstante (f.eks. ionstyrke og temperatur).

	<i>Koefficienter</i>
Skæring	-0,078893127
Growthrate, G(10 ⁻¹⁰ m/s): y(x)	0,044831276
Overmætning: sigma	-0,013351682
ion-styrke, I	0
Aktivitetsratio, R	-0,008639668
Temperatur, K	0
pH-value	0,024604026
Time, h	0,00169311

Excel genererede også regressions-statistikker, der viste, at modellen havde en nøjagtighed på 44%. Dette niveau af nøjagtighed blev betragtet som utilstrækkeligt. Under et møde med Jørgen Houe diskuterede vi mulige årsager til den lave nøjagtighed. En sandsynlig årsag var, at magnetfeltet i de fleste målinger var konstant ved 0,18T, hvilket begrænsede modellens evne til at forudsige variationer. En løsning kunne være at finde artikler med data, hvor magnetfeltet varierede mere.

<i>Regressionsstatistik</i>	
Multipel R	0,439174822
R-kvadreret	0,192874524
Justeret R-kvadreret	0,034042225
Standardfejl	0,038680433
Observationer	44

En anden faktor var, at koefficienten for tid var lav, hvilket ikke stemte overens med vores forventninger baseret på deduktiv logik. Data viste, at længere eksponeringstid for magnetfeltet øgede aragonit dannelsen markant, hvilket også blev bekræftet af vores test, hvor længere eksponering resulterede i mere aragonit.

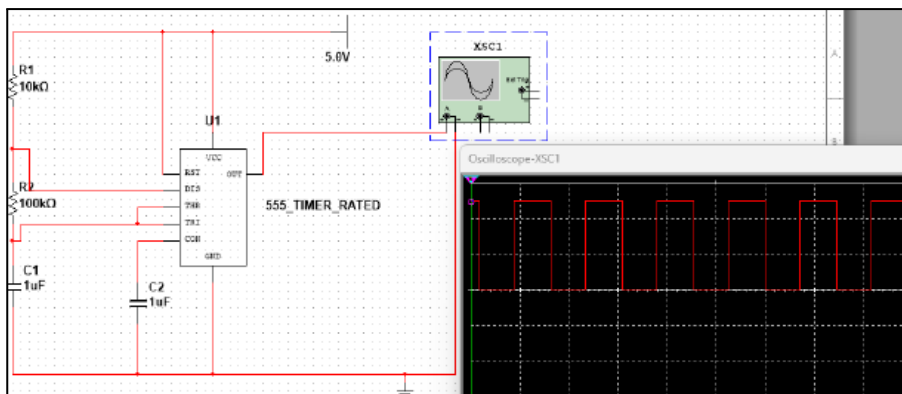
²⁷ Effect of the magnetic field on the growth rate of aragonite and the precipitation of CaCO₃

9 Arkitektur og design

9.1 Hardware (Mikkel, Martin)

Overvejelser til kredsløbet

I den indledende fase af projektets anden del blev der konstrueret et kredsløb baseret på en astabil multivibrator til at generere den ønskede frekvens for det elektromagnetiske felt. Det blev imidlertid hurtigt klart, at et sådan kredsløb manglede de nødvendige funktioner for at øge produktets agilitet og brugervenlighed. Derfor blev der identificeret et behov for at udvikle et mere avanceret system, som kunne tillade brugeren selv at justere magnetfeltet baseret på specifikke parametre for at opnå optimal effektivitet, ved minimum strømforbrug. Denne tilpasning ville gøre det muligt for brugerne at justere systemet efter lokale vandforhold, hvilket ville forbedre både brugertilfredsheden og systemets overordnede effektivitet.

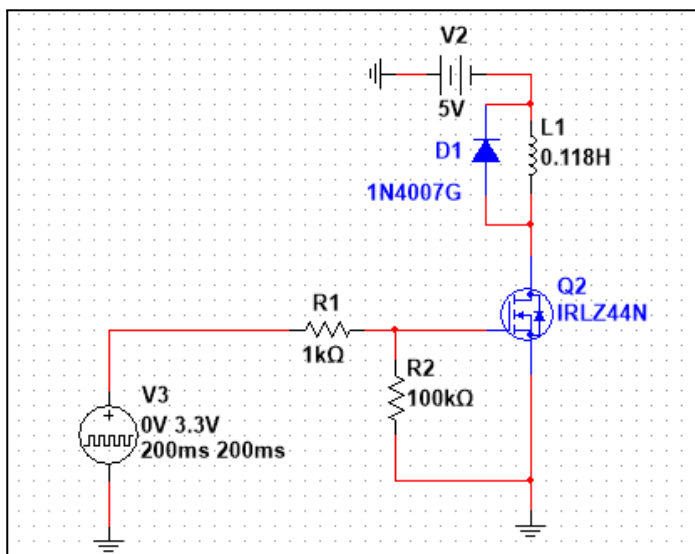


Figur 12 - Frekvensgenerator kredsløb

Det endelige kredsløb

Vi valgte at implementere en mikrocontroller til at generere et justerbart pulsbredde moduleret (PWM) signal til styring af strømmen i spolen. Denne tilgang tillod præcis kontrol med strømstyrken ved at sende PWM signalet gennem et lavpasfilter og til spolen. Ved et simpelt knaptryk kunne vi ændre duty cycle, hvilket signifikant forbedrede systemets kontrol og tilpasningsmuligheder. For yderligere at forstærke brugervenligheden af vores system, udviklede vi en dedikeret applikation, der kunne interagere direkte med mikrocontrolleren. I denne applikation indtaster brugeren ved hjælp af en slider sit postnummer, og baseret på en foruddefineret algoritme, beregner systemet det optimale magnetfelt for spolen. Denne metodik muliggør en lokalt tilpasset tilgang, der sikrer, at systemets effektivitet er optimeret til de specifikke vandforhold, der er karakteristiske for brugerens geografiske område. Systemet er koblet til en ekstern strømforsyning og styres via en mosfet, der

anvender PWM signalet fra mikrocontrolleren til at regulere mængden af strøm, der leveres til spolen. Denne metode tillader præcis og effektiv styring af magnetfeltets styrke og er afgørende for systemets evne til at tilpasse sig varierende betingelser på en brugervenlig og omkostningseffektiv måde.



Figur 13 - Endelige kredsløb

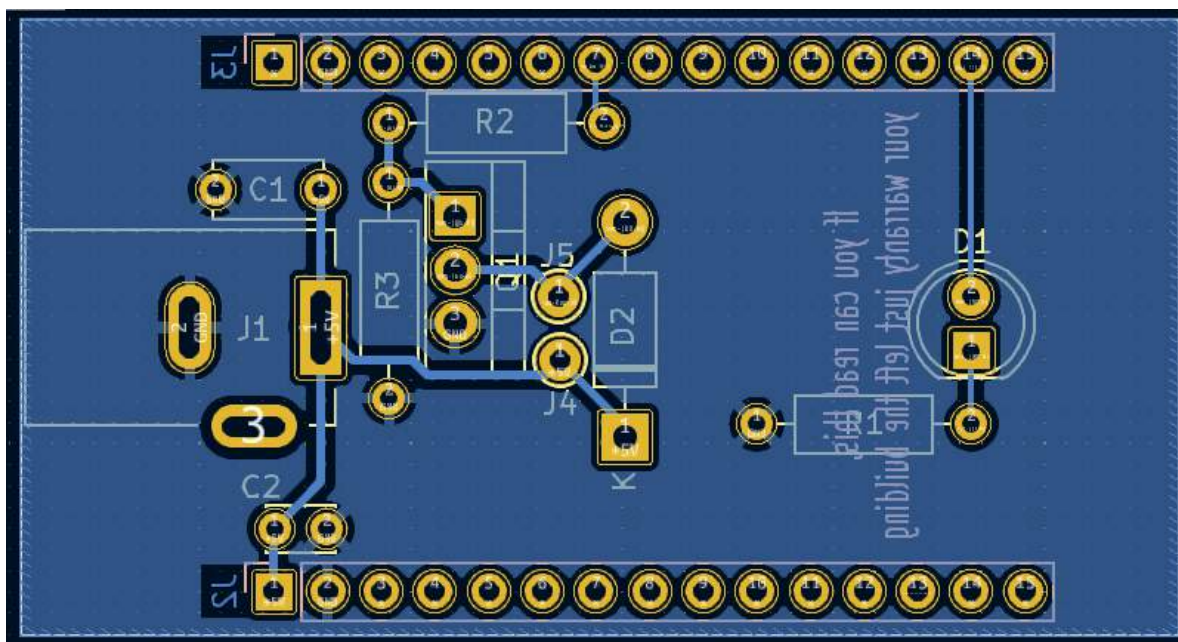
9.1.1 Udvikling af printplade (PCB) (Danni, Mikkel)

I løbet af udviklingsfasen af vores PCB har vi overvejet flere aspekter for at sikre, at designet både møder alle vores specifikationer og forbliver omkostningseffektivt og kompakt. Vores designmål inkluderede:

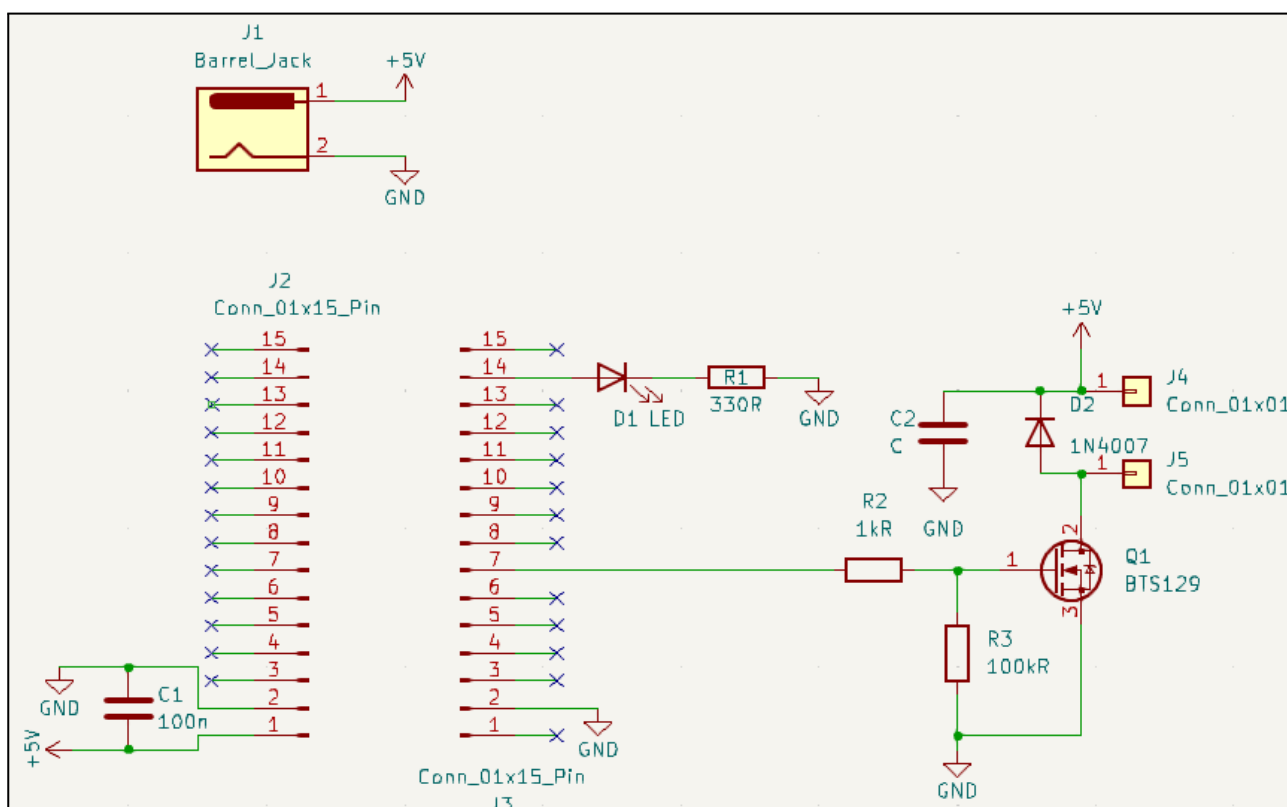
- Minimal størrelse for at optimere pladsforbruget
- Reduktion af omkostningerne uden at gå på kompromis med kvaliteten
- Adgang til USB-C stik til opdatering af ESP-modulet
- Sikring af elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) for at minimere interferens

Vi har været igennem flere designs og efter den indledende prototype har vi videreudviklet designet for at forbedre EMC og lavet et nyt PCB, som repræsenterer vores endelige produkt. En dybdegående gennemgang af vores overvejelser og de trufne valg for at optimere EMC findes i afsnit 9.3, "EMC".

Vi har valgt at placere al hardware i en separat enhed, med undtagelse af spolen, som er designet til at vikles direkte omkring et jernrør, som sættes rundt om vandrøret.



Figur 14 -Endeligt PCB-design efter EMC forbedringer



Figur 15 Komponent diagram

9.2 Software (Danni, Kasper)

I dette afsnit vil vi undersøge den detaljerede funktionalitet af vores software, herunder hvordan det håndterer brugerinteraktion via Blynk-appen og styrer enhedens adfærd i overensstemmelse hermed. Vi vil også se nærmere på det softwarebaserede diagram, der viser programmets struktur og driftsmønstre.

1. Brugerinteraktion via Blynk-appen

Brugeren interagerer med vores system gennem Blynk-appen ved at indtaste deres postnummer. Dette er den eneste form for input, som brugeren skal give.

2. Opsætning af systemet ved opstart:

Når systemet startes, initialiseres hardware-interfacet og etablerer forbindelsen til Blynk i `'setup()'`-delen af koden. Dette sikrer, at systemet er klar til at modtage og behandle brugerinput.

3. Kommunikation med Blynk-appen i hovedløkken:

I hovedløkken `'loop()'` lytter systemet konstant efter ændringer fra bruger-inputtet, som overføres fra Blynk-appen. Dette sker via den callback-funktion, der er tildelt Blynk-widgetten's digitale pin V3 `'BLYNK_WRITE(V3)'`.

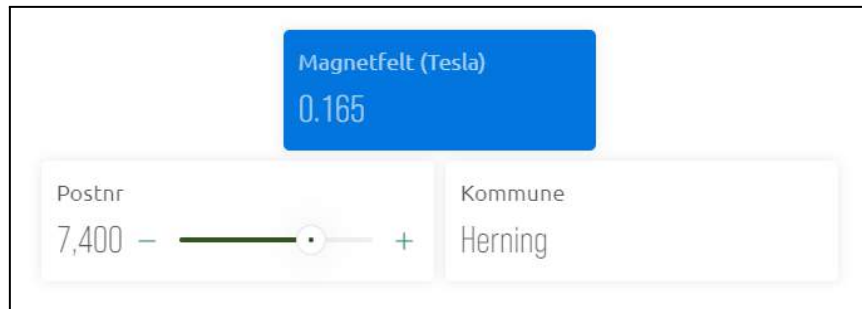
4. Opdatering af det valgte postnummer og justering af det magnetiske felt:

- Når der registreres ændringer i bruger-inputtet (postnummeret), opdateres den tilsvarende variabel i koden, og funktionen `'updateMagneticField()'` kaldes.
- `'updateMagneticField()'` er ansvarlig for at beregne det magnetiske felt baseret på det nye postnummer. Denne beregning tager hensyn til forskellige faktorer, herunder vandets hårdhed og pH-niveau.

5. Konvertering af det magnetiske felt til en PWM duty cycle:

Efter beregning af det magnetiske felt oversættes dette til en strømværdi, som derefter konverteres til en PWM duty cycle. Denne duty-cycle styrer enheden effektivt og sikrer, at den opererer inden for de fastsatte grænser for duty-cyclen.

Ved at følge denne proces sikrer vores system, at det magnetiske felt justeres korrekt i overensstemmelse med brugerens indtastede postnummer, hvilket fører til en optimal ydeevne og behandling af vandet.

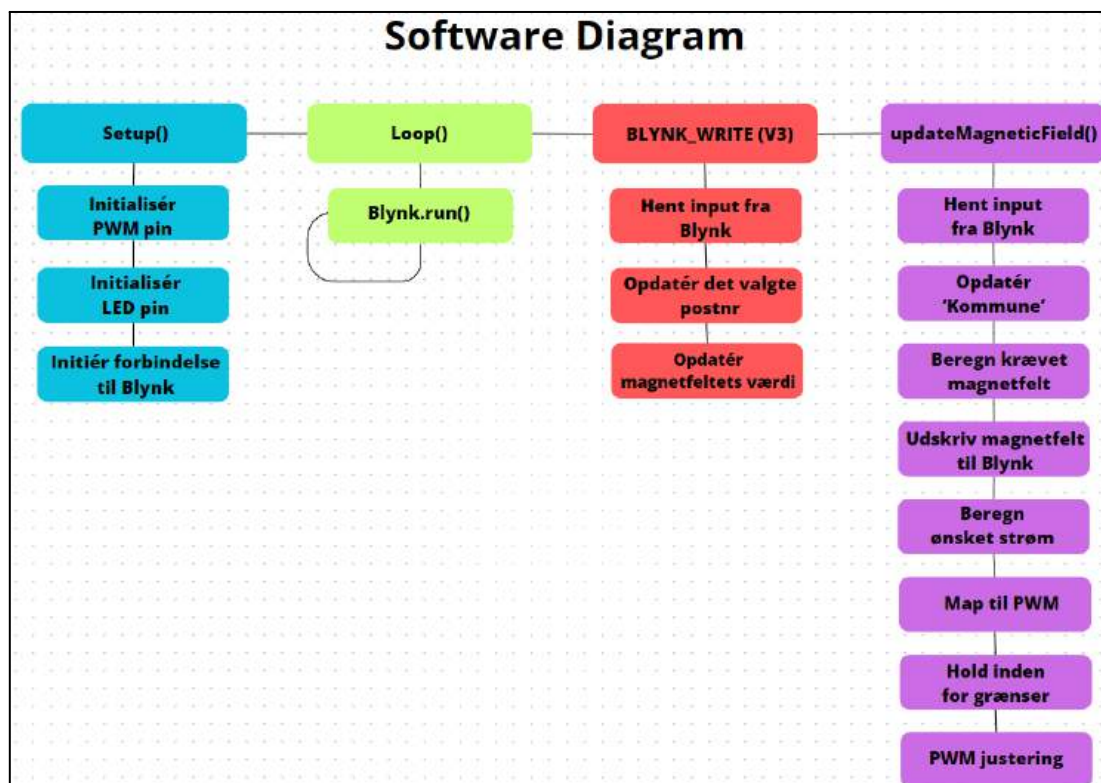


Figur 16 - Billede af appen

Brugerinput leveres via Blynk-appen, hvor brugeren kun indtaster deres postnummer. Appen håndterer derefter resten af processen. Grundet begrænsningerne i den gratis version af appen er brugerinput via tal-indtastning ikke tilgængelig, hvilket er grunden til, at vi har implementeret en slider i stedet. Ved en videreførelse af projektet vil vi naturligvis vælge brugerinput med direkte indtastning af tal. Dette vil give en mere præcis og brugervenlig oplevelse for brugerne

Demonstration af appen:

<https://youtube.com/shorts/qBxqwmrK8iM?si=7ztF7Ct5iTu1fxKW>



Figur 17 - Software diagram over app

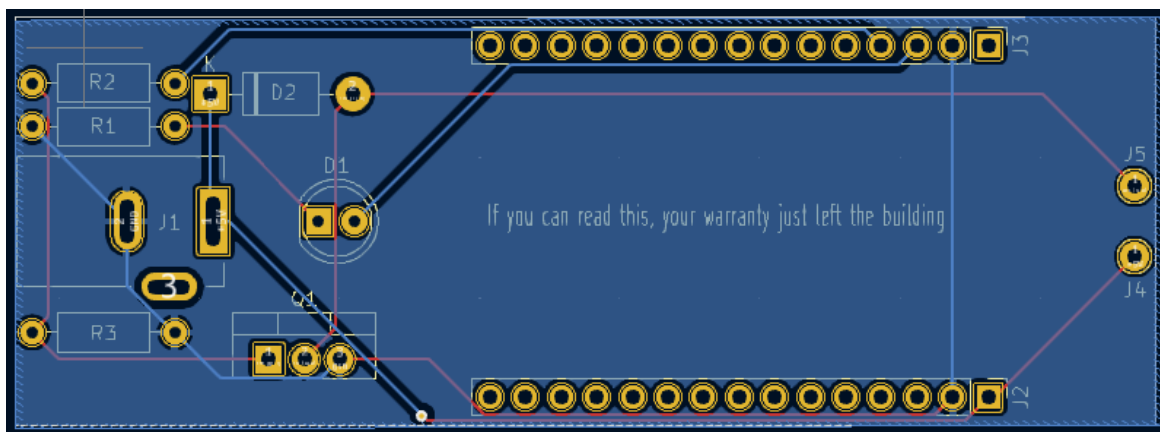
Diagrammet i Figur 17 viser programmets opsætning og drift. Ved opstart initialiseres hardware-interface og Blynk-forbindelsen i 'setup()'. I den kontinuerlige 'loop()' sker

kommunikationen med Blynk-appen. Bruger-inputtet hentes fra Blynk-appen ved **'BLYNK_WRITE(V3)'**, som opdaterer det valgte postnummer og kalder **'updateMagneticField()'** for at justere det magnetiske felt.

'updateMagneticField()' tager sig af beregningen af det magnetiske felt fra det nye postnummer, konverterer dette til en strøm, og oversætter strømmen til en PWM duty cycle, der styrer enheden. Hele processen sikrer, at enheden opererer inden for de fastsatte grænser af duty-cyclen.

9.3 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) (Danni, Lucie og Mikkel)

Efter at have udviklet vores første prototype gennemgik vi et EMC-review med Per Lysgaard, viceinstituttleder for uddannelse, lektor og underviser i EMC. Under denne session modtog vi værdifuld feedback, der har spillet en afgørende rolle i vores endelige produkt. Nedenfor er det første udkast af prototypen præsenteret.



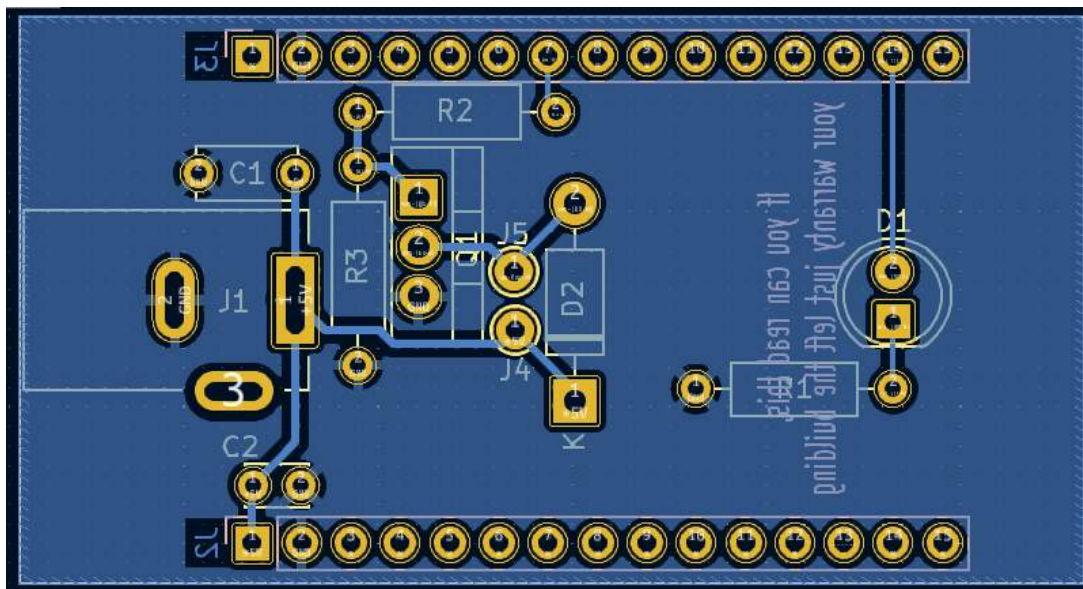
Figur 18 første udkast til PCB-design før EMC forbedringer

Efter vores EMC-review har vi lavet disse EMC-forbedringer:

- Flyt spolens udgang nærmere mosfetten.
- Tilføj en 100 nF kondensator til ESP-modulet.
- Reservér plads til en elektrolytkondensator ved strømindgangen.
- Brug snoede ledninger til spolen for at reducere magnetfeltet mellem ledningerne.
- Øg sporlængderne for strømførende spor.
- Afskærmning af spolen er unødvendig, givet den lave frekvens og de små strømstyrker involveret.

Når vi flytter spolens udgang tættere på mosfetten, er det med til at mindske unødvendig støj. Tilføjelsen af en lille kondensator til ESP-modulet hjælper med at holde strømmen stabil og fri for pludselige spring. Vi har også sat muligheden for at tilføje en større kondensator ved strømindgangen, der virker som en buffer og absorberer eventuelle strømspidser, hvilket giver en

mere jævn strømforsyning. Ved at sno ledningerne til spolen undgår vi desuden, at de forstyrrer hinanden magnetisk. Og sidst, men ikke mindst, har vi gjort strømsporene på vores printkort bredere, hvilket sikrer en mere pålidelig strømførsel. Det endelige design kan ses nedenunder:



Figur 19 Endeligt design med EMC-forbedringer

Faraday cage - Lucie

En anden overvejelse der blev lavet var hvorvidt vi kunne beskytte vores produkt med et Faraday cage for at beskytte mod støj udefra, og også det skabte magnetfelt i vores spole.

Problematikken er sådan at vi skal kunne tillade Wi-Fi igennem for at benytte os af Blynk protokollen, vores mikrocontroller bruger 2.4GHz, og for lukke det igennem, kræver det huller med radius på størrelse med bølgelængden; for 2.4GHz er det huller med en diameter på 6 cm, hvilket stadig ville tillade den at slippe ud, men proportionelt afgrænse lavere frekvenser end det.²⁸

Hullets størrelse er beregnet ud fra $\lambda/2$ hvor λ er $\frac{c}{f}$.

Vores færdige kasse har et overfladeareal på 185cm², med huller der har et overfladeareal på ~28.3 cm², kan vi have ~6-7 huller, herfra har vi så lavet nogle overvejelser, og vurderet at besværet for forbrugeren, os, og usikkerheden på effektiviteten, da der altid ville slippe noget igennem, har vi valgt ikke at benytte os af dette.

²⁸ <https://www.gamry.com/application-notes/instrumentation/faraday-cage>

10 Implementering

I dette afsnit beskriver vi implementeringen af softwaren, der styrer vores produkt. Softwaren er udviklet i Arduino IDE med C++ og anvender flere biblioteker, herunder standard Arduino-biblioteket, WiFi-biblioteket og Blynk-biblioteket. Den centrale komponent i vores system er en ESP32 mikrocontroller, som styrer enheden og interagerer med brugere via Blynk-appen.

10.1 Implementering af regressions funktion i programmering (Kasper)

Vi valgte med vejledning fra Jørgen at bruge den empiriske induktive metode til at udvikle en brugbar funktion for magnetfeltet. Begrundelsen for at bruge denne metode var, at den er mere overskuelig inden for det tidsrum, vi har til rådighed.

- **Variabel (Hårdhed / 10) - Overmætning (OM)**

Data omkring overmætning var svært at finde direkte, men vi kunne få adgang til data omkring hårdheden af vandet. Vi vurderer, at disse minder meget om hinanden, da hårdheden er indholdet af kalk i vandet. Vi bruger derfor hårdheden som erstatning for overmætningen, med en skaleringsfaktor på 1/10-del på hårdheden.

- **Konstant - Aktivitetsratio (AR)** har vi valgt at holde konstant i programmet da det er svært at finde data om det, og den har mindre betydning for påvirkningen af væksten af Aragonit.
- **Konstant - Tiden (Time)** bestemmer vi selv i programmet ud fra en vurdering af hvor lang tid vandet er i kontakt med magnetfeltet når man tænder for vandet.
- **Konstant - Ionstyrke (ION)** holdes også konstant i programmet.
- **Lineær funktion til hårdheden - Growthrate (GR)** vælger vi at justere i vores program, ud fra hvor hårdt vandet er i området. Fordi hårdere vand har mere kalkindhold, derved vil vi gerne have en større vækstrate (growthrate) af aragonit. Eksempelvis vil et område med lav hårdhed af vandet ikke kræve lige så stor vækstrate, og dermed kan man spare på strømmen.
- **Konstant - Temperatur (Temp)** er der ikke tilstrækkeligt med data på i forskningsartiklerne, fordi den bliver holdt konstant i alle de forsøg vi bruger, derfor har den ikke nogen betydning i regressionsanalysen.
- **Variabel - pH-værdi (pH)** kan vi finde data omkring fra forskellige kommuner, som hentes ind i programmet. Vi vælger nogle udvalgte kommuner til vores prototype, for at nå i mål med opgaven.
- **Regressions formel som algoritmen:**

Magnetic field udregning:

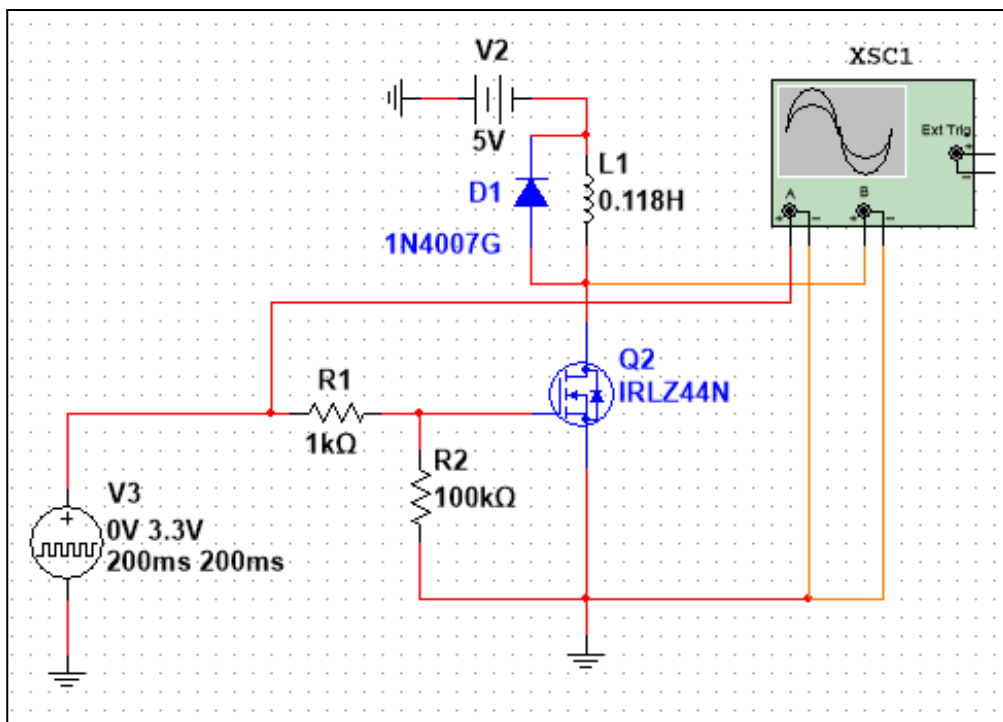
$$GR \cdot 0.44 + OM \cdot (-0.0133) + ION \cdot 0 + AR \cdot (-0.0086) + Temp \cdot 0 + pH \cdot 0.0246 + Time \cdot 0.00169$$

10.2 Beregning og implementering af PWM signal (Kasper)

For at kunne styre PWM-signalet baseret på det ønskede magnetfelt, der skabes af strømmen gennem spolen, analyserede vi sammenhængen mellem PWM-signalet og spolestrømmen²⁹.

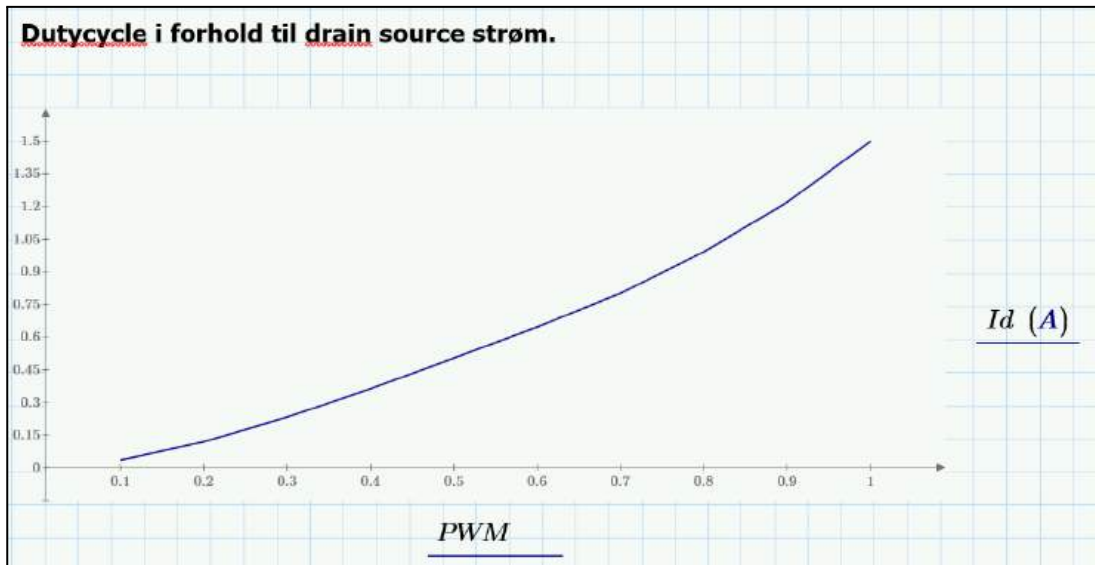
Simulering

Vi simulerede også det virkelige kredsløb med de beregnede værdier af spolen. Grafen viste en eksponentiel sammenhæng mellem spolestrømmen og PWM-duty cycle.



Figur 20 - Simulering af kredsløb med spolen

²⁹ Med vejledning fra Jaamac Hassan Hire - Adjunkt (Ing. m.fl.), Institut for Elektro- og Computerteknologi - Electronics and Photonics, Aarhus university

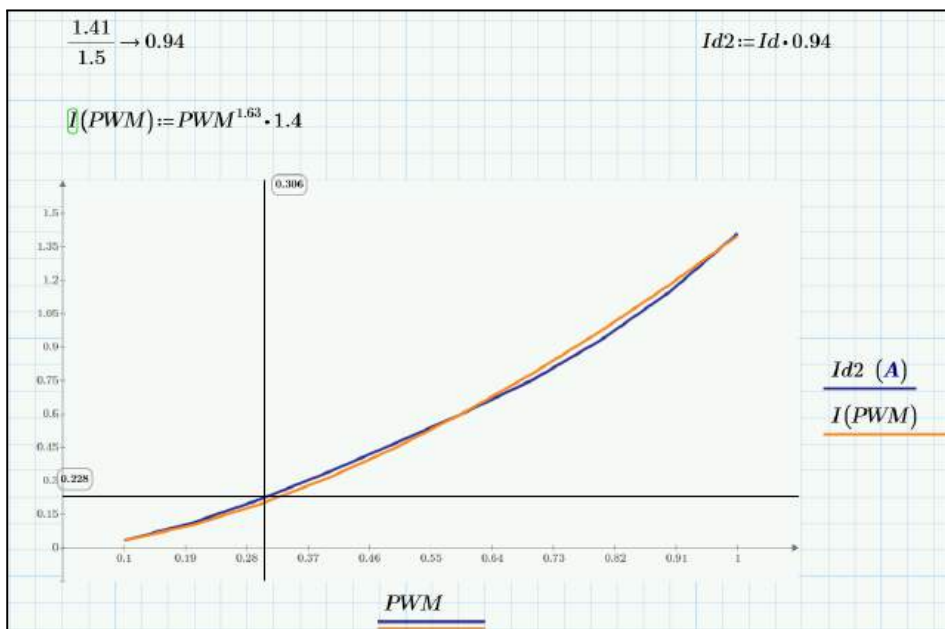


Figur 21 - Plot af spole strøm i forhold til duty cycle

Den eksponentielle sammenhæng skyldes Lenz' lov, hvor spolen modvirker ændringer i strømmen, stærkest i starten af pulsen.

Funktionsforskrift

Vi udviklede en eksponentiel funktionsforskrift baseret på målingerne og justerede den for præcision.



Figur 22 - Funktionsforskrift (orange) plottet sammen med den målte graf (blå).

Skalering

Grafen blev skaleret for at matche virkeligheden ved at måle den maksimale strøm gennem spolen og dividere den med den simulerede strøm.

10.3 Initialisering og Opsætning - Danni

Ved systemets opstart initialiseres alle nødvendige komponenter og forbindelser. Dette inkluderer opsætning af hardware og etablering af en WiFi-forbindelse til Blynk-appen. Koden i 'setup()'funktionen udfører disse opgaver og sikrer, at systemet er klar til at modtage og behandle brugerinput.

```
96 // Initialiserer systemet
97 void setup() {
98     Serial.begin(115200);           // Starter seriel kommunikation
99     Blynk.begin(auth, ssid, pass);  // Forbinder til Blynk med autentificering og WiFi
100     ledcSetup(pwmChannel, freq, resolution); // Sætter PWM-kanalen op
101     ledcAttachPin(pwmPin, pwmChannel); // Tilknytter PWM-kanalen til en pin
102     ledcWrite(pwmChannel, 51);      // Starter med en PWM duty cycle på 20% default
103     pinMode(ledPin, OUTPUT);        // Sætter ledPin som output
104     digitalWrite(ledPin, HIGH);     // Tænder for LED'en
105 }
```

Figur 23 - Software snippet 'setup()'

10.3.1 Hovedløkken

I hovedløkken, 'loop()', kører Blynk-funktionaliteten konstant for at sikre, at systemet lytter efter og reagerer på brugerinput i realtid.

```
107 // Hovedløkke der kører gentagne gange
108 void loop() {
109     Blynk.run(); // Kører Blynk-funktionaliteten
110 }
```

Figur 24 - Software snippet 'loop()'

10.3.2 Håndtering af Brugerinput

Når brugeren indtaster deres postnummer i Blynk-appen, opdateres systemets variabler via en callback-funktion. Denne funktion beregner også det nødvendige magnetiske felt baseret på vandets hårdhed og pH-værdi.

```
90 // Funktion til at håndtere skrivninger fra Blynk appen til V3
91 BLYNK_WRITE(V3) {
92     selectedPostNr = param.asInt(); // Opdaterer postnummeret med værdi fra Blynk
93     updateMagneticField();          // Opdaterer det magnetiske felt
94 }
```

Figur 25 - Software snippet (Håndtering af brugerinput)

10.3.3 Beregning og Justering af Magnetfelt

Funktionen 'updateMagneticField()' beregner det nødvendige magnetfelt og konverterer dette til en PWM duty cycle, som styrer spolen. Dette sikrer, at det magnetiske felt justeres korrekt for at optimere kalkreduktionen.

```
59 // Opdaterer det magnetiske felt baseret på valgt postnummer
60 void updateMagneticField() {
61     PostData* data = findPostData(selectedPostNr);
62     if (data != nullptr) {
63         float OM = 1.145681818;
64         float GR = data->hardhed > 1 ? 0.1 : 0.05; // Justerer GR baseret på vandets hårdhed
65         float pH = data->pH; // Gemmer pH-værdien fra data
66
67         Blynk.virtualWrite(V6, data->kommune); // Sender kommunenavn til Blynk
68
69         // Beregner det magnetiske felt
70         magneticField = GR * 0.044 + OM * -0.0133 + pH * 0.0246;
71
72         // Sender det magnetiske felt til Blynk
73         Blynk.virtualWrite(V5, magneticField);
74
75         // Beregner den ønskede strømstyrke og konverterer til PWM duty cycle
76         float desiredCurrent = magneticField / (mu_0 * mu_r * n / 10); // Omregner B til I
77         float dutyCycle = calculatePWMFromCurrent(desiredCurrent);
78         ledcWrite(pwmChannel, (int)dutyCycle); // Skriver dutyCycle til PWM-pin
79     }
80 }
```

Figur 26 - Software snippet (Beregning og justering af magnetfelt)

10.3.4 Konvertering af strøm til PWM (Danni)

Funktionen 'calculatePWMFromCurrent()' konverterer strømværdien til en tilsvarende PWM duty cycle værdi, hvor relationen er eksponentiel som beskrevet i koden.

```
82 // Konverterer strømværdien 'current' til en tilsvarende PWM duty cycle værdi,
83 // hvor relationen er eksponentiel som beskrevet (pwm^1.6 * 1.4)
84 float calculatePWMFromCurrent(float current) {
85     if (current <= 0) return 0; // Sikrer, at vi ikke tager roden af et negativt tal
86     float pwmValue = pow(current / 1.4, 1 / 1.6); // Omvendt af pwm^1.6 * 1.4
87     return constrain(pwmValue, 0, 255); // Sikrer at PWM-værdien er inden for gyldigt område
88 }
```

Figur 27 - Software snippet (Konvertering af strøm til PWM)

11 Test

11.1 Funktionelle Tests

De funktionelle tests fokuserede på at verificere, at softwaren korrekt udfører de opgaver, den er designet til. De vigtigste testscenarier omfattede:

1. Initialisering og Opsætning

- **Formål:** Sikre, at systemet korrekt initialiserer hardware og etablerer forbindelser ved opstart.
- **Test:** Kontrollere, at seriel kommunikation starter korrekt, WiFi-forbindelsen etableres, og Blynk-forbindelsen oprettes uden fejl.

2. Håndtering af Brugerinput

- **Formål:** Bekræfte, at softwaren korrekt modtager og behandler brugerinput via Blynk-appen.
- **Test:** Indtaste forskellige postnumre i Blynk-appen og sikre, at softwaren opdaterer det magnetiske felt baseret på de modtagne data.

3. Beregning og Justering af Magnetfelt

- **Formål:** Verificere, at softwaren korrekt beregner og justerer det magnetiske felt baseret på vandets hårdhed og pH-værdi.
- **Test:** Udføre beregninger med kendte værdier for vandets hårdhed og pH, og sikre, at de beregnede magnetfelt-værdier er korrekte.

4. Konvertering af Strøm til PWM

- **Formål:** Bekræfte, at softwaren konverterer strømværdier til PWM duty cycle værdier korrekt.
- **Test:** Udføre tests med kendte strømværdier og verificere, at de resulterende PWM duty cycle værdier er korrekte.

11.2 Ikke-funktionelle Tests

De ikke-funktionelle tests fokuserede på systemets ydeevne, stabilitet og brugervenlighed. Disse tests omfatter:

1. Stabilitet og Robusthed

- **Formål:** Sikre, at systemet fungerer stabilt over længere perioder uden fejl.
- **Test:** Køre systemet kontinuerligt over flere dage og observere eventuelle fejl eller ustabiliteter.

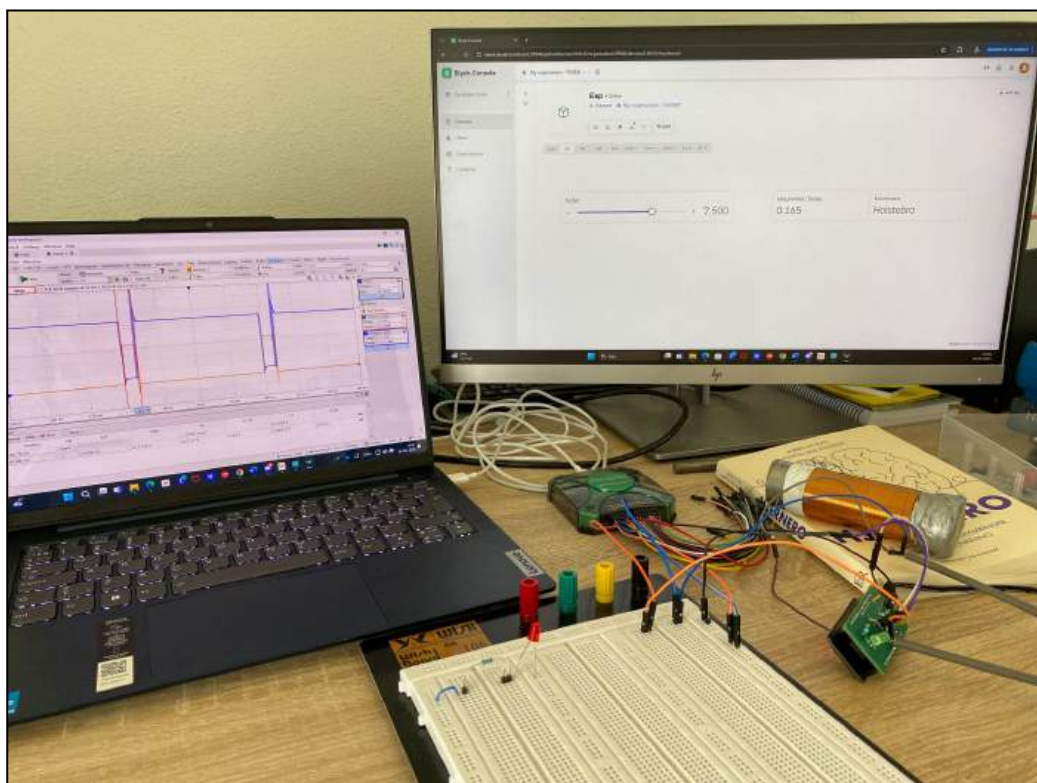
2. Ydeevne

- **Formål:** Verificere, at systemet reagerer hurtigt og effektivt på brugerinput og opdaterer det magnetiske felt uden forsinkelser.
- **Test:** Måle responstiden fra brugerinput til opdatering af det magnetiske felt.

3. Brugervenlighed

- **Formål:** Sikre, at brugergrænsefladen er intuitiv og nem at bruge.
- **Test:** Gennemføre brugertests med flere forskellige brugere og indsamle feedback om brugeroplevelsen.

11.3 Integrationstest - Kasper

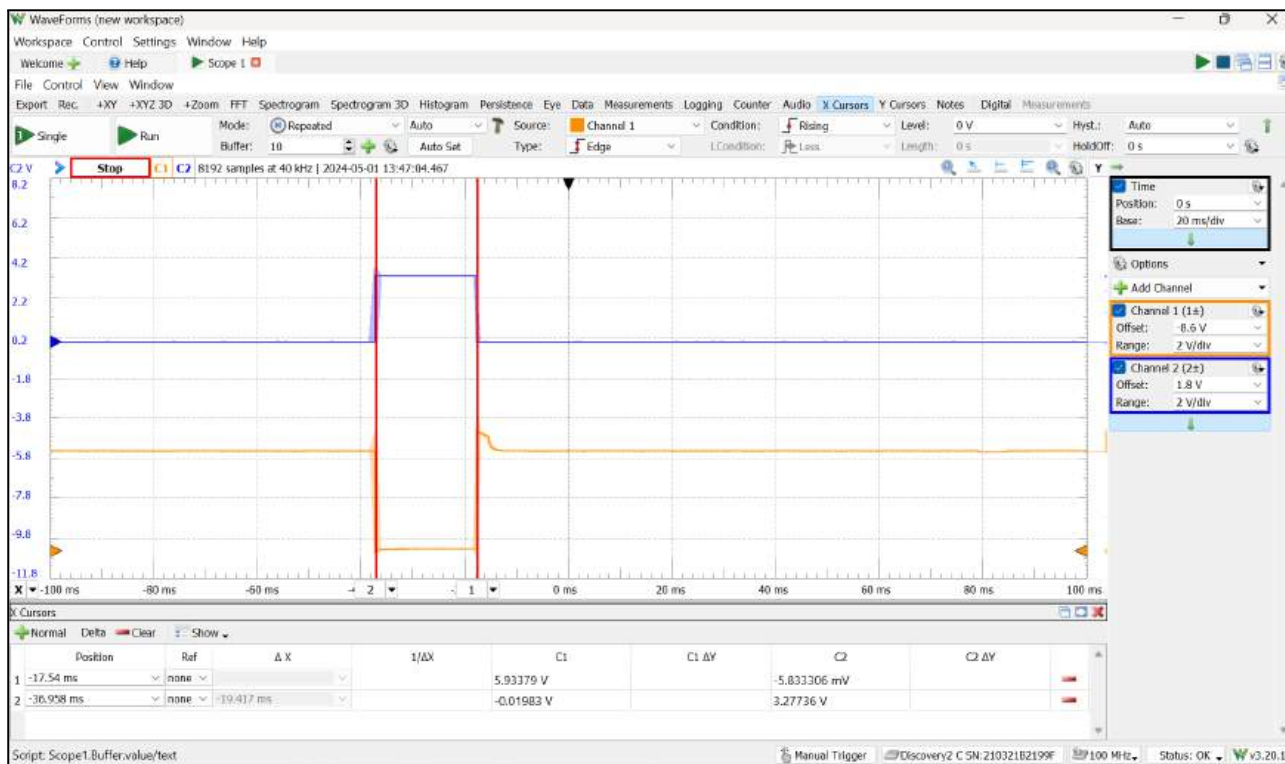


Figur 28 - Opstilling af integrationstest

I denne test er hele prototypen samlet.

Vi tester om vi kan måle den forventede duty cycle ud fra ønskede magnetfelt. Dette måles med Analog Discovery. Channel 2 (den blå) måles på PWM-udgangen til ground. Channel 1 (den orange) måles på drain-benet på mosfetten.

Måling 1



Figur 29 – Måling af PWM-signal og spolespænding med Analog Discovery, med et ønsket magnetfelt på 0,171 T.

Resultat

Målingen af PWM-signalet aflæses til 19,4 ms. Da PWM-signalet kører med en frekvens på 5Hz, er tidsperioden 200 ms, derfor er duty cycle på 9,7% her.

Forventet resultat

$$B_{indre} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot I_s \xrightarrow{\text{solve}, I_s} \frac{B_{indre}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n}$$

$$B_{indre} := 0.171 \text{ T} \quad \mu_0 = (1.257 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}^2} \quad \mu_r := 250 \quad n := 22 \cdot \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\frac{B_{indre}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n} = 247.4 \text{ mA} \quad \text{Ønskede DC-strøm ved 0,171 Tesla.}$$

$$I_s := 0.2474$$

$$pwm_{percentage} := I_s = pwm^{1.63} \cdot 1.4 \xrightarrow{\text{solve}, pwm} 0.34530548118964481887 = 0.345$$

$$\tau_{on} := pwm_{percentage} \cdot 200 \text{ ms} = 69.1 \text{ ms}$$

Figur 30 - Beregning af forventede pwm signal for at opnå 0,171 T.

Vi kan se at vores prototype leverer et pwm-signal der er $(19,4/70 = 0,27)$ 27% af det ønskede pwm-signal. Derfor er magnetfeltet ikke som forventet.

$$B_{indre} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot n \cdot I_s \xrightarrow{\text{solve}, I_s} \frac{B_{indre}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n}$$

$$B_{indre} := 0.165 \text{ T} \quad \mu_0 = (1.257 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}^2} \quad \mu_r := 250 \quad n := 22 \cdot \frac{1}{\text{cm}}$$

$$\frac{B_{indre}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n} = 238.7 \text{ mA} \quad \text{Ønskede DC-strøm ved 0,171 Tesla.}$$

$$I_s := 0.2387$$

$$pwm_{percentage} := I_s = pwm^{1.63} \cdot 1.4 \xrightarrow{\text{solve}, pwm} 0.3378043718137540202 = 0.338$$

$$\tau_{on} := pwm_{percentage} \cdot 200 \text{ ms} = 67.6 \text{ ms}$$

Figur 31 - Beregning af forventede pwm signal for at opnå 0,165 T.

Ændringer i koden

Denne gang er der ændret i måden pwm-signalet bliver udregnet på, i koden, som vist nedenfor.

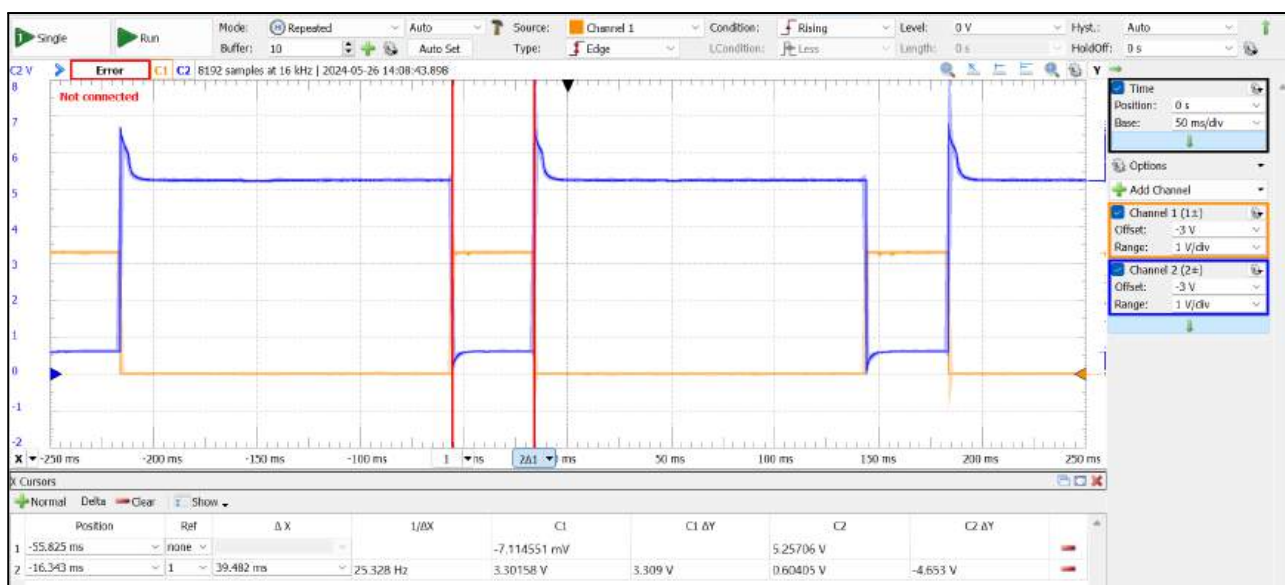
```
// Beregner den ønskede strømstyrke og konverterer til PWM duty cycle
float desiredCurrent = magneticField / (mu_0 * mu_r * n); // Omregner B til I
float dutyCycle = calculatePWMFromCurrent(desiredCurrent);
ledcWrite(pwmChannel, (int)dutyCycle); // Skriver dutyCycle til PWM-pin

float calculatePWMFromCurrent(float current) {
    if (current <= 0) return 0; // Sikrer, at vi ikke tager roden af et negativt tal
    float pwmValue = 255*(pow(0.714 * current, 0.613)); // Omvendt af  $pwm^{1.6} * 1.4$ 
    return constrain(pwmValue, 0, 255); // Sikrer at PWM-værdien er inden for gyldigt område
}
```

Figur 32 - Ændringer i koden

Måling 2

Der testes igen på prototypen. Spændingen på pwm-signalet måles med den orange. Spændingen på drain-benet måles med den blå.



Figur 33 - Anden måling af pwm-signal og spole spænding ud fra ønsket magnetfelt på 0,171T.

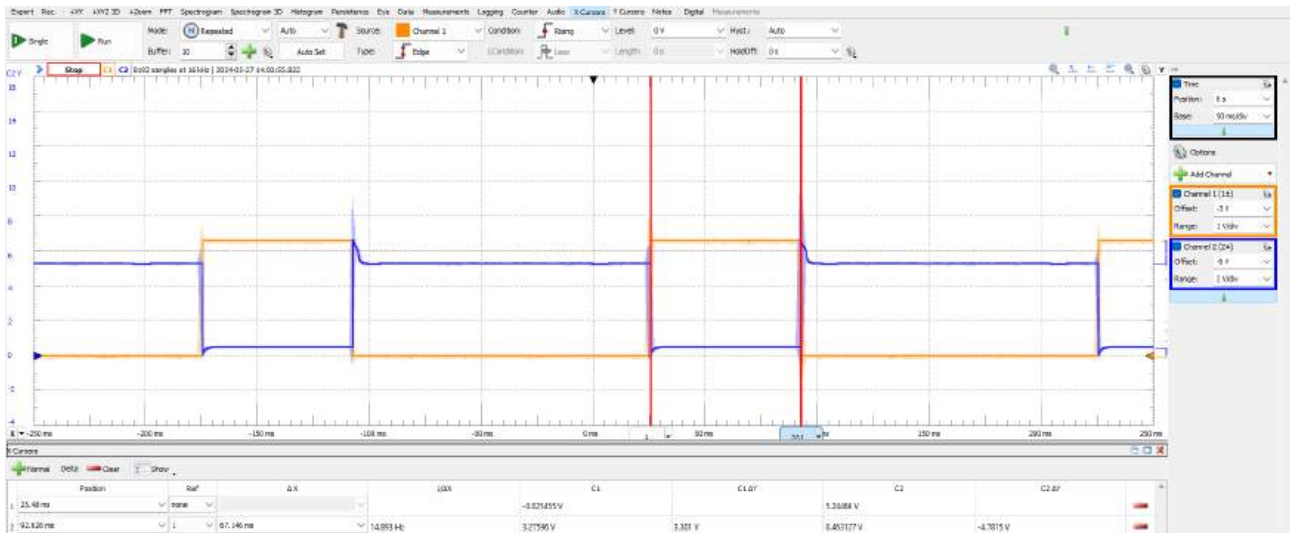
På den anden måling, kan vi se at pwm-signalet nu er $(39,5/70 = 0,56)$ 56% af det ønskede pwm-signal. Det er en forbedring, men det passer stadig ikke.

Måling 3

Koden er blevet ændret igen for at opnå den forventede dutycycle. Vi kan observere ved at udskrive variabelen '**desiredCurrent**' på serial monitor, at værdien var cirka 100 gange den ønskede værdi. Vi har derfor implementeret en skalering der dividerer '**desiredCurrent**' med 100.

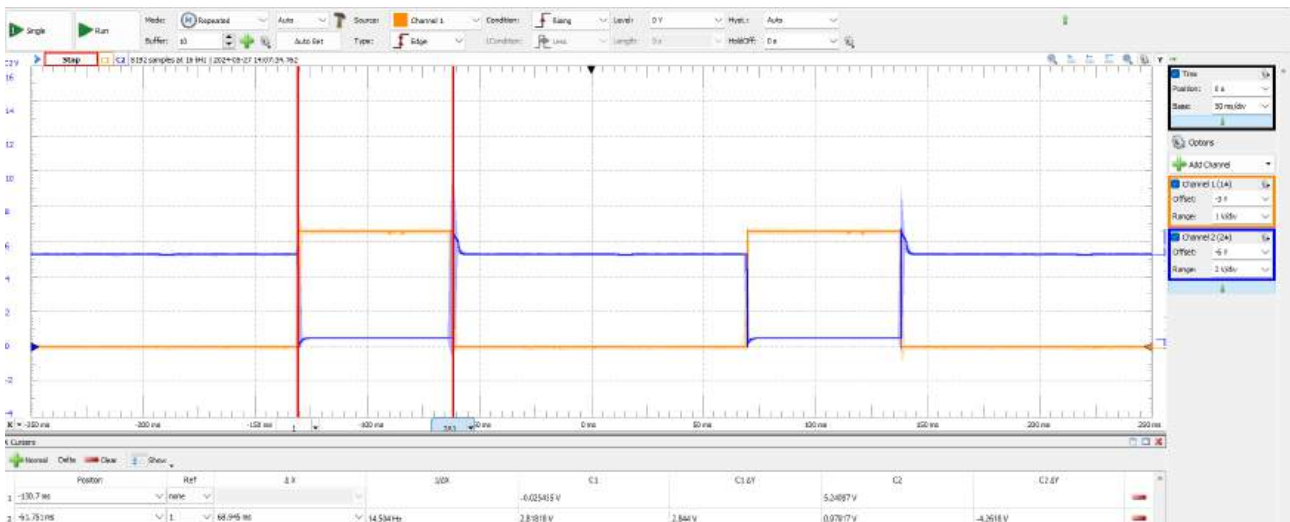

```
// Beregner den ønskede strømstyrke og konverterer til PWM duty cycle
double desiredCurrent = magneticField / (mu_0 * mu_r * n); // Omregner B til I
desiredCurrent /= 100;
Serial.print("Desired Current: ");
Serial.println(desiredCurrent);
```

Figur 34 - Anden ændring i koden.



Figur 35 - Tredje måling af pwm-signal og spole spænding ud fra ønsket magnetfelt på 0,165T.

Hvis magnetfeltet skal være 0,165 tesla, skal pwm-signalet være tændt i 67,6 ms. Vi har målt det i waveforms til 67,1 ms. Det konkluderer vi at være acceptabelt.



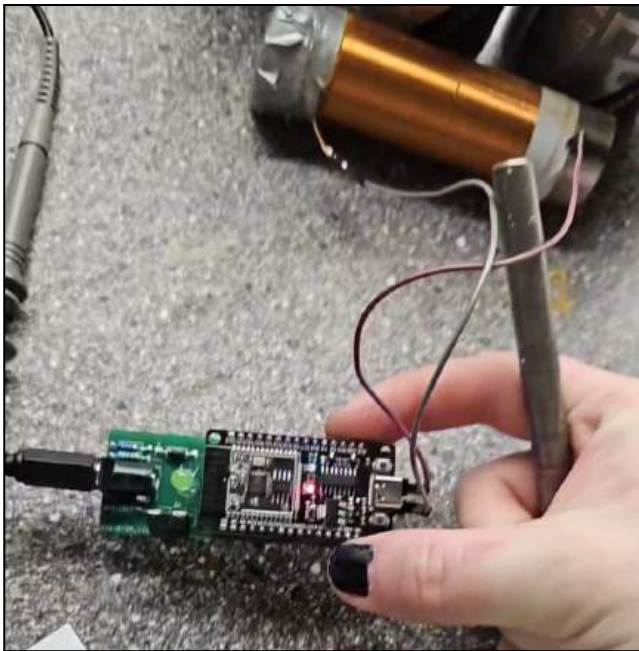
Figur 36 - Tredje måling af pwm-signal og spole spænding ud fra ønsket magnetfelt på 0,171T.

Ved et magnetfelt på 0,171 tesla, skal pwm-signalet være tændt i 69,1 ms. Det er målt i waveforms til 68,9 ms. Det mener vi også er acceptabelt.

Der er nu overensstemmelse mellem beregninger, kode, og prototypens genererede magnetfelt.

11.4 Hardware (Lucie)

Den hardware, der anvendes i integrationsprøven, er som tidligere beskrevet. Vi samlede vores elementer under integrationsprøven, her, mikrocontroller, PCB og vores spole, de fungerede fint sammen, og vi oplevede de forventede resultater.



Figur 37 - Integrationstest hardware

11.5 Test konklusion

Systemet forblev stabilt og fungerede uden fejl i hele testperioden. Ydeevne tests viste, at systemet reagerer hurtigt og opdaterer det magnetiske felt inden for millisekunder efter modtagelse af brugerinput.

Under længerevarende drift ved 100% PWM eller ren DC på 1,4 ampere blev det dog bemærket, at spolen og tilkoblede ledninger blev så varme, at det gjorde ondt at holde ved dem i mere end nogle få sekunder. Men softwaren er også lavet, så PWM-signalet ikke kan overstige 35%, hvilket sikrer en sikker drift, så dette ikke kan opstå når softwaren er implementeret.

I en samlet test af prototypen, målte vi PWM-signalet ud fra det ønskede magnetfelt. Første måling viste en afvigelse på 27% af det forventede signal, hvilket resulterede i et uventet magnetfelt. Efter justering af koden forbedrede vi PWM-signalet til 56% af det ønskede, men det var stadig ikke præcist. Yderligere kodeændringer og skalering af variabelen '**desiredCurrent**' resulterede i en acceptabel overensstemmelse mellem beregninger, kode og det genererede magnetfelt. Ved et ønsket magnetfelt på 0,165 T målte vi PWM-signalet til at være tændt i 67,1 ms (forventet 67,6

ms), og ved 0,171 T målte vi 68,9 ms (forventet 69,1 ms), hvilket begge var inden for acceptable grænser.

Samlet konklusion er, at systemet er stabilt, pålideligt og brugervenligt, og det leverer de ønskede resultater.

12 Resultater (Lucie)

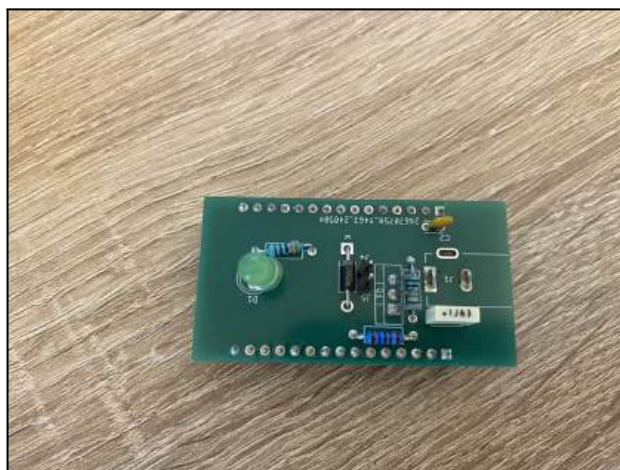
Vi udførte fire forskellige tests for at evaluere effektiviteten af vores produkt. Én af disse tests blev udført med rindende vand, hvor vi desværre ikke observerede nogen resultater. De resterende tre tests blev udført med stillestående vand over forskellige tidsintervaller.

I testene med stillestående vand observerede vi resultaterne efter kort tid, helt ned til 25 sekunder. Dette viser, at vores produkt virker hurtigt under de rette betingelser.³⁰

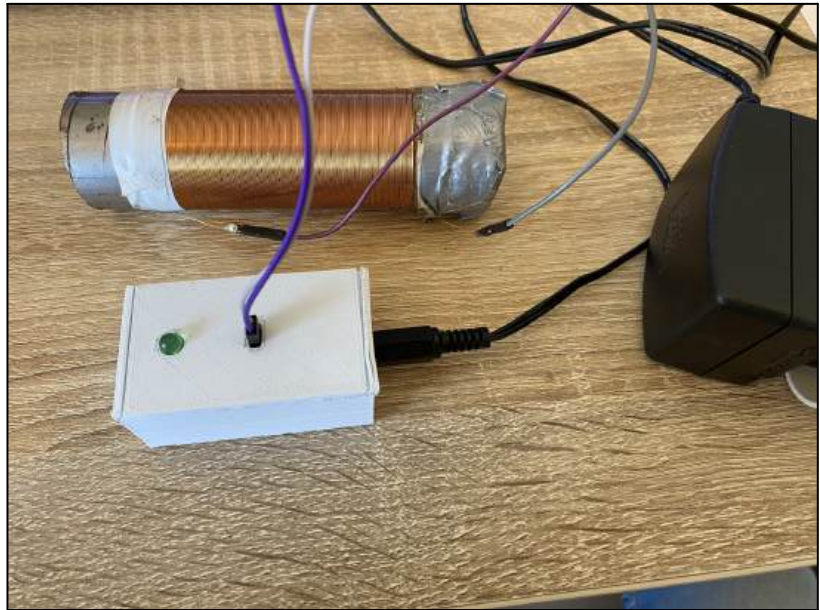
13 Det opnåede produkt (Lucie)

Det endelige produkt er tilnærmet med hjælp fra Per Lysgaard til at reducere EMC, både på modtager- og sender siderne.

Printpladen er ca samme størrelse som en ESP 32. Placeringen af alle komponenter er blevet overvejet med hensyn til EMC, og vi har brugt en afkoblingskondensator på indgangen til ESP'en for at forhindre eventuelle udfald.



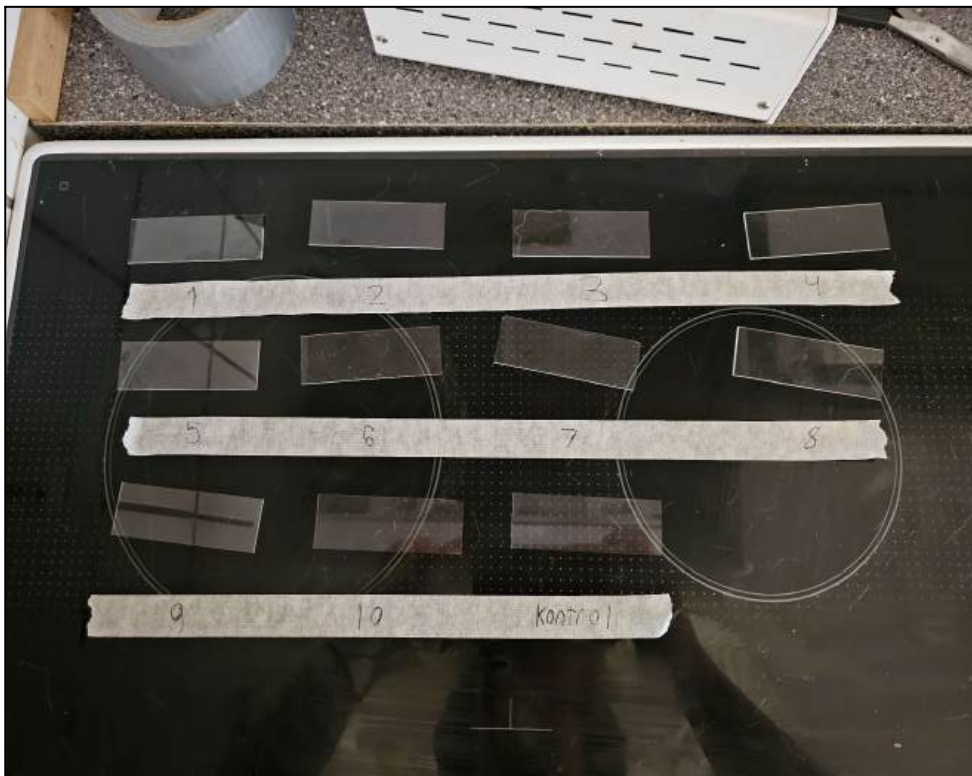
³⁰ [Bilag ?? - Test resultater af stillestående vand](#)



Figur 38 - Endeligt produkt i kasse

14 Diskussion af test resultater

Alle vores tests har anvendt den samme metode, ved kvalitativt at måle indholdet af aragonit ved at placere 5 mL vand, både kontrol og behandlet, på små glasskiver, hvor det lades fordampe, og derefter mærker og ser vi forskel.



Figur 39 - Glasskiver med vandprøverne

Hårdhedstest

Vi gennemførte en omfattende undersøgelse af forskellige metoder til præcis måling af effektiviteten af vores behandlingsteknologi. Desværre viste ingen af de undersøgte metoder sig til at være tilstrækkeligt præcise eller pålidelige. En af de første metoder, vi afprøvede, var en hårdhedstest. Denne test kunne imidlertid ikke registrere nogen ændring, da niveauerne af calcium forblev de samme, hvilket gjorde denne metode ubrugelig til vores formål.

Undersøgelse med mikroskop

Vi forsøgte også at analysere krystalstrukturen ved hjælp af et mikroskop med 60x forstørrelse. Denne forstørrelse viste sig imidlertid ikke at være tilstrækkelig til at give indsigt i krystalstrukturen. Da vores udstyr ikke var kraftigt nok til at observere ændringer på dette mikroskopiske niveau, henvendte vi os til flere forskningsinstitutioner i håb om at få adgang til mere avancerede mikroskoper og andre relevante analyse teknologier. Trods gentagne forsøg lykkedes det os desværre ikke at få adgang til det nødvendige udstyr.

Berørings test

Efter at have udtømt disse muligheder valgte vi at anvende en mere enkel, men effektiv metode til at evaluere vores produkt, en visuel og taktil sammenligning. Fra begyndelsen var vi klar over, at denne metode kunne give os en umiddelbar fornemmelse af resultaterne, både visuelt og gennem berøring. Vi erkendte dog, at denne kvalitative tilgang kunne medføre spørgsmål vedrørende den videnskabelige nøjagtighed og troværdighed af vores produkt.

De resultater, vi opnåede med denne metode, overgik vores forventninger betydeligt. Vi observerede, at efter en påvirkning på blot 25 sekunder kunne vi se en markant ændring i krystalstrukturen. Uden denne påvirkning forblev kalken fast på glaspladen. Efter 25 sekunders behandling kunne kalken dog nemt tørres af med fingeren som støv. Dette indikerer en effektiv omdannelse af krystalstrukturen inden for en meget kort tidsramme.

Selvom den visuelle og taktile metode ikke giver kvantitative data, har vores observationer været tydelige. Vi erkender nødvendigheden af fremtidige studier med mere sofistikeret udstyr for at kvantificere og yderligere validere vores produkt, men de indledende resultater viser en lovende effektivitet af vores behandlingsteknologi.

15 Projektstyringen i praksis

Vi har gennemgået dette samarbejde om projekt 2 ganske smertefrit samarbejds-mæssigt. Vi har oplevet, at gruppen har haft mange forskellige kompetencer, som vi har kunne bringe i spil på forskellig vis i processen.

På bagkant af forløbet har det været spændende at analysere lidt på vores roller i gruppen ud fra de tidligere udarbejdede Insights discovery profiler. Der kan ikke være to meninger om, at vi alle er meget forskellige som mennesker, men vi har i denne proces været dygtige til at fokusere på opgaven og samarbejde.

Vi er bredt repræsenteret i personlighedsprofiler og det har tydeligt skinnet igennem i projektet. Vi har haft en rød personlighedsprofil, der hurtigt påtog sig rollen som scrum-master og meget målbevidst skubbede på for at skabe fremgang i projektet. Til idégenereringsfasen og preto-/prototype udviklingen var vi velsignede med to gule insights profil, der virkelig bragte en idérigdom til vores projekt. Vi har stået med en masse gode tanker og idéer, som vi har måttet forkaste, da tiden ikke har været til at lave alt.

Vores medlem med blå insights profil levede til fulde også op til den systematiske, grundige, beherskede tilgang, som vil præge en blå personlighed på gode dage. Den sidste grønne profil som er undertegnedes, har i alt beskedenhed også levet op til forventningerne til en grøn profil på en god dag.

Det er selvfølgelig altid svært at holde sig fuldstændig objektiv, når det handler om personligheder. Når man kender tegnene på forhånd, kan man have tendens til at "søge" efter de tegn ved vedkommende og dermed få bekræftet sin teori. Men jeg føler faktisk, at Insights discovery profilerne har været en hjælp, når vi har skullet uddelegere opgaver i forhold til, hvem de vil passe til typemæssigt. Jeg tror at det har hjulpet os igennem denne proces uden de helt store sværds slag.

16 Diskussion af det opnåede produkt

Det opnåede produkt har vist lovende resultater i vores test med stillestående vand, hvor en markant reduktion af kalkaflejringer blev observeret inden for en kort tidsramme. Produktet udmærker sig ved at kunne ændre krystalstrukturen af kalk, hvilket gør det nemmere at fjerne. Dette blev bekræftet ved visuelle og taktile metoder, som viste, at kalken kunne tørres af som støv efter behandlingen .

Der er dog også nogle udfordringer og begrænsninger ved produktet. Under test med rindende vand opnåede vi ikke de ønskede resultater. En mulig forklaring er, at vandet ikke har tid nok til at omdanne krystalstrukturer, efter det er udsat for magnetfeltet. En løsning kunne være at montere

en beholder som vandet løber i efter det er udsat for magnetfeltet og dermed øge tiden inden vandet føres videre ind i husholdningen.

En anden udfordring er implementeringen af spolen rundt om vandrøret, hvilket kan være upraktisk i en huslig setting. Det kræver yderligere optimering og eventuel justering af softwaren for at imødekomme forskellige spole størrelser og -egenskaber .

Fremtidige forbedringer af produktet bør fokusere på at øge tiden for vandet efter det er udsat for magnetfeltet. Derudover bør der udføres flere kvantitative studier for at optimere magnetfeltet.

Samlet set viser vores kalkknuser potentiale som en effektiv løsning til reduktion af kalkaflejringer i husholdninger, men yderligere udvikling og test er nødvendige for at den bliver konkurrencedygtig på markedsvilkår.

Produktet kunne også monteres uden på et vandrør hos brugeren, da magnetfeltet faktisk er relativt kraftigt uden for spolen også, ifølge beregninger. På denne måde kunne det blive lettere for en bruger at installere deres kalkknuser.

17 Konklusion

Formålet med dette projekt var at udvikle en kalkknuser, som kan hjælpe husstande med at reducere brugen af kemikalier i forbindelse med vandbehandling. Vores problemformulering stillede fire centrale spørgsmål:

- Hvordan kan vi mindske kemikalieforbruget i danske husstandes afløb?
- Kan vi udvikle et hjælpemiddel, der ikke er for omkostningstungt for den enkelte forbruger?
- Kan vi samtidigt udvikle et hjælpemiddel, der er let at betjene?
- Hvordan kan videnskaben hjælpe os til at fremstille et hjælpemiddel?

Gennem projektets forløb har vi udviklet en prototype på en magnetisk kalkknuser, der demonstrerer betydelige reduktioner i kalkaflejringer i stillestående vand. Dette viser, at det er muligt at mindske kemikalieforbruget ved at anvende magnetisk vandbehandling, hvilket svarer på det første spørgsmål i problemformuleringen.

Prototypen er designet med relativt billige komponenter og en simpel opbygning, hvilket indikerer, at produktet kan fremstilles uden at være for omkostningstungt for forbrugeren.

Med hensyn til brugervenlighed har systemet en relativt simpel installationsproces, men vi har identificeret behov for yderligere forenkling for at gøre det nemmere at anvende i forskellige husholdninger. Her tænker vi især på problematikken med spolen, hvor brugeren selv skal vikke kobbertråd omkring røret.

Vi har anvendt flere forskningsteorier og søgt ekspertise fra kemi, miljøvidenskab og ingeniørvidenskab for at designe og teste vores prototype. Resultaterne viser, at en videnskabelig tilgang kan udvikle effektive og bæredygtige løsninger.

Samlet set viser projektets resultater, at det er muligt at udvikle en omkostningseffektiv, brugervenlig og videnskabeligt funderet løsning til at mindske brugen af kemikalier i husholdningsvand. Der er plads til forbedringer, men vi føler vi står med en brugbar prototype.

Ud fra vores testresultater, kan vi se at kalkaflejringerne er reduceret. Derved må vi konkludere at kemikalieforbruget for en husstand må være faldende, da forbruget af rengøringsmidler må være mindre.

Som den nuværende prototype er nu, er den ikke direkte nem at bruge for en bruger. Der vil kræve forbedringer på software-området, hvor app'en skal laves nemmere, så brugeren hurtigt kan installere den og være i gang.

Derudover kræves der forbedringer af installation af kalkknuseren i brugerens hjem, her skal der muligvis indgås samarbejdsaftaler med en lokal VVS'er, der kan installere den på en sikker og lovlig måde.

Vi har haft mange overvejelser i udviklingen af vores prototype. Omkostningerne til at udvikle en prototype har ikke været specielt høje, og udelukkende ud fra prisen på komponenterne, kan det være en profitabel forretning.

Hvis vi derudover overvejer alle udgifter ved at drive en forretning, vil udgifterne stige, og det er svært på nuværende tidspunkt at sige om dette produkt vil være billigere end allerede eksisterende på markedet, men noget kunne tyde på det.

18 Fremtidigt arbejde (Perspektivering)

Efter flere test af kalkknuseren, kan vi se på målingerne, at vi ikke har fået de ønskede resultater ved gennemløbende vand.

En mulig forklaring på det kunne være, at vandet ikke er i kontakt med magnetfeltet i lang nok tid, til at aragonit begynder at blive dannet. Det er en logisk forklaring ud fra testresultaterne og litteraturen, der også får markant bedre resultater, ved at øge tiden.

Hvordan kunne tiden løses?

Udfordringen ved at udsætte vandet for et magnetfelt i lang tid, altså 25 sekunder eller mere. Består i hastigheden på vandet i røret, i forhold til længden af kalkknuseren.

Man kunne måske montere mange kalkknusere i serie, på et vandforsyningsrør, over en længere strækning, indtil vandet er udsat for et magnetfelt i 25 sekunder eller mere.

Refleksion omkring forbedring af produktet

Der findes mange artikler der har relevans for magnetisk vandbehandling, hvis vi havde mere tid, kunne man blive ved med at forbedre ved at hente mere data, og optimere funktionen for magnetfeltet.

Anden forbedringsmulighed

Artiklen fra J.M.D Coey³¹ blev først analyseret relativt sent i projektarbejdet, og derfor er hans anbefalede 100 T/m ikke blevet testet, om det er overholdt i vores produkt. Dette kunne være en mulig forbedring.

Alle fremtidige ændringer af produktet skal testes, evalueres og på den måde kan vi fortsætte udviklingen af kalkknuseren.

³¹“Magnetic water treatment - how might it work?” af J.M.D. Coey

19 Bibliografi

1. Psykologisk kontrakt vedlagt som bilag
2. insights discovery - "Øvelser og udfordringer til personlig udvikling"
3. FN17 - Vores mål
4. <https://www.youtube.com/watch?v=UAinLaT42xY> - Tim Brown urges designers to think big
5. <https://www.designorate.com/the-double-diamond-design-thinking-process-and-how-to-use-it/>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=unHyfWvZhFc> - Forstå Double Diamond på 4 minutter
7. Uddrag af research vedlagt som bilag
8. (<https://innovation.sites.ku.dk/metode/det-kvalitative-interview/>)
9. Preproject - se bilag
10. <https://www.chem1.com/CQ/magscams.html>
11. "Experimental study on the scale inhibition effect of the alternating electromagnetic field on CaCO_3 fouling on the heat exchanger surface in different circulating cooling water conditions" af Jing Xu, Judong Zhao, Yun Jia.
"Videnskabsteori for begyndere" 3. udgave, 1. oplag af Torsten Thurén
12. "Influence of magnetic field on the aragonite precipitation" af L.C. Lipus, D. Dobersek
13. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68872/IRF/IRLZ44N.html>
14. Med vejledning fra Kjeld Laursen - Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering - Electronics and Photonics, Aarhus university
15. Beregning af magnetfelt og induktans.mcdx
16. <https://docs.blynk.io/en>
17. <https://www.exceldemy.com/how-to-do-multiple-regression-analysis-in-excel/>
18. Effect of the magnetic field on the growth rate of aragonite and the precipitation of CaCO_3
19. <https://www.gamry.com/application-notes/instrumentation/faraday-cage> "Magnetic water treatment - how might it work?" af J.M.D. Coey