



DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

Telemedicin 1
62512

Telemedicinsk løsning til lindring af søvnapnø

Jesper Clement Aaløse s205488
Shiv Gopal s205490
Naveed Imam Shah s205491
Troels Engsted Kiib s205492
Andreas Bach Berg Nielsen s205869
Mohamed Musse Mohamed s093903
December 27, 2023

Abstract

In this project we intend to develop and test a telemedicine solution for patients suffering from obstructive sleep apnea that will help alleviate the symptoms of their chronic condition. Firstly we analyzed sleep apnea and the relevant factors that contribute to making sleep apnea a significant societal issue. On the basis of this analysis we have designed a home monitoring device with the intention to improve patient compliance to interventions commonly used for OSA. As a part of designing the home monitoring device we did a thorough analysis of the possible wireless connections, battery lifetime and power consumption. We created a clinical trial in order to test the effects of the home monitoring device. After conducting the trial we evaluated our results from the battery lifetime calculation, the communication protocol and the clinical trial. On the basis of the evaluation we discussed our procedure and result, where we found out that we can significantly improve compliance for the standard procedure for OSA, by implementing our telemedical device and that WIFI was the optimal wireless communication protocol.

Indholdsfortegnelse

1	Formål	3
2	Baggrund	3
2.1	Hvad er søvnapnø	3
2.2	Pris for samfund	4
2.2.1	Økonomisk	4
2.2.2	Social	4
2.2.3	Sikkerhed	5
2.3	Nuværende løsning	5
2.3.1	Den nuværende sundhedssektor	5
2.3.2	Fremtidens Sundhedsvæsen	6
2.3.3	Fremtidssikret Løsning	6
2.4	Innovativ Løsning	6
2.5	Design Af Telemedicinsk Løsning	6
2.5.1	BorgerCentrisk Løsning	7
2.5.1.1	Hardware	7
2.5.1.2	Software	10
3	Metode	12
3.1	Population	12
3.2	RadioKommunikation[1]	12
3.2.1	Bluetooth	14
3.2.2	Wifi	14
3.2.3	Mast netværk[1]	15
3.3	Klinisk studie	15
3.3.1	Formål	15
3.3.2	Rationale	15
3.3.3	Metode	15
3.3.3.1	Randomiseret tilgang	16
3.3.3.2	Undersøge målte antal søvntimer med udstyr	16
3.3.3.3	Samplingstørrelse	16
3.3.3.4	Quality of life spørgeskema (WHOQOL)	16
3.4	Resultat	17
3.4.1	Resultat fra beregninger omkring batteri-levetid	17
3.4.1.1	Bluetooth	18
3.4.1.2	Wifi	18
3.4.1.3	Mast	18
3.4.1.4	Delkonklusion af resultater fra beregninger	18
3.4.2	Resultat fra Klinisk studie	19
4	Diskussion	19
4.1	Resultat Diskussion	19
4.1.1	Klinisk Studie	19
4.1.1.1	Effekt	19
4.1.1.2	Konklusion	19
4.1.1.3	perspektivering	19
4.1.2	Batteri-levetid beregninger	20
4.1.2.1	Initielle tanker ift. batteri	20
4.1.2.2	4g LTE fravælges	20
4.1.2.3	WiFi vælges frem for Bluetooth	20
4.2	Fejlkilder	20
4.3	Disruptiv Innovation	20
4.3.1	Skalerbarhed	21
4.3.2	Buisness model	21
5	Konklusion	22

1 Formål

Formålet med denne opgave er, at udvikle en telemedicinsk løsning til monitorering, diagnosticering og lindring af søvnapnø. Vi vil gerne konstruere et alternativ, til de nuværende løsninger, til monitorering og diagnosering af søvnapnø. Vi mener også, at man ved brug af telemedicinske løsninger, kan ændre den tilgang man har til de nuværende behandlingsmetoder og diagnosticeringer af søvnapnø.

Vi vil gerne undersøge borgere, der har et behov for behandling af søvnapnø, der ikke nødvendigvis ser samme behov. Forstået på den måde, at borgeren selv fravælger nuværende behandlinger, da disse for borgeren er for forstyrrende, ubehagelige eller af andre årsager, og borgerens status er derfor igen behandling.

Denne borgergruppe vil vi give et alternativt værktøj, som passer bedre til deres egne behov, i stedet for sygdommens behov. Dette vil vi gøre ved hjælp af inkorporering af personoptimerede mandibular advancement devices (MAD), samt markant mere fokus på empowerment. Inkorporeringen af disse, vil forhåbenligt vise sig positivt i monitoreringen af borgerens egen tilstand. Den løbende udvikling af borgerens egen tilstand, skal være noget, som er tilgængeligt for borgeren selv, så borgeren kan følge med i hvordan det går, hvilket er et empowerment af borgeren.

Empowerment af borgeren er nemlig noget, vi bla. vil forsøge at opnå, ved at kvantificere borgerens fremskrift som et resultat af, at de aktivt forsøger at forbedre deres tilstand. Dette vil ikke kun være med til at empower borgeren, men også til at sørge for, at borgeren føler vedkommende kan indgå aktivt og gøre en forskel i sin behandling, og ikke just behandles passivt af sin læge, sygeplejerske eller hjemmehjælperen.

Senere vil vi undersøge effekten af vores nye behandlingsmetode, i forhold til de nuværende løsninger, hvor vores effektparameter vil omhandle compliance af de nuværende løsninger og vores løsning, samt overveje hvorvidt vores nye behandlingsmetode er bedre end den nuværende løsninger, eller om vores løsning kan være et supplement til de nuværende løsninger, istedet for at være et alternativ. Til slut vil vi diskutere en potentiel businessmodel, der omhandler hvordan vores produkt ville komme på markedet, og hvilke overvejelserne vi har haft omkring dette.

2 Baggrund

I dette afsnit vil vi redegøre for baggrunden for vores projekt, der omhandler søvnapnø. Vi vil både redegøre for den socioøkonomiske indflydelse søvnapnø har, men også vigtigheden af tidlig diagnosticering og behandling af søvnapnø. Yderligere vil vi kigge på fremtidens sundhedsvæsen, og hvilke centrale udfordringer der skal tages højde for, for at lave en fremtidssikret løsning.

2.1 Hvad er søvnapnø

Søvnapnø er perioder med manglende vejtrækning under søvnen. Respirationen er stoppet i mindst ti sekunder og kan forekomme mange gange i løbet af natten. Pauserne i vejtrækningen kan forstyrre søvnen og reducere den dybe søvn samt REM-søvnen. Årsagerne til søvnapnø kan være pga. forandringer i hjernen eller nerver. Dette ses ved neurologiske sygdomme og hovedtraumer. Dog er det mere almindeligt at søvnapnø skyldes obstruktion, også kaldet obstruktiv søvnapnø (OSA).

Faktorer der disponere for OSA inkludere:[2]

- Snævre luftveje
- Obstruktive lungesygdomme
- Fedme
- Hjerte-kar-sygdom
- Alkohol
- Slimhindehævelse fra allergi og forkølelse.

Søvnapnø medfører nedsat søvnkvalitet og træthed og dermed er konsekvenserne bl.a. [3]

- Træthed
- Fald i iltindhold i blodet
- Mentale forstyrrelser
- Nedsat livskvalitet
- Risiko for at medføre andre sygdomme

Symptomerne for søvnapnø er snorken, vågne op udmattet, tør mund om morgenen, længere perioder uden vejtrækning om natten. Noget andet der også kendetegner søvnapnø er, at man ikke føler sig udhvilet og derfor kan der forekomme søvnanfald om dagen. Et tredje eksempel på søvnapnø kan være hukommelsesbesvær og at have svært ved at koncentrere sig om de enkelte ting.[3]

Søvnnapnø inddeles i flere grader og defineres udefra Apnø-Hypopnø-Index (AHI) i antal pr time.[4]

- $AHI < 5 = Normal$
- $AHI : 5 - 14 = Mildsøvnnapnø$
- $AHI : 15 - 29 = Moderatsøvnnapnø$
- $AHI > 30 = Alvorligsøvnnapnø$

OSA behandles med livsstilsændringer, tandskinner, nasal continuous positive airway pressure(nCPAP) og i visse tilfælde kirurgi.[2]

2.2 Pris for samfund

Først og fremmest må omfanget af søvnapnø klargøres og ifølge professor ved Dansk Center for Søvnmedicin Poul Jennum, lider omkring 300.000 patienter af søvnapnø, men kun cirka 80.000 er identificeret med sygdommen og er i behandling. Han tilføjer at omkring 70 procent af dem som får en blodprop i hjernen, har søvnapnø.[5] Yderligere går mennesker med søvnsygdomme ofte i mange år, inden de får en diagnose – vi taler om et såkaldt 'diagnostisk delay' på mellem fem og til år, fortæller Poul Jennum.[5]

Paul Jennum har i samarbejde med Jakob Kjellberg forsøgt at afklare de direkte og indirekte sociale og økonomiske sideeffekter af søvnrelateret vejtrækningsproblemer. De kom frem til at snorken, søvnapnø samt overvægtrelateret hyperventilation var associeret med signifikant højere rater af kontakt med sundhedsvæsenet, medicinbrug, arbejdsløshed og de forklarende stigninger i socioøkonomisk omkostninger. Disse effekter steg med sværhedsgraden af søvnapnø.[6] De konkluderede deres undersøgelser med følgende citation:

"Sleep-disordered breathing has major socioeconomic consequences for the individual patient and for society. Although CPAP treatment reduces mortality, earlier disease detection could have a greater impact on disease complications."[6]

2.2.1 Økonomisk

De økonomiske sideeffekter søvnapnø har på samfundet, kan virke svære at gennemskue da der forekommer store skyggetal og at sideeffekterne er mangfoldige, men ifølge Poul Jennum kan omkostningerne være imellem 3 og 4 milliarder, som han siger i et interview med sundhedspolitisktidsskrift:

"Vi har overvældende sikre data, der viser, at godt 300.000 personer i Danmark lider af obstruktiv søvnapnø, og de direkte og indirekte omkostninger løber op imellem tre og fire milliarder kr. om året," siger Poul Jennum, overlæge på Dansk Center for Søvnmedicin og professor i klinisk neurofysiologi ved Københavns Universitet."[7]

Det er en økonomisk byrde for samfundet, men der forekommer også økonomiske konsekvenser for patienter der lider af søvnapnø. En person med søvnapnø har i gennemsnit højere arbejdsløshed og kan forvente at tjene omkring 6.500 mindre om året. Disse økonomiske konsekvenser var tilstede op til 8 år før de først blev diagnosticeret med søvnapnø og steg i takt med forværing.[6]

2.2.2 Social

De personlige og sociale konsekvenser er flertallige ifølge Divisionen for søvnmedicin på Harvard Medical School. Først og fremmest lider mange personer med obstruktiv søvnapnø af søvnighed i dagstimerne og har derfor et u hensigtsmæssigt potentiale for spontant at falde i søvn i dagstimerne. Yderligere kan det også forårsage depression, problemer med koncentrationen og hukommelsesproblemer. Alt dette kan påvirke familie og venner. Depression gør det svært at vedligeholde relationen med andre mennesker og at trætheden sænker tilbøjeligheden til at deltage i sociale aktiviteter der kræver fysisk aktivitet.[8]

2.2.3 Sikkerhed

Som tidligere nævnt er en sideeffekt af søvnapnø søvnighed i dagstimerne, dette kan medføre at man falder i søvn uhensigtsmæssigt. Dette har en række sikkerhedskonsekvenser. Eksempelvis har lastbilchauffør, der kører med farlige goder, en uforventet høj forekomst af søvnapnø og af dem som ikke fik behandling for søvnapnø, havde en signifikant højere sandsynlighed for ”near miss accidents” (NMAs)[9]

2.3 Nuværende løsning

Ifølge dansk center for søvnsygdomme er den mest anvendte behandling af voksne med OSAS i dag CPAP, som er overtryksbehandling med luft givet igennem en ansigtmaske, der dækker næsen. [10] Behandlingen er effektiv men dårlig tolereret af patienter og i vise tilfælde accepteres den slet ikke som løsning blandt patienterne. Måden at forbedre denne udfordring afhænger af fremskridt indenfor personaliseret medicin, der inkorporerer personalisering, forudsigelse, forebyggelse og patient deltagelse i deres behandlings strategier.[11] Yderligere er CPAP overanvendt i behandlingen af patienter med få eller minimale symptomer, fordi compliance er lav i disse populationer.[11]

Ydermere kan der kastes lys på metoderne der bruges til at diagnosticere OSA. Til at diagnosticere er den fortrukne diagnosticerings metode fuld nats polysomnografi men der bliver også brugt split nats polysomnografi og uovervåget bærbar hjemmeovervågning. Hvis det er muligt er fuld nats polysomnografi optimalt men split nats polysomnografi og uovervåget bærbar hjemmeovervågning kan overvejes som kosteffektive alternativer.[12]

2.3.1 Den nuværende sundhedssektor

Den primære sundhedssektor er den del af sundhedsvæsenet, der har den primær kontakt til borgeren. Den primære sundhedssektor indeholder flere institutioner, som alle er med til at fremme sundheden, og er tilgængelige for borgerne. Den primære sundhedssektor består af:[13]

- Praktiserende læger.
 - Primære kontakt til borgeren
 - Privat drevet
- Apotekerne
 - Lægemidler og medicinsk behandling
 - Blodtryks- kolesterol- og blodsuktermåling
- Hjemmeplejen/Plejhjem
 - Genoptræning
 - Hjælper med dagligdagens funktioner
- Sundhedspleje
 - Hjemmebesøg hos spædbørnsfamilie
- Andre kørende/åbne tilbud
 - Mad ud til ældre
 - Bedre vilkår for hjemløse, misbrugere, alkoholikere

Den sekundære sundhedssektor er den del, der kan videreføre behandlingen fra den primære sundhedssektor. Denne sektor består af:[13]

- Sygehuse
 - Komplekse behandling
 - Samarbejder med mange forskellige sundhedsfaglig personale.

I dag er der sådan at borgere der muligvis har søvnapnø bliver visiteret af lægen i den primære sektor og bliver derefter sendt videre til sygehuset, som er den sekundær sektor. Den sekundær sektor opretter en udredningsforløb med borgeren, og finder derefter frem til den rigtige behandling.[13]

Vores produkt er tiltænkt til den primære- og sekundære sundhedssektor. Dette vil hjælpe borgerne med at forebygge, samt finde frem til den rigtige løsning for dem.

2.3.2 Fremtidens Sundhedsvæsen

Ifølge det nationale forsknings og analysecenter for velfærd er der fem megatrends der udfordre danmark i fremtiden. Disse fem megatrends omfatter:

- Den aldrende befolkning
- Den stigende betydning af kronisk sygdom
- Informationsrevolutionen
- Klinisk teknologisk velsignelse og forbandelse
- Den nye sundhedsforbruger

På baggrund af disse vurderes der, at være følgende centrale tendenser for sundhedsvæsenet de næste 10-20 år:[14]

- Der vil blive flere ældre borgere, og antallet af multisyge vil stige.
- Indsamling og brug af data vil vokse markant, især brugen af data indsamlet af borgerne selv.
- Borgerne vil få en meget mere central rolle i deres egen behandling, og især vil der være store forventninger til de ressourcestærke borgere om at tage aktiv del i egen sundhed.
- Borgerne vil stille højere krav til sundhedsvæsenet.
- Der vil ske en demokratisering af teknologi og viden.
- Der vil ske en markant udbredelse i anvendelsen af digitale løsninger, både som supplement til eksisterende behandling og som erstatning for den.
- Der vil være en stigende anvendelse af robotteknologi i sundhedsvæsenet.
- Sundhedsvæsenet vil blive proaktivt frem for reaktivt; der vil være fokus på sundhed frem for behandling, og borgerne skal holdes sunde og raske.
- Borgere såvel som klinikere vil i stigende grad benytte sig af forskellige beslutningsstøtteværktøjer.
- Der vil være mere individuelle forebyggelses- og behandlingsforløb som følge af, at der bliver bedre muligheder for at gøre brug af viden om patienternes genetiske arvemasse.
- En del arbejdsopgaver – både lægelige opgaver og serviceopgaver – vil blive automatiseret. Samtidig vil teknologien skabe nye arbejdsopgaver, da ny teknologi vil resultere i nye undersøgelser og behandlinger.

2.3.3 Fremtidssikret Løsning

Der er altså både behov og mulighed for ibrugtagning af andre diagnosticerings værktøjer, der bidrager til højere compliance og en personaliseret tilgang til behandlingen af OSA. Dette vil bidrage til, at imødekomme de udfordringer som sundhedsvæsenet vil møde i fremtiden. Vi må også konkludere på baggrund af det store antal udiagnosticerede patienter og vigtigheden af tidlig diagnosticering, at en kosteffektive diagnosticering værktøj, er et meningsfyldt fokus i indsatsen for forbedre behandlingen af OSA patienter. Yderligere kan vi se, at der er en mulighed for andre behandlings muligheder til OSA patienter med milde symptomer, da disse har lavere compliance med CPAP end normalt.

2.4 Innovativ Løsning

På baggrund af disse krav har vi udarbejdet en innovativ løsning. Det er en telemedicinsk løsning, der gør brug af stræksensorere, kombineret med et indbygget SpO2 pulsoximeter, til at måle, diagnosticere, monitorerer og personalisere behandlingen for obstruktiv søvnapnø syndrom OSA.

2.5 Design Af Telemedicinsk Løsning

I dette afsnit vil vi redegøre for vores design valg og beskrive den monitor som skal indgå i vores studie. Dette vil gøres på baggrund af de krav stillet til en innovativ fremtidssikret telemedicinsk løsning.

2.5.1 BorgerCentrisk Løsning

At være borgercentrisk betyder, at man sætter borgerens og dets reelle behov i fokus. Dette betyder, at man i stedet for at kigge på en syg borger, som værende et produkt, der bare skal igennem et sundhedssystem, skal kigge på hvad borgerens værdier er, og tilrettelægge den plan eller kur, der bedst muligt giver dem mulighed for at behandle dem.

Dette gøres ved at ændre sin tilgang eller tankegang til borgeren og de forskellige tilstande de kan være i. Vi tager udgangspunkt i en illustration af et paradigmeskift, fra et patientorienteret til et borgercentrisk sundhedsvæsen.[15]

Vi vil gøre patienten til en borger. Dette betyder, at en patient aldrig må føle sig som en "patient". Derfor skal patienten ikke behandles som en person der lider af en sygdom, men som en borger, der har en tilstand, som kræver noget mere end den normale borger.

Dette gøres ved, at være mere proaktiv i vores behandling af borgerens tilstand, frem for det nuværende reaktive system. Ved at vi er proaktive, vil vi kunne mindske tilstandens seriøsitet, samt sørger for at borgeren får den hjælp der er brug for, inden de når et stadie hvor de begynder at blive invalide.

Dette kunne være ved inkludering af PRO data, altså "*patient reported outcome*", hvor patienten selv fortæller, hvordan de har det fra dag til dag. Dette vil nemlig sætte borgerens perspektiv i fokus. På den måde kan vi med andre ord sige, at vi gerne vil "udlægge" borgerne, i stedet for at "indlægge" dem. Vi sørger for en løbende monitorering i hjemmet, i stedet for at de skal komme til et sygehus. Dette gør vi fordi, at man sparer tid, men også sørger for, at borgeren ikke færdes i et miljø af hospitaler og sygehuse, som vil få borgeren til at føle sig syg.

Når vi monitorer borgerens tilstand, starter vi et forløb, hvor borgeren ved brugen af produkter kan fortælle sundhedsvæsenet, hvordan de har det. Derfor starter vi et bedre og mere borgercentrisk forløb, der er tilpasset til borgerens behov. Dog skal vi også sørge for, at det produkter vi gør brug af, er noninvasiv. Dette skal gøres, så både borgeren ikke føler, at det er en byrde og at de ikke mærker at de er syge eller invalide. Dette gøres design beslutninger. Apparaturerne må ikke mindske borgerens mobilitet, det skal ikke tage for lang tid at bruge og det skal ikke være noget, som hindre dem i at lave deres daglige aktiviteter.

2.5.1.1 Hardware

Vi har valgt at vores hardwaremæssige løsning, skal inkorporere både strækreceptorer og en SpO2 måler. Dette vil vi implementere i form af en brystrem, som sidder stramt rundt om brystet, således at strækreceptorerne vil aktiveres ved vejrtrækningen.

Sensor

Vores monitor skal indeholde to slags sensorer, disse har til formål at indsamle den data der er relevant for diagnosticering og monitorering af søvnapnø. Først og fremmest skal den indeholde et pulsoximeter, der skal være småt nok til at det kan sidde i en brystremmen, dog kan tilstedeværelsen af fedtdepoter påvirker målingsdata. Pulsoximetri data vil bidrage til at identificere søvnapnø, ved at måle ændringer i iltmætningen i blodet. Da man forventer, at se en ændring i iltmætningen hvis man ikke trækker vejret.[16]

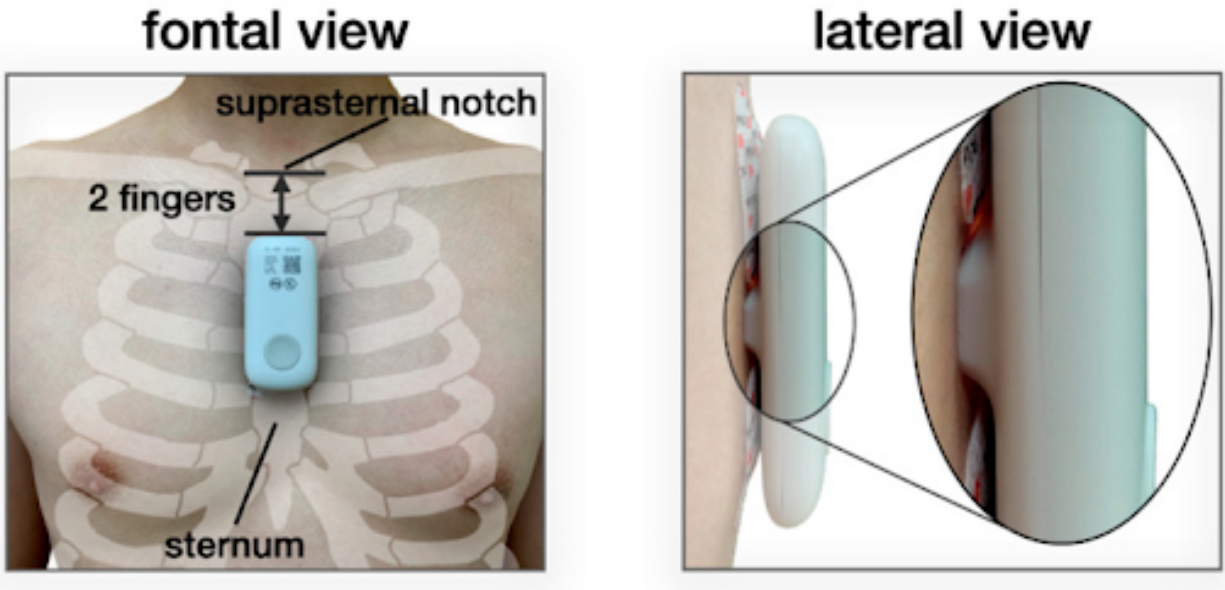


Figure 1: SpO2Sensor [16]

Højre side af figur: 1 ses et eksempel på en SpO2 sensor der kan måle SpO2 på sternum.

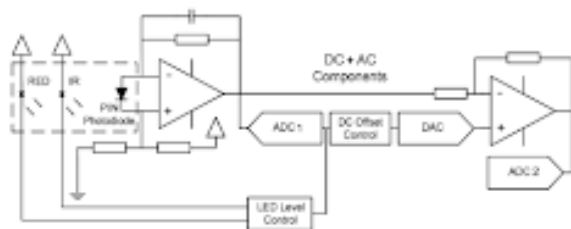


Figure 2. Input front end circuit and LED control of the single-chip Pulsoximeter design using the MSP430.

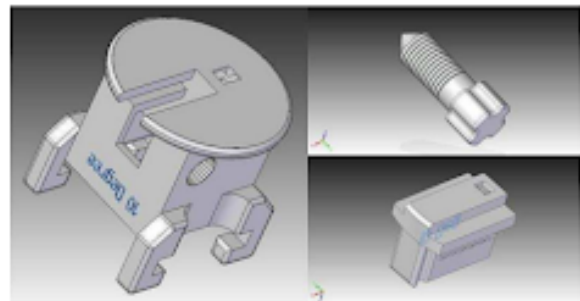


Figure 3. Solid Edge ST images of a housing for a chest-based reflective Pulse Oximetry sensor.

Figure 2: Anden SpO2Sensor [17]

på figur: 2 ses et andet eksempel på en prototype af en SpO2 sensor egnet til sternum.

Sekundært skal monitoren indeholde strækreceptorer, der også monteres i brystremmen, så de strækkes når brystremmens materiale strækkes. Data fra strækreceptorerne vil således tilade os, at måle hvornår personen trækker vejret, da strækreceptorerne strækkes når brystkassen udvides.

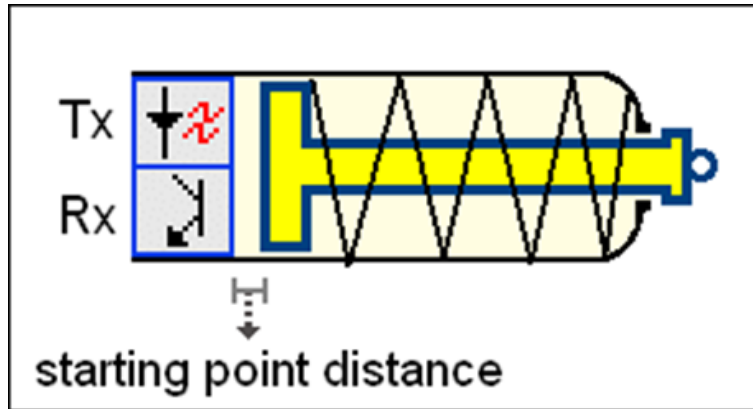


Figure 3: Stræksensor[18]

Transmitter

Monitoren skal indeholde en transmitter der sender målingsdata til en server. Dette kan ske ved tre forskellige metoder, enten Bluetooth, Wifi eller cellulær. Afhængigt af hvilket trådløs metode der vælges, skal transmitteren overholde forskellige protokoller og krav til softwaren der skal håndtere dette. Hver metode kommer med sine egne begrænsninger og det vil derfor være nødvendigt, at undersøge hvilken der er optimal for vores løsning.

Batteri

For at de to elektroniske sensorer skal fungere, skal de have strøm. Da en kablet løsning ville gøre monitoren betydeligt mere upraktisk, samt potentielt søvnforstyrrende, skal monitoren bruge et batteri. Dette batteri skal kunne sidde i brystlommen og være så småt som muligt, dette kunne et knapcelle batteri, AA-batteri eller et 9v batteri. Her opstår der så en interessekonflikt, da størrelsen af batteriet sænker brugervenligheden og det bliver derfor nødvendigt at undersøge hvor småt et batteri der kan levere strøm nok til at måle en hel nats søvn data.

MockUp

Ud fra de krav vi har udpenslet kan vi lave et mock-up af vores prototype, som indeholder alle de nødvendige komponenter.

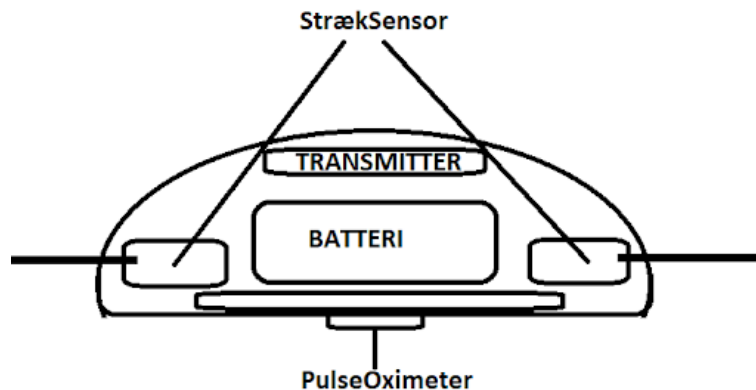


Figure 4: MockUp

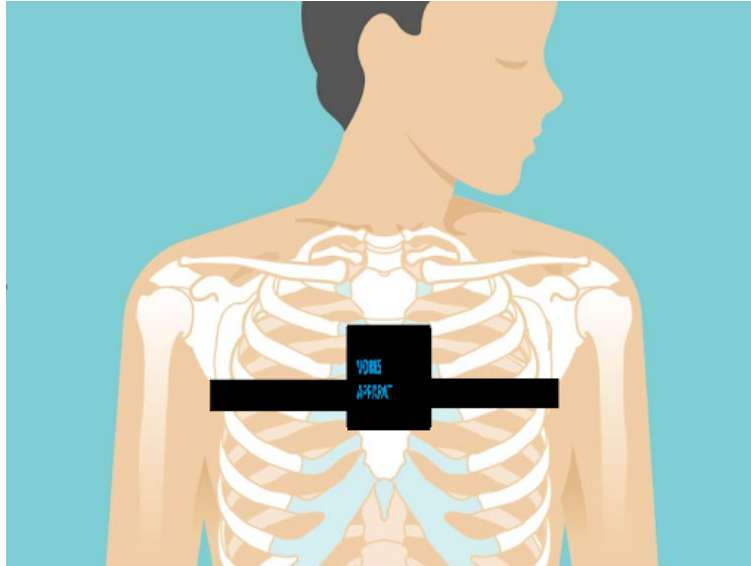


Figure 5: MockUp Illustration

Vores apparat er designet til at være noninvasivt. Apparatet skal side på brystkassen, da vi gerne vil måle vejrtrækningsrytmen, men også måle iltmætningen, hvilket begge kan lade sig gøre på brystkassen, i stedet for at have to separate målere. [18]

2.5.1.2 Software

Tilhørende hardware løsningen skal der være software både i brystremmen, men også i en applikation og hjemmesiden. Softwaren i brystremmen, skal kunne styre transmitteren og administrere stræk-sensorer og SpO2 måleren. Softwaren skal begrænses i omfanget, da monitoren er trådløs og kører på batteri. For at mindske batteriforbrug, skal den ikke foretage nogen form for analyse eller caching af for meget data. Sekundært skal der være en brugergrænseflade til både borgeren og sundhedspersonale. Borgeren skal kunne tilgå sin data på enten en mobil applikation og en hjemmeside, hvor de kan se en forståelig illustration af deres søvn data. Her skal det være tydeligt, at se søvnapnø tilfælde. Det sundhedsfaglige personale skal kunne tilgå en hjemmeside, hvor de kan se den rå data såvel som den fortolkede data.

BrugerGrænseflade

For at implementere løsningen, vil det være nødvendigt at designe brugergrænseflader til patienten og det sundhedsfaglige personale. Det sundhedsfaglige personale, vil have et behov for en større og mere kompliceret indsigt i dataen, samt en eventuelt mulighed for, at gemme dele af dataen så det kan overføres til patientens journal. Patients brugergrænseflade skal indeholde deres data, men også en pædagogisk fortolkning, der hjælper dem med at forstå dem selv og deres søvn. på figur: 6 ses et eksempel på iltmætning og søvn data der kunne illustreres på en brugergrænseflade.

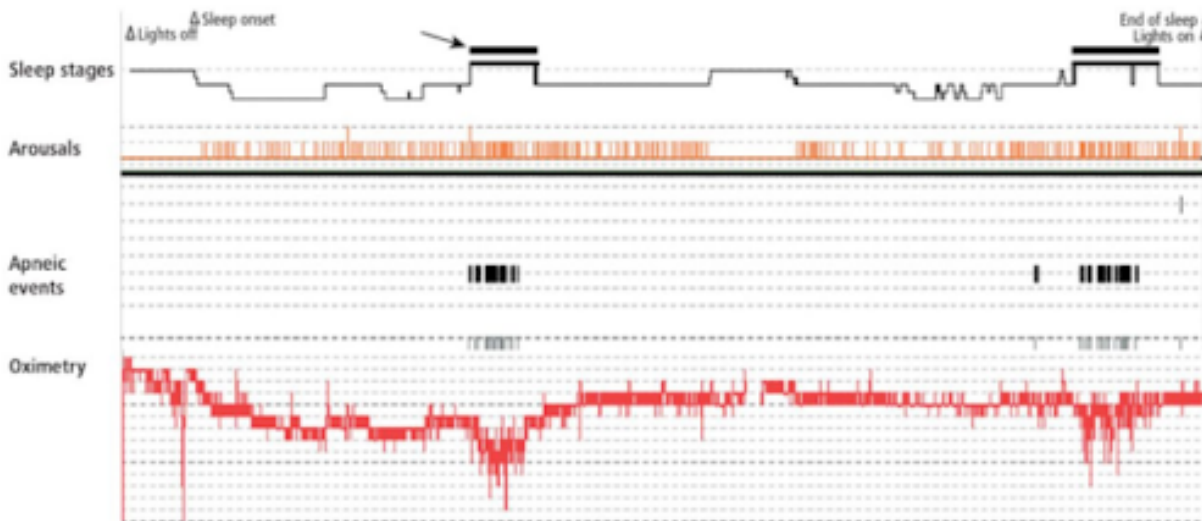


Figure 6: Søvnstadie graf

Vi har udarbejdet en mockup af vores applikation, som kan ses her:

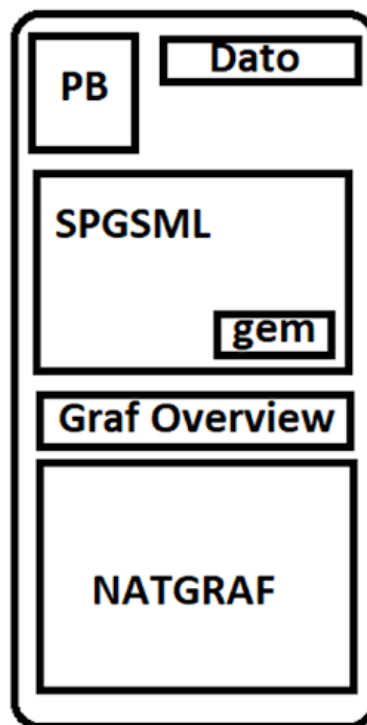


Figure 7: Software Mockup

Dette design af vores software er lavet på baggrund af, at kunden skal bruge så lidt tid som muligt på navigering. Derfor er der kun en side, der viser en graf for vejtrækningsrytmen, en graf med vores algoritme der viser, hvornår borgeren har haft en søvnapnø anfald. Derefter har vi også et standard multiple choice blok, som skal bruges til at indsamle PRO data. Til sidst har vi dato og borgerens profilbillede.

3 Metode

3.1 Population

Overordnet er produktet tiltænkt til at blive anvendt af to hovedgrupper. Diagnosticerede søvnapnøpatienter og patientgrupper med risiko for udvikling eller mistanke om søvnapnø.

Diagnosticerede patienter kan bruge produktet til at monitorere udviklingen af deres søvnapnø. Monitorering kan bruges som et hjælpemiddel til at justere eventuelt behandling af patientens søvnapnø. Heraf CPAP. Desuden kan produktet også være med til at tydeliggøre og motivere ved forbedring af sygdom og øget livskvalitet.

For patientgrupper med risiko for udvikling af søvnapnø kan produktet bruges til at gribe tidligt ind, hvis der vurderes tegn på søvnapnø og behandling kan derfor iværksættes tidligt for at undgå udvikling af slemmere søvnapnø. Patienter med disse tilstande er disponeret for søvnapnø[19]: hypoplasi af mandibel/maxil hyperplasi af tonsiller/adenoide vegetationer overvægt slimhindehævelser (allergi) nasal okklusion (septum) En stor andel af patienter med søvnapnø lider også af overvægt. Obstruktiv søvnapnø (OSA) forekommer hos 10-20% af mænd og 5-9% af kvinder. Obstruktiv søvnapnø-syndrom (OSAS) forekommer hos 4% af mænd og 2% af kvinder. Begge er estimater for den danske befolkning og har en relativ stor andel af befolkningen.[19] Desuden skal produktet være tilgængeligt for borgere, der ønsker at monitorere deres søvn. Dette er en nem måde, hvorpå borgeren kan skabe tryk om udeblivelse af sygdom uden at skulle forbi en læge. Eller i tilfælde af formodning om sygdom, kan blive opmærksom herpå og søge læge.

Hos de praktiserende læger, hos lungemedicinsk ambulatorium eller hos søvnklinikker, skal teknologien også være et værktøj, der skal være en nemmere måde for fagpersonerne at opnå compliance, da teknologien ikke generer patienten eller pårørende i samme grad som en CPAP-maskine gør.

3.2 RadioKommunikation[1]

Radiokommunikation er en måde at overføre information, i form af bits, igennem radiobølger som et alternativ til fysiske ledninger. Der findes en række forskellige teknologier der benytter radiokommunikation, såsom bluetooth, WIFI og mobilnetværk. Blandt disse kan der nævnes 4 overordnede kategorier: Wireless wide area network (WWAN), Wireless local area network (WLAN), Wireless personal area network (WPAN) og Wireless body area networks (WBAN). WIFI går under kategorien WLAN og bruges normalt i en husstand, bluetooth under WPAN og bruges mellem flere enheder indenfor få meters rækkevidde og mobilnetværk under WWAN der bruges op til mange kilometers rækkevidde.

Når forskellige afsendere og modtagere af netværkskommunikation skal kommunikere, findes der en række protokoller for, hvordan de skal gøre det. Hvis der kun findes én modtager og én afsender, kan der bruges Point-to-point protocol (PPP) eller high-level data link control (HDLC). Hvis man dog har en forbindelse, hvor der er flere enheder der skal forbindes på samme kanal, får man 'multiple access problem' og bliver nødt til at finde en orden, da alle enheder ikke kan bruge kanalen samtidig - ellers får man sammenstød og ingen enheder kan kommunikere. Man bruger derfor multiple access protocols, hvor der kan nævnes channel partitioning protocol, random access protocols og taking-turns protocols.

Når de forskellige modtagere og sendere skal kommunikere deres bits på, er der forskellige måder at gøre det igennem radiobølger på. Fasen på svingningerne kan skifte (faseskift), størrelsen på svingningerne (amplituden) kan ændres eller frekvensen af svingningerne kan ændres, altså om bølgerne svinger hurtigt eller langsomt.

Hvis man kigger på den afstand som radiobølger rejser, og antager at bølgerne rejser frit igennem rummet, skal man tænke på en kugle der bliver større og større, lidt ligesom en ballon man puster op. Kigger man på en rund ballon, så bliver den mere gennemsigtig og svagere jo større den bliver - Det samme med radiosignaler, jo større afstanden er mellem afsender og modtager, jo svagere bliver signalet modtageren får. Styrken af signalet, modtageren får, kan man regne ud med følgende formel[20]:

$$P_R(d) = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

Hvor P_r er den modtagne signaleffekt, P_t er power transmitted, G_t er transmitter gain, G_r er receiver gain, λ er bølgelængden, d er distancen og L er losses.

P_t angiver den energi der er tilført for at sende signalet. G_t og G_r er den forstærkning man får af et signal ved at koncentrere det i en retning fx med en parabol hos modtageren og afsenderen. L er en fællesbetegnelse for alle de faktorer der giver et tab af signalet og vil være lig med eller højere end 1.

Når man indsætter en modtager og afsender i virkeligheden, vil der oftest mellem eller omkring disse være vægge, metal eller andet materiale som vil dæmpe, interferere, forstærke eller forsinke signaler. Hvis man fx har en mobil nede i en kælder, vil signalet fra en mobilmast have sværere ved at nå mobilen og signalet bliver derfor dårligere. Omvendt, hvis man har en bluetooth højttaler i samme rum indendørs, kan man opleve at højttaleren virker på længere afstand

end udendørs, da væggene i rummet kan forstærke signalet mellem mobilen og højttaleren. For mobile enheder, der ikke er tilsluttet elnettet, er energiforbruget for radiokommunikationen meget interessant. Da mobile enheder har en begrænset mængde energi, hvortil deres batterier hurtigt kan øge vægten af enheden, kan radiokommunikation nemt blive et kompromis af en række faktorer. Jo lavere energi du bruger på at udsende radiobølger, jo større er sandsynligheden for at der kommer en bitfejl - altså at modtageren læser en bit forkert, da signalet ikke er stærkt nok og at der er for meget støj i signalet. Sandsynligheden for en bitfejl kan regnes ud med følgende formel[20]:

$$P_b = Q\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \quad (2)$$

hvor P_b er sandsynligheden for bitfejl, E_b er energi pr bit og N_0 er støjefekt spektral tæthed. Energi pr bit kan udregnes ved en yderligere formel[20]:

$$E_b = \frac{P_r}{R_b} \quad (3)$$

Hvor P_r er angivet i den første formel og R_b er bit hastigheden.

Afbilder man P_b som en logaritmisk funktion, får man følgende graf[20]:

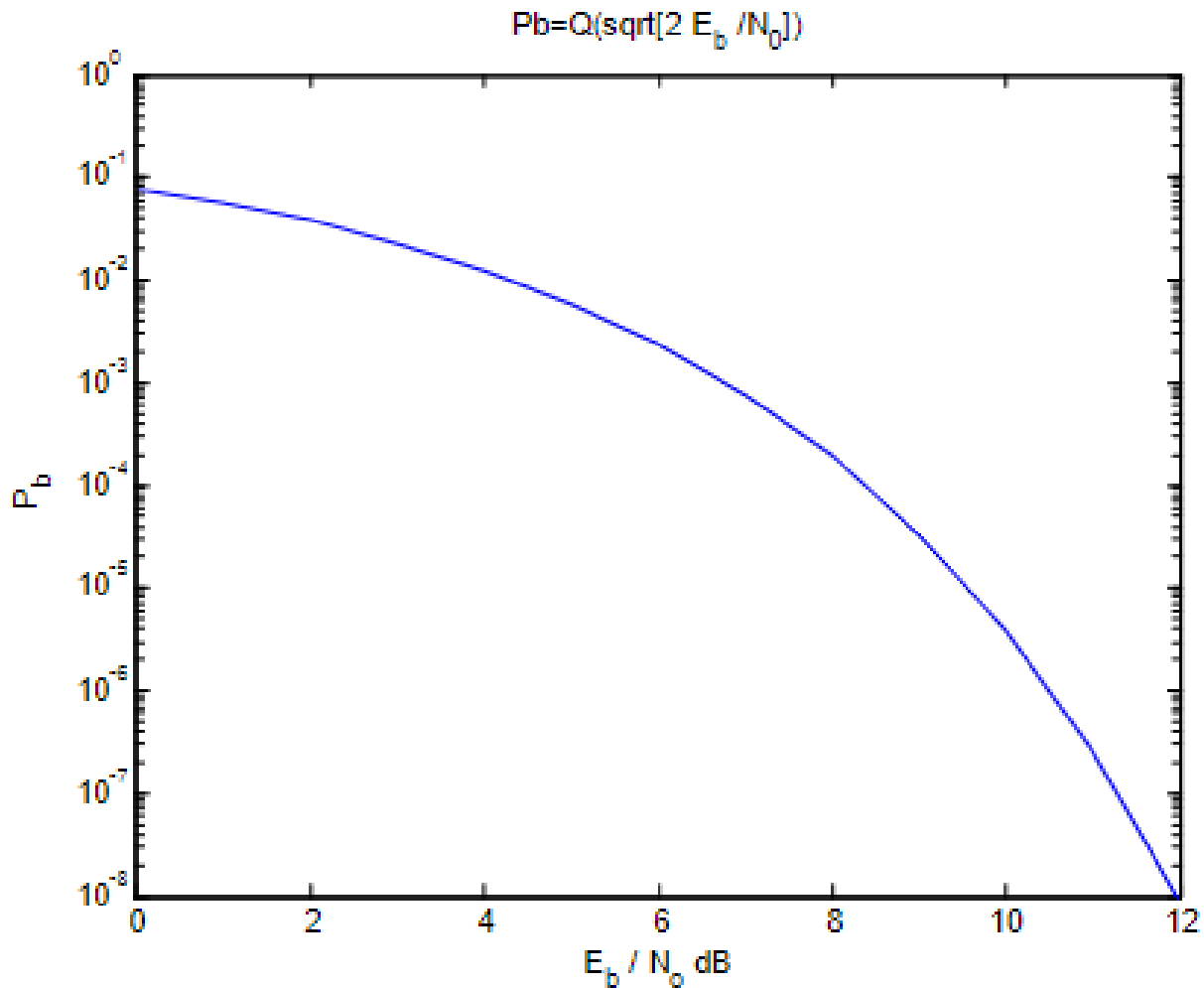


Figure 8: Bitfejlsandsynlighed ud fra energiforbrug pr bit

Denne graf gør det overskueligt at estimere bitfejlsandsynligheden ud fra energien brugt pr bit. Her kan man hurtigt se, at jo mere energi der bliver brugt pr bit, des lavere er sandsynligheden for bitfejl, men man kan også

hurtigt se, at der skal relativt meget energi til for at mindske bitfejlsandsynligheden en smule jo lavere bitfejlen skal være. Derfor bliver bitfejl og energiforbrug hinandens modsætninger, og en ligevægt der skal gå op, når man arbejder med mobile enheder.

Når man skal beregne styrken af det modtagne signal i kompleks rum, altså hvor man skal tage højde for svækkelse, resonance mfl. i fx et urbant miljø eller inde i bygninger, er der mange faktorer og påvirkninger på den modtagne styrke. Man bliver derfor nødt til at arbejde med relativt store usikkerheder og kan kun udregne et groft estimat af den modtagne styrke. For at udregne sit estimat, er der udregnet forskellige estimerede ratios for de forskellige forhindringer en radiobølge kan møde på sin vej. Disse kan man samle til en faktor, der kaldes product of the attenuation factors (PAF) og bruges i følgende formel for at udregne udbredelsestabet PL[20]:

$$\overline{PL}(d_A) = \overline{PL}(d_0) \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \prod PAF \quad (4)$$

Hvor n er estimeret udbredelsestabsekspONENTEN.

Efter at have fundet de forskellige estimater, er det relevant at finde den energi det kræver for afsenderen at sende en bit. Dette gøres med følgende formel[20]:

$$E_{bt} = PL \left(\frac{E_b}{N_0}\right) kT NF \quad (5)$$

hvor E_{bt} er den krævede energi pr bit sendt, k er Boltzmanns konstant, T er temperatur i kelvin og NF er støjfaktoren for modtageren og ligger normalt mellem 5 til 10.

3.2.1 Bluetooth

Bluetooth er en trådløs teknologi, der gør kommunikation mellem teknologier over kort afstand muligt. Bluetooth anvendes bl.a. ved trådløst tastatur, mus, hovedtelefoner, højttaler, smartphone og computer. Her er det essentielt at begge teknologier, der skal kommunikere, har Bluetooth indbygget.

Bluetooth benytter radiobølger for at oprette forbindelser mellem enheder, og når enhederne skal snakke sammen, så skal de parres. Denne kort afstandes netværk sker via piconet, hvor den ene enhed agerer som Master og den anden enhed som Slave. Piconet er dynamisk dvs. at hvis enheden bevæger sig længere end radiobølgernes rækkevidde, så frakobles forbindelsen automatisk, og modsat hvis du kommer i rækkevidden, så tilkøbes enheden.

Bluetooth har igennem årene udviklet sig og udvikler sig stadig. Dog har Bluetooth på det seneste udviklet sig således, at der er blevet sat fokus på batterilevetiden og dets længde.[1]

Ifølge MAC (Multiple Access Control) benytter Bluetooth Taking Turns Protocols. Det fungerer således, at der tillades kun en node af gangen for at undgå kollisioner.[1]

3.2.2 Wifi

WiFi er betegnelsen for et trådløst netværk. For at have forbindelse til trådløst internet bruges der en router. Routerens opgave er, at omdanne informationen til radiobølger som sendes henholdsvis på 2,5 og 5 GHz. Forbindelsen er mest trafikeret ved 2,5 GHz og kan derfor have indflydelse på hastigheden. 5GHz forbindelsen er mindre brugt og derfor relative hurtigere, dog har denne forbindelse ikke den stor rækkevidde som førnævnte.[1]

WiFi signalet kan forbindes til diverse apparater. Det kan blandt andet være en computer, en bærbar, et TV, en tablet, en mobiltelefon og en printer. Et WiFi signals rækkevidde kan strække sig op til omkring 100 meter, dog kan denne rækkevidde begrænses af flere faktorer. Hvis afstanden mellem router og apparatet der skal bruge forbindelsen er stor, kan der forekomme forhindringer. Disse forhindringer kan være bl.a. være støj, trådløse telefoner, mikrobølgeovne, musik anlæg, murstensvægge og babyalarmer osv. I denne forbindelse kan man eventuelt bruge en WiFi extender, som forlængere signalet, og dermed skaber en mere stabil forbindelse.[1]

Fordelen ved at bruge WiFi signalet er, at man kan komme på internettet uden kabler, og dermed giver det nemmere adgang. Ulempen vil være at hastigheden kan være påvirket, og at der kan opstå støj og radiobølger forstyrrelser.[1]

Hvis man oplever en forringet internetforbindelse, så kan man anvende et Access point. Access point er WiFi "extender" som hjælper med at udbrede netværket til de hjørner/steder der mangler trådløse forbindelser. Spørgsmålet er så, hvad forskellen er på en router og en Access point. En router er tilsluttet til dit internet og herfra sendes et trådløst signal ud dermed har man en WiFi forbindelse. Access point kan bruges når afstanden til router er stor,

typisk på skoler og virksomheder. Her placeres et Access point i hvert klasseværelse eller kontor og dermed opnår man et stabilt internet dækning. Access point kan alene ikke skabe et trådløst internet, men derimod giver adgang til internettet, da den er forbundet til en router.[1]

Da WiFi ikke benytter en dedikeret forbindelse mellem afsender og modtager, kan flere stationer få adgang til kanalen samtidigt. Dette kan undgås ved brug af kommunikationsprotokoller, for at mindske kollision og undgå krydstale. Ifølge MAC (Multiple Access Control) er der forskellige protokoller:

- Random Access Protokol
 - Tillader kollisioner
- Taking Turns Protokol
 - Nodes tager tur for at undgå kollisioner
- Channel Partitioning Protokol (TDMA/FDMA/CDMA/SDMA)
 - Deler kanaler i mindre stykker

WiFi benytter Random Access Protokol, hvor denne protokol ikke prioriterer den ene enhed frem for den anden, og dermed tillader kollisioner. Specifikt så er Random Access Protokollens opgave, at detektere kollisioner og derefter gendanne kommunikationen derefter.

3.2.3 Mast netværk[1]

Bliver brugt af mobile enheder, såsom iPhones og Android-mobiler. Desuden er det også muligt at tilslutte tablets, computere, biler eller andre teknologier, der kunne drage nytte af WWAN.

Rækkevidden for cellulære netværk kan være mange kilometer, og afhænger af blandt andet af antallet af tilsluttede mobile enheder. Der findes 3 generationer af WWAN (3G, 4G og 5G), der er mest udbredte. 4G er den mest udbredte af disse 3, men 5G er relativt nyt og den er stadig ikke så udbredt. Adgangen til disse netværk kræver et SIM-kort i den mobile enhed, samt et abonnement fra netværkets udbyder.

3.3 Klinisk studie

For at vurdere effekten af vores telemedicinske løsning, har vi udført et klinisk studie, der er opsat således:

3.3.1 Formål

Formålet med studiet er at undersøge compliance ved brug af vores telemedicinske løsning i forhold til den nuværende løsning, samt undersøge quality of life.

Dette studie er bygget op omkring søvnapnø, telemedicin og dets indflydelse på borgere som har denne kroniske sygdom. Der er mange som lider af søvnapnø, og den mest udbredte løsning er en CPAP, som man skal have på når man sover. Denne maskine, larmer og er obstruktiv for borgeren, og samtidig har borgeren ikke lyst til at anvende den, så der er lav compliance. [21] Derfor vil vi undersøge om brug af telemedicin, kan resultere i en forbedring i compliance i patientgruppen med søvnapnø, som ikke ønsker at anvende en CPAP maskine, og vurderer denne effekt i en regulær CPAP behandling som der benyttes i øjeblikket.

3.3.2 Rationale

Vores Studie er baseret på, at der under et søvnapnø forløb bliver brugt CPAP og MAD, hvor borgeren skal sove med dem på. CPAP er den mest udbredte, dog ses det at fordi den er for invasiv, er der generelt en meget lav compliance. [21] MAD er et alternativ for CPAP, som giver lidt mindre effekt, men er lidt mindre invasivt, og derfor giver den bedre QOL. Dog ses der stadig at compliance er lav også. [22] Dvs. at vi har to gode teknologier til OSA, som kan hjælpe med brugerens søvnkvalitet, men der generelt er at en lav compliance over begge forløb. Der er dog en løsning, som er brugen af telemedicin til monitorering af forløbene og brugerens compliance. Der ses generelt en stigning i compliance, ved blot at bruge en telemedicinsk device til at monitorere borgeren.[23]

3.3.3 Metode

I dette 16 uger lange studie, vil vi undersøge effekten af at indføre en telemedicinsk løsning, til at monitorere borgerens OSA og compliance i deres forløb med en CPAP eller MAD og telemed.

- Randomiseret tilgang

- Undersøge målte antal søvntimer med udstyr
- Samplingstørrelse
- Quality of life spørgeskema (WHOQOL)

3.3.3.1 Randomiseret tilgang

I dette studie har vi et behov for at have 2 grupper. Den første gruppe skal bruge deres nuværende løsning med CPAP og holde deres regulere lægebesøg. Det vil sige at den første gruppe ikke skal gøre noget anderledes end det de allerede gør. Den anden gruppe skal derimod bruge vores løsning istedet for den nuværende løsning. For at vi ikke selv kan manipulere resultaterne, ved at placerer mere compliant personer i en bestemt gruppe, vil behandlingen randomiseres. Vi vil ikke give forsøgspersonerne muligheden for selv at vælge en gruppe, da dette vil kunne medfører, at de valgte den gruppe de helst ville være i.

3.3.3.2 Undersøge målte antal søvntimer med udstyr

For at undersøge compliance gør vi brug af en primær parameter, som er antal målte søvntimer ved af brug af den telemedicinske løsning. Dette gør, at vi får en kvantitativ måleparameter, som vi objektivt kan forholde os til. Derudover bruge vi følgende definition på compliance *"usage >5 d/wk and for >4.5 hours per night"* til at opstille en binormal fordeling.

3.3.3.3 Samplingstørrelse

For at bestemme hvor mange forsøgspersoner vi skal have skal vi udfører en powerberegning. Til at udføre en powerberegning, kræver det at man har nogle specifikke værdier. Det er følgende værdier man skal bruge, for at beregne det: Middelværdi, standardafvigelse, delta, power og signifikantsniveau. Alt dette skal gøre ift. en parameter, hvilket i vores tilfælde er antal compliance timer. Dette er vores værdier:

- Middelværdi = 3.8
- SD = 3.4
- Delta = 0.7
- Power = 0.8
- Signifikantsniveau = 0.05

Selve powerberegningen udføres i R og kan ses nedenfor:

```
> power.t.test(sd=3.4, d = 0.7, sig.level =0.05 , power =
0.8)
```

Two-sample t test power calculation

```
      n = 371.3018
    delta = 0.7
      sd = 3.4
sig.level = 0.05
  power = 0.8
alternative = two.sided
```

NOTE: n is number in *each* group

Figure 9: Power Beregning R-studio

Derfor kan vi nu udfra de fornævnte værdier, konkludere at antallet af forsøgspersoner på bør være 372, for at have en power på 0.8. Derved har vi 186 forsøgspersoner i hver gruppe.

3.3.3.4 Quality of life spørgeskema (WHOQOL)

Tidligere blev der nævnt, at der vil blive målt på compliance ved at se på antal timer som borgeren anvender produktet, og ifm. dette mener vi at et Quality of life spørgeskema vil fungere godt. Dette vil resultere i, at man både har noget objektivt og subjektivt at forholde sig til. Så for at få noget kvalitativt at forholde os til, beder

vi også borgeren om at udfylde et Quality of life spørgeskema hver 2. uge. Det spørgeskema, som vi gør brug af er "WHOQOL"[24], hvilket kommer fra WHO. Desuden skal borgerne jo ikke selv indskrive deres compliance, idet at det sker automatisk, dvs. det eneste borgerne skal er at anvende produktet dagligt og udfylde Quality of life spørgeskemaet (WHOQOL) hver anden uge.

3.4 Resultat

I dette underafsnit vil vi præsentere følgende resultater

- Bestemmelsen af batteristørrelsen og den trådløse kommunikations protokol.
- Vores resultater fra vores kliniske studie.

3.4.1 Resultat fra beregninger omkring batteri-levetid

Det første resultat vi vil præsentere, er det tekniske resultat mht. produktets batteri-levetid. Vi startede med at udregne den maksimale header størrelse for både Bluetooth, WiFi og 4g LTE. Dette gjorde vi, for at være på den sikre side, idet at hvis headeren er sin maksimale størrelse, så er beregningerne ikke misvisende i den forstand, at der vises en for lang batterilevetid. Disse headers tog vi så udgangspunkt i, og lagde dem hver især sammen med størrelsen på dataen der skal sendes. På den måde får vi den maksimale pakkestørrelse der kan afsendes fra vores produkt, hhv. vha. de nævnte protokoller. Dette kan ses under:

WIFI				Mast			
Stack	Protokol	HeaderSize		Stack	Protokol	HeaderSize	
Application	HTTP	60 bytes	[1]	Application	HTTP	60 bytes	[1]
Transport	TCP	20 bytes		Transport	TCP	20 bytes	
Network	Ipv6	40 bytes		Network	Ipv6	40 bytes	
Link	802.11n	34 bytes		Link	4G LTE	64 bytes	
Physical				Physical			
Total		154 bytes		Total		184 bytes	

Bluetooth	
Bluetooth	Headersize [25]
Specifikation	16 bytes

Table 1: Header bestemmelse

Payload					
Årsag	Bits				
Respirations	60	Faktor	Bluetooth	Wifi	Mast
Frekvens		PAF	7	7	7
SpO2	7	n	3	3	2,7-3,5
Skillebits	5				
Total Bits	72				
Total Bytes	9				

Table 2: Data bestemmelse

Derefter har vi anvendt formlerne, som blev nævnt i punkt 3.2. Vha. disse har vi lavet en Maple skabelon, hvori formlerne indgår. Ved brug af skabelonen, har vi så formået at beregne batterilevetiden, ved brug af de 3 protokoller. De variabler som der skal ændres i de 3 beregninger, er frekvens, maks afstand, packet size og n. Resten af variablerne er nemlig ens, herunder PAF, temperatur, Noisefactor, BatterVolt, BatterAmp og antal batterier. Disse værdier har vi fundet med litteratur og empiri.[1, 25, 26, 27]

Ift. batteriet har vi valgt at anvende et knapcelle batteri, idet vi mener at et større batteri ikke vil være særlig praktisk på sådan et produkt. Knapcellebatteriet vi tager udgangspunkt i, er et CR2032 (3V, 220 mAh) Derudover har vi antaget at vi ser bort fra connection bytes, idet vi mener at størrelsen på connection bytes er så lille, at det har en minimal påvirkning på en dataoverførsel der varer 8 timer. Beregningerne for hhv. Bluetooth, Wifi og Mast kan ses i følgende bilag: 1

Nu gennemgås de delkonklusioner vi kom frem til med de forskellige protokoller, ud fra beregningerne i bilag: 1.

3.4.1.1 Bluetooth Man kan se, at idet vi har med bluetooth at gøre, så er den maksimale afstanden ikke særlig stor ($d = 50\text{m}$) og bitraten er også lav ($R_b = 3.33 \text{ b/s}$) ift. afstanden og bitraten for de to andre beregninger, som gennemgås i følgende afsnit. Dette kommer tydeligt til udtryk ved, at vi får en meget lang batterilevetid, selvom vi kun bruger et knapcelle batteri (3V, 220 mAh). Derfor valgte vi så, at gøre sandsynligheden for pakkefejl meget mindre (Fra en $\text{PacketErrorProbability} = 10^{-2}$ til en $\text{PacketErrorProbability}$ på $=10^{-8}$), idet vi vurderede, at batterilevetiden er så stor, så vi godt kan gøre sandsynligheden for pakkefejl endnu mindre, uden det har en alt for stor effekt på batterilevetiden. Hermed får vi en batterilevetiden på ca. $3.88 \cdot 10^6$ timer. Dette er selvfølgelig ikke hvordan det vil se ud i virkeligheden, idet der også er et anden væsentlig parameter, som kræver energi, altså led pæren. Evt. problemer er også, at brugerens mobil, løber tør for strøm, eller bliver placeret uden for bluetooths rækkevidde, og derfor er det relevant også at undersøge en lignende kommunikationsprotokol, som bla. har en længere rækkevidde. Dette regner vi så på nedenfor, hvor der ses på WiFi protokollen.

3.4.1.2 Wifi Hvis man sammenligner Wifi overførslen med bluetooth, kan man se at batterilevetiden falder markant til ca. 216659 timer, på baggrund af en større packetsize samt øget afstand. Vi mener dog, at dette ikke er et problem da batterilevetiden stadig er tilstrækkelig stor. Havde den skulle overføres igennem en torso, faldt dette timeantal til 2166.

3.4.1.3 Mast Hvis vi skal bruge 4g LTE, på den gennemsnitlige afstand mellem telefonmasterne, som vi selv har udregnet, ud fra antallet af telefonmaster og størrelsen af danmark i kvadratkilometer. Bliver vi nødt til at anskaffe os et væsentligt større batteri.

Havde vi dog været nærmere på en telefonmast, ændre strømforbruget sig markant, da der så ikke er tale om en lineær proportionalitet. Havde vi f.eks. været i en større by falder den gennemsnitlige afstand sig markant. Derfor lavede vi udregningerne igen, denne gang med et kvalificeret gæt med en gennemsnitlig afstand på 400 meter, ud fra vurderet afstand på mastedatabasens kort over København.

Så det betyder, at hvis vi er på en afstand af 400 meter, kan vi bruge knapcellebatteriet med en packet error probability på 10^{-8} og få 1435 timers brug ud af det samme batteri. Problemet er dog, at hvis man ikke befinder sig i en 400 meters afstand, falder batteriets levetid markant, hvis vores produkt automatisk indstiller sig den rigtige Packet error probability, samt at der er et ukendt antal af path attenuation loss faktorer, som vi ikke kender til.

3.4.1.4 Delkonklusion af resultater fra beregninger I de ovenstående afsnit har vi afprøvet forskellige kommunikationsprotokoller til vores trådløse overførsel, herunder Bluetooth, WiFi og 4g LTE. På baggrund af vores delkonklusioner til de enkelte kommunikationsprotokoller, må vi konkludere, at trådløs overførsel til mobilmasterne ikke er en funktionel løsning, medmindre at man befinder sig inde i en større by. Dette er fordi, at hvis afstanden d , bliver for stor, så er batterilevetiden ikke tilstrækkelig. Derved står vi tilbage med 2 løsninger, som begge ville virke, bluetooth og wifi.

Den løsning vi umiddelbart synes virker bedst er Wifi, da selv hvis Bluetooth har en længere levetid, så er Wifi's levetid tilstrækkelig. Udover dette har wifi ingen problemer eller evt. fejlkilder, som der ikke også er tilstede i bluetooth, da bluetooth skal indeholde et mellemlid (telefon eller device), som bruger wifi. Deraf får vi en tilstrækkelig batterilevetid samt tilstrækkelig dataoverførsel, med så få fejlkilder, som muligt. For at bruge wifi, bliver vi dog nødt til at opstille det telemedicinske produkt således, at det har internet adgang. Dette gør vi med et kabel og en mobil der har vores app. Efter at der så er skabt en internetadgang, overfører vi dataen via Wifi.

Parameter ændring

Da vi gerne vil afprøve en rigtig case, ved brug af Wifi protokollen, bliver vi nødt til at kigge på nogle forskellige parametre. Disse parametre bliver følgende:

- Overfører igennem en krop, hvis man lægger sig på maven.

På baggrund af vores litteratur, vurderes der at path loss igennem en krop ligger et sted imellem 10-20dB, afhængigt af størrelsen af personen, samt afstanden til senderen. [28] Derfor vil vi nu foretage Wifi beregningerne igen, hvor vi også inkluderer de 20 dB, idet vi vælger den højeste værdi, for at være på den sikre side. Disse beregninger kan ses i følgende bilag: 1

3.4.2 Resultat fra Klinisk studie

Vi opnåede en højere compliance ved brug af vores løsning og en højere quality of life.[29]

Study Results			
	Compliance	Noncompliance	WHOQOL [23, 30]
CPAP	115	71	65
MAD/Telemed	151	35	82

Table 3: Resultaer fra klinisk studie

4 Diskussion

4.1 Resultat Diskussion

I dette afsnit vil vi diskutere følgende afsnit fra metode afsnittet:

- Klinisk studie
- Batteri-levetid beregninger

4.1.1 Klinisk Studie

I dette afsnit vil vi diskutere vores klinisk studie. Dette indebærer, at vi diskuterer følgende:

- Effekt
- Konklusion
- perspektivering

4.1.1.1 Effekt

Gruppen der brugte det telemedicinsk produkt opnåede en højere compliance i forhold til den nuværende løsning på:

$$\frac{151}{115} - 1 = 31.3\% \quad (6)$$

samt en højere quality of lifecore ifølge WHOQOL på

$$\frac{82}{65} - 1 = 26.2\% \quad (7)$$

Deraf vil vi mene at vores produkt kan øge compliance samt quality of life.

4.1.1.2 Konklusion

Ifølge andre studier bliver der vist, at Mandibular advancement devices har en effekt, der er omkring lige så god som regulær CPAP behandling, og at vi kan vise, at vi øger compliance samt quality of life,[22, 31, 29] vil vi mene, at det giver rigtig god mening, at investere yderligere i vores løsning. Man ville senere kunne lave ekstra studier, der er kunne vise en direkte forbedring i antallet af søvnapnø anfald og estimeret livstids, samt at man evt. kunne lave et studie, hvor man bruger vores telemedicinske løsning i sammenspil med CPAP behandling. På baggrunden af rationale og effekt, giver det mening at investere yderligere i produktet, både økonomisk men også for borgernes skyld, idet vi kan se, at vores løsning med MAD kun har en smule mindre effekt, dog ses der en øget compliance og gladere borgere.

4.1.1.3 perspektivering

I fremtiden ville produktet ikke mindst kunne bruges som et alternativ til regulær CPAP behandling, men også bruges i sammenhæng med CPAP behandling, for netop at øge compliance hos denne gruppe, imens man stadig kan få målgruppen med, som har en lav compliance af CPAP, til at søge en alternativ form for behandling.

4.1.2 Batteri-levetid beregninger

4.1.2.1 Initiale tanker ift. batteri Da vi begyndte på at udfører beregningerne, bemærkede vi hurtigt at idet vi transmitterede så lidt data, at der ikke var et behov for et stort batteri, hvilket vi oprindeligt overvejede, for at øge batterilevetiden. Dog fandt vi hurtigt ud af, at et knapcelle batteri var rigeligt, idet at vi ifølge beregningerne havde gode batterilevetider, selvom vi brugte et knapcellebatteri, som også giver mere praktisk mening istedet for at stort batteri.

4.1.2.2 4g LTE fravælges Dog var batterilevetiden ikke særlig høj hvis vi gjorde brug af 4g LTE, med et knapcellebatteri, så den løsning måtte vi udelukke.

4.1.2.3 WiFi vælges frem for Bluetooth Både Bluetooth og WiFi beregningerne resulterede i gode batterilevetider, men den maksimale afstand, ved brug af Bluetooth, mente vi ikke var optimal, idet at borgeren så afhænger af at have en tændt telefon eller device i nærheden. Derfor valgte vi så at gå med WiFi, idet den maksimale afstand var tilfredsstillende, samt at batterilevetiden også var tilfredsstillende.

Desuden har vi valgt at se bort fra connection bytes i beregningerne, idet at når der foregår en datatransmission i 8 timer, så mener vi at effekten, som connection bytes har ikke er særlig stor.

4.2 Fejlkilder

1. Beregninger af energiforbrug og batterilevetid
 - Grove estimater
 - Udregninger lavet i ekstreme tilfælde
 - Undlade energiforbruget for andre dele af produktet
 - Ikke at taget højde for transmitter- og receivergains
2. Ikke at tage højde for sammenhængende søvn kontra periodisk søvn, samt mængde af rem-søvn med i vores powerberegning
3. Ikke at udføre test for et fysisk produkt
4. Udføre studiet i projektet

4.3 Disruptiv Innovation

Clayton Christensen identificere disruptiv innovation som en af nøglerne til at reducere omkostningerne og hæve kvaliteten af behandlingen for det stigende antal patienter med kroniske sygdomme[32]

Clayton Christensen klagøre hans definition af disruptiv innovation i Harvard Buisnes Review som:
"Disruption beskriver processen hvorved en mindre virksomhed med færre ressourcer, er i stand til at succesfuldt udfordre etablerede siddende virksomheder. Specifikt mens de siddende virksomheder fokuserer på at forbedre deres produkter og services til deres mest profitabel kunde segment, og overlevere til nogle segmenter og forsømmer andre. Hvis mindre virksomheder skal være disruptive, skal de fokusere på disse oversete segmenter, for at få fodfæste på markedet, ved at tilbyde en bæredygtig og funktionel løsning til en billigere pris. Når mainstream kunder begynder at adoptere den nye virksomheds løsning, er disruption opnået"[33]

På baggrund af denne definition kan der diskuteres, hvorvidt vores innovation er disruptiv. Først og fremmest fokuserer vores løsning på segmenter der bliver overleveret til(dem med milde symptomer som får CPAP), og det ignorerede segment(Det store antal udiagnosterede borgere med OSA). Løsningen imødekommer skalerings udfordringen, der opstår i sammenhæng med det stigende antal ældre og derfor kronikere. Sundhedsvæsenet vil være tvunget til at gøre brug af billigere alternativer, som vores, i stedet for de nuværende behandlings strategier. Yderligere vil vores innovative løsning kunne omgå sundhedsvæsenet, og give borgeren muligheden for selv at købe et diagnostisk værktøj. Den vil altså kunne indgå i bunden af det eksisterende marked, og langsomt udkonkurrere etablerede løsninger. Det kan dog diskuteres om disruption allerede er opnået, da sundhedsvæsenet efterspørger borgercentriske telemedicin, til behandling af kroniske sygdomme. Denne efterspørgsel er dog ikke blevet tilfredsstillet endnu, og den er derfor endnu ikke adopteret.

4.3.1 Skalerbarhed

Når det kommer til spørgsmålet om skalerbarhed, er det vigtigt at identificere de primære flaske halse under skalleringen. Der vil først og fremmest være en omkostning i at udvikle applikationen, hjemmesiden og serveren. Dette er et stort engangsbeløb, som skal betales før der er nogen form for indtægt. Når denne initiale udfordring er overkommet, skal den blot serviceres og udvides efter behov, da en server kan varetage mange brugere. Dernæst vil der være en udgift pr. borger der skal have deres egen monitor, men her vil der være en tilhørende indtægt pr. borger. Der vil derfor være lidt i vejen for ekspansion, når først løsningen succesfuldt er kommet på markedet. Det skal dog ikke underspilles udfordringen i, initielt at få løsningen på markedet, da kulturelle udfordringer kan hindre accepten af løsningen både af borgere, men også sundhedssektoren.

Det er også relevant at drage paralleller til eksisterende telemedecinske virksomheder, der arbejder med kroniske sygdomme som eks Epitalet, der grundlægger deres behandling omkring The Epital Care Model, der kan fungere som et framework for andre løsninger, såsom vores[34]

4.3.2 Buisness model

Forretningsmodellen for den telemedecinske løsning, kan både designes til at sælges til privat personer eller klinikker. I begge tilfælde skal der være en førstegangs ydelse og et månedligt kontingent. Eksempelvis kunne en privat person bruge vores service til at fortage hjemme monitorering, få analyse af deres søvn data og bestille tid ved en søvn specialist, hvis nødvendigt. Et andet eksempel ville være klinikker, der køber servicen og bruger den på deres patienter, som en del af deres behandlings strategi. Udgifterne vil være produkt udvikling, service/support personale og indkøb af alternative behandlinger. Udbydere af disse alternative løsninger vil være nøglepartnere, da de tilføjer stor værdi. Kunde segmentet vil bestå af Klinikker, regioner og privat personer med søvn problemer.

Vores value proposition til disse er:

- Øget compliance
- Flere kunder pga. et attraktivt alternativ til CPAP
- Diagnosticering
- Effektivisering af arbejdsgang
- Øget autonomi til borgeren

Det vil være vigtigt for forretningsmodellen, at der yderligere investeres i research og udvikling for løbende at videreudvikle og øge kvaliteten.

5 Konklusion

Vi kan hermed konkludere at vi har udviklet en borgercentrisk disruptiv telemedicinisk løsning der kan monitorer, diagnosticere og bidrage til behandlingen af søvnapnø. Denne løsning har potentialet til grundlæggende at ændre tilgangen til behandling af søvnapnøpatienter i det danske sundhedsvæsen.

Vi kan derudover konkludere at det negligerede segment, patientgruppen der dårligt tolererede CPAP og havde lav compliance, har fået et nyt værktøj (mandibular advancement devices), der passer til deres behov og giver dem en signifikant højere compliance og dermed behandling.

Dette produkt har potentialet til at disrupte markedet og bidrage til et paradigmeskift indenfor behandlingen af søvnapnø. Vores løsning er også forberet på en evt. drastisk opskalering og derved kan vi potentielt give alle søvnapnøpatienter deres autonomi tilbage igennem betydelig øgning af deres livskvalitet.

Dette kan vi gøre på baggrund af både tekniske beregninger samt et klinisk studie. Ift. de tekniske beregninger, har vi undersøgt forskellige potentielle løsninger, og kom på baggrund af en masse overvejelser frem til at WiFi vil fungere bedst til vores produkt. Ift. det kliniske studie fik vi undersøgt compliance ift. timer samt. Quality of life, hvori compliance timer så var den primære parameter, som vi også baserede styrke beregningen på. Ud fra dette kliniske studie kom vi frem til, at vores produkt fik compliance til at stige med 31.3% og WHOQOL værdien til at stige med 26.2%.

Byrdefordeling

Efter ønske fra Roger, har vi tilføjet en byrdefordeling

Byrdefordeling	
Afsnit	Ansvar
Baggrund	
Formål	Shiv & Troels
Hvad er søvnapnø	Andreas & Mo
Pris for samfund	Andreas & Mo
Økonomisk	Andreas & Mo
Social	Andreas & Mo
Sikkerhed	Andreas & Mo
Nuværende løsning	Andreas & Mo
Fremtidens sundhedsvæsen	Andreas
Fremtidssikret Løsning	Andreas
Innovativ Løsning	Andreas
Design af telemedicinsk løsning	Naveed & Andreas
BorgerCentrisk Løsning	Naveed
Hardware	Naveed & Andreas
Software	Naveed & Andreas
Metode	
Population	Jesper
RadioKommunikation	Jesper & Mo
Bluetooth	Mo
Wifi	Mo
Mast	Jesper
Klinisk studie	Shiv, Naveed & Troels
Resultat fra klinisk studie	Shiv, Naveed & Troels
Resultat fra beregning om batterilevetid	Shiv & Troels
Diskussion	
Resultat diskussion	Shiv, Naveed & Troels
Klinisk studie diskussion	Shiv, Naveed & Troels
Beregninger om batterilevetid diskussion	Shiv & Troels
Fejlkilder	Jesper
Disruptiv innovation	Andreas
Skalarbarhed	Andreas
Primær sekundær sektor	Mo
Buisness model	Andreas
Opsætning af latex	Troels
Beregninger	Shiv & Troels
Korrekturlæsning	Andreas, Naveed, Shiv, Jesper, Mo & Troels

Søge Protokol

Vi har til baggrund af vores kliniske studie, været nødt til at søge empiri. Derved har vi brugt denne protokol

Inklusions- og eksklusionskriterier	
Sprog	Dansk, Engelsk
Tidsinterval	2005- 2022
Inklusion	Metastudier
Eksklusion	
Informationskilde: Pupmed	Søgedato: 21-03-2022
Søgestreng	Relevante hits
(Compliance) AND (CPAP)	34
(CPAP) AND (Alternative)	21
(Sleep Apnea) AND ((Telemedicine) OR (Telecare))	3
(mandibular advance devices) AND (customization)	4
(Sleep Apnea) AND (Pulse oximetry)	10
(Compliance) AND (CPAP) AND (Mild symptoms)	2
(Telemedicine) OR (telecare)	32

References

- [1] James F. Kurose and Keith Ross. *Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th Edition*. Pearsons, 2017.
- [2] Annette Walsøe Torup Arne Lykke Viborg. *Sygdomslærer 3. udgave*. Hånden på hjertet. Forfatterne og Munksgaard, 2019.
- [3] Webgruppen på Rigshospitalet. Søvnnapnø. <https://www.rigshospitalet.dk/afdelinger-og-klinikker/neuro/hjerne-og-nerveundersogelser/dcss/information-om-sygdomme/Sider/sovnnapno.aspx>. (accessed: 05.05.2022).
- [4] Jan Ovesen-Hans Christian Kjeldsen-Michael Lüscher-speciallæge. Søvnnapnø. <https://www.sundhed.dk/sundhedsfaglig/laegehaandbogen/oere-naese-hals/tilstande-og-sygdomme/soevn/obstruktiv-soevnapnoe/>. (accessed: 05.05.2022).
- [5] medicinsktidsskrift.dk MAIKEN SKEEM. 200.000 lider af udiagnosticeret søvnnapnø. <https://medicinsktidsskrift.dk/behandlinger/diagnostik/2209-200-000-lider-af-udiagnosticeret-sovnnapno.html>. (accessed: 29.04.2022).
- [6] Poul Jennum and Jakob Kjellberg. Health, social and economical consequences of sleep-disordered breathing: a controlled national study. *Thorax*, 66(7):560–566, 2011.
- [7] Birgit Brunsted. Søvnnapnø koster danmark mindst tre milliarder om året. <https://sundhedspolitiktidsskrift.dk/nyheder/3293-sovnnapno-koster-mindst-tre-milliarder-om-aet.html>. (accessed: 29.04.2022).
- [8] the Division of Sleep Medicine at Harvard Medical School. Personal societal consequences. <http://healthysleep.med.harvard.edu/sleep-apnea/living-with-osa/persona-societal>. (accessed: 29.04.2022).
- [9] Sergio Garbarino, Ottavia Guglielmi, Claudio Campus, Barbara Mascialino, Domenico Pizzorni, Lino Nobili, Gian Luigi Mancardi, and Luigi Ferini-Strambi. Screening, diagnosis, and management of obstructive sleep apnea in dangerous-goods truck drivers: to be aware or not? *Sleep Medicine*, 25:98–104, 2016.
- [10] Kristine Bertelsen. Søvnnapnø, behandling. <https://www.rigshospitalet.dk/afdelinger-og-klinikker/neuro/hjerne-og-nerveundersogelser/dcss/undersogelse-og-behandling/Sider/sovnnapno>, (accessed: 29.04.2022).
- [11] Maria R. Bonsignore, Monique C. Suarez Giron, Oreste Marrone, Alessandra Castrogiovanni, and Josep M. Montserrat. Personalised medicine in sleep respiratory disorders: focus on obstructive sleep apnoea diagnosis and treatment. *European Respiratory Review*, 26(146), 2017.
- [12] Pietzsch-Jan B., Garner-Abigail, Cipriano-Lauren E., and Linehan-John H. An Integrated Health-Economic Analysis of Diagnostic and Therapeutic Strategies in the Treatment of Moderate-to-Severe Obstructive Sleep Apnea. *Sleep*, 34(6):695–709, 06 2011.

- [13] gyldendal. Sundhedsvæsnets opbygning. <https://socialogsundhedshjaelperensrolle.ibog.gyldendal.dk/?id=144>. (accessed: 06.05.2022).
- [14] Betina Højgaard og Jakob Kjellberg. Fem megatrends der udfordrer fremtidens sundhedsvæsen. *KORA Det Nationale Institut for Kommuner og Regioners Analyse og Forskning*, 2017.
- [15] Klaus Phanareth-Henrik W. Bendix-Mette Worsøe-Michael Møller Annette Wandel m.fl. *Fremtidens Hospital*. Saxo, 2014.
- [16] Michael Chan-Venu G. Ganti. Enabling continuous wearable reflectance pulse oximetry at the sternum. *Pub-Reader*, 2021. accessed: 30.04.2022.
- [17] Collin Schreiner-Philip Catherwood-John Anderson-James McLaughlin. Nibec, university of ulster, newtown-abbey, northern ireland intelesens ltd, belfast, northern ireland. *cinc*, 2010. accessed: 30.04.2022.
- [18] Fabiola Araujo. Graphic design of respiratory sensor in the starting position. <https://www.researchgate.net/figure/Graphic-design-of-respiratory-sensor-in-the-starting-position/fig20254707074>. accessed : 30.04.2022.
- [19] Jan Ovesen overlæge Capiro CFR-Skørping m.fl. Søvnapnø. <https://www.sundhed.dk/sundhedsfaglig/laegehaandbogen/oere-naese-hals/tilstande-og-sygdomme/soevn/obstruktiv-soevnapnoe/>. (accessed: 06.05.2022).
- [20] Roger. Formler-planche. <https://learn.inside.dtu.dk/d2l/le/content/103342/viewContent/421072/View>. (accessed: 06.05.2022).
- [21] J.Levi M.Rana, J.August. Alternative approaches to adenotonsillectomy and continuous positive airway pressure (cpap) for the management of pediatric obstructive sleep apnea (osa): A review. *PMC*, 2020. accessed: 29.04.2022.
- [22] A.Clutterbuck-James T.Quinell. Alternatives to continuous positive airway pressure 2: mandibular advancement devices compared. *Wolter Kluwer*, 2014. accessed: 29.04.2022.
- [23] B.Saletu M.Saletu S.Haider. Proactive telemedicine monitoring of sleep apnea treatment improves adherence in people with stroke- a randomized controlled trial (hopes study). *Elsevier*, 2019. accessed: 29.04.2022.
- [24] WHO. Whoqol: Measuring quality of life. <https://www.who.int/tools/whoqol>. accessed: 29.04.2022.
- [25] MathWorks. Bluetooth packet structure. <https://de.mathworks.com/help/bluetooth/ug/bluetooth-packet-structure.html>. (accessed: 29-04-2022).
- [26] Julia Andrusenko-Richard L.-Miller Jason A. Abrahamson-Naim M. Merheb Emanuelli-Robert S. Pattay and Robert M. Shuford. Vhf general urban path loss model for short range ground-to-ground communications. *researchgate*, 2015.
- [27] T.S. Rappaport-Keith Blankenship and Hao Xu. Propagation and radio system design issues in mobile radio systems for the glomo project. *ieeexplore*, 2008.
- [28] Lukasz Januszkiewicz. Analysis of human body shadowing effect on wireless sensor networks operating in the 2.4 ghz band. *MDPI*, 2018.
- [29] A.Hoekema-P.Wijkstra-K.Vermeulen. Clinical- and cost-effectiveness of a mandibular advancement device versus continuous positive airway pressure in moderate obstructive sleep apnea. *PMC*, 2019. accessed: 29.04.2022.
- [30] Essam M Madbouly 1-Rashid Nadeem-Mahwish Nida-Janos Molnar-Saurabh Aggarwal-Rohit Loombar. The role of severity of obstructive sleep apnea measured by apnea-hypopnea index in predicting compliance with pressure therapy, a meta-analysis. *Pupmed*, 2014. accessed: 29.04.2022.
- [31] U.Yamamoto M.Nishizaka H.Tsutsuyi. Crossover comparison between cpap and mandibular advancement device with adherence monitor about the effects on endothelial function, blood pressure and symptoms in patients with obstructive sleep apnea. *SpringLink*, 2019. accessed: 29.04.2022.
- [32] Mark D. Smith. Disruptive innovation: Can health care learn from other industries? a conversation with clayton m. christensen. *Health Affairs*, 26(Supplement 2):w288-w295, 2007.
- [33] Rory McDonald Clayton M. Christensen, Micheal Raynor. *What Is Disruptive Innovation*. Harvard Buisness Review, 2015.
- [34] Phanareth K-Vingtoft S-Christensen A-Nielsen J-Svenstrup J-Berntsen G-Newman S-Kayser L. The epital care model: A new person-centered model of technology-enabled integrated care for people with long term conditions. *JMIR Res Protoc*, 2017.

Bilag

Bilag 1:

Bestemmelse af payload

Respirationfrekvens 0-30.^{1 2}

Vores chip tæller respirationsfrekvens

7 bit for spo2

60 bit for respirationfrekvens

5 bit skille bit 0

9 bytes payload.

1 gang i minuttet.

KOL i forvejen.

Alle protokoller har maks antal bytes

Stack	Protokol	Headersize
Application	HTTP	60 bytes
Transport	TCP	20 bytes
Network	Ipv6	40 bytes
Link	4g LTE / 802.11n	64 Bytes / 34 Bytes
Physical		
Total		184 bytes /154 Bytes

*Vi ser bort fra connection bytes, idet vi mener at størrelsen på connection bytes er meget småt og har en minimal påvirkning på en dataoverførsel, der varer 8 timer.

PAF og n værdier er fundet i empiri.^{3 4}

Bluetooth

Overhead: maks 128 bits 16 bytes⁵

Frekvens: 2.4Ghz

Maks afstand: 50 meter (BLE 5.1)

Packetsize: 25 bytes, 200 bits

PAF= 7.0 average house.

n = 3

Packet error probability = 10^{-8}

¹ <https://www.sleepfoundation.org/sleep-apnea/sleep-respiratory-rate>

² <https://www.whoop.com/thelocker/what-is-respiratory-rate-normal/>

³

https://www.researchgate.net/figure/Path-loss-exponents-and-values-for-specific-indoor-environments_tbl2_247282643

⁴ <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4636818>

⁵ <https://se.mathworks.com/help/bluetooth/ug/bluetooth-packet-structure.html>

```

> Udregning af batteriLevetid
Udregning af batteriLevetid
(1)

```

PL ved D0 afstand i Frit rum

```

> PL = (4·PI)2·d2·L
      Gt·Gr·λ2 :
= Bolgelængde := 2400000000 :
> lamda := 300000000
      Bolgelængde
lamda := 1/8
(1.1)

```

```

> Gt := solve(10·log10(x) = 0.)
Gt := 1.
(1.2)

```

```

> Gr := solve(10·log10(x) = 0.)
Gr := 1.
(1.3)

```

```

> d0 := 4·lamda
d0 := 1/2
(1.4)

```

```

> PL0 := (4·Pi)2·(d0)2·1
      Gt·Gr·lamda2
PL0 := 2526.618727
(1.5)

```

```

> PL0db := 10·log10(PL0)
PL0db := 34.02539711
(1.6)

```

PL ved D i komplekst miljø

```

> dafstand := 50 :
> PAFdb := 7 :
> n := 3 :
> PL := PL0db + 10·n·log10(dafstand/d0) + PAFdb
PL := 101.0253971
(2.1)

```

```

> simplify( (2.1) )
101.0253971
(2.2)

```

Eb/N0 Her skal man slå op i qfunc

```

> PacketSize := 200 :
> PacketErrorProb := 10-8 :
> BER := PacketErrorProb
      PacketSize
5.00 × 10-11
(3.1)

```

Slå op i tabellen for at finde den tilsvarende EB/N0

$EBN0 := 13$:

Energi

$$P_{nonDB} := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = PL, x) \\ P_{nonDB} := 1.266309048 \cdot 10^{10} \quad (4.1)$$

$$EBN_{nonDB} := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = EBN0, x) \\ EBN_{nonDB} := 10 \cdot 10^3 \cdot 10 \quad (4.2)$$

$TempCelsius := 20$:

$NoiseFactor := 5$:

$BitRate := \frac{PacketSize}{60}$:

$$E_{bt} := P_{nonDB} \cdot EBN_{nonDB} \cdot (1.38 \cdot 10^{-23}) \cdot (TempCelsius + 273) \cdot NoiseFactor \\ E_{bt} := 2.560097003 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \cdot 10 \quad (4.3)$$

$$P_t := E_{bt} \cdot BitRate \\ P_t := 8.533656677 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \cdot 10 \quad (4.4)$$

BatteriLevetid

BatteriListe := https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_battery_sizes

Batteri : Panasonic Knapbatteri, 3V, CR2032, Litium-mangandioxid, 220mAh CR2032

$BatteriVolt := 3$:

$BatteriAmp := 0.022 : mA$:

$AntalBatterier := 1$:

$$BatteriLevetid := \frac{BatteriAmp \cdot AntalBatterier \cdot BatteriVolt}{P_t} \\ BatteriLevetid := 773408.1941 \cdot 10^7 \cdot 10 \quad (5.1)$$

$$\text{simplify}((5.1)) \\ 3.876223132 \cdot 10^6 \quad (5.2)$$

Andet lignede produkt bruger også knapcelle batteri:

https://www.abilicaonline.dk/salg/pulsbaelter/polar-h9-pulsbaelte/?gclid=Cj0KCQjwxtSSBhDYARIsAEn0thREDRKL1sgam6c0IkRqFVQsOhDzP6ZM1Vpx7ZvIkS5F-GIJ-gXabikaAnWuEALw_wcB

Ovenfor kan beregninger ses hvis vi vælger at anvende Bluetooth. Man kan se, at idet vi har med bluetooth at gøre, så er afstanden ikke særlig stor ($d = 50\text{m}$) og bitraten er også lav ($R_b = 3,33 \text{ b/s}$) ift afstanden og bitraten for de to andre beregninger som gennemgås i følgende afsnit. Dette kommer så tydeligt til udtryk ved at vi får en meget lang batterilevetid, selvom vi kun bruger et knapcelle batteri (3V, 220 mAh). Derfor valgte vi så, at gøre sandsynligheden for pakkefejl meget mindre (Fra en $PacketErrorProbability = 10^{-2}$ til en $PacketErrorProbability$ på $=10^{-8}$), idet vi vurderede at fordi batterilevetiden er så stor, så kan vi godt gøre sandsynligheden for pakkefejl endnu mindre uden det har en alt for stor effekt på batterilevetiden. Hermed får vi en batterilevetiden på ca. mange timer. Dette er selvfølgelig ikke hvordan det vil se ud i virkeligheden, idet der også en anden væsentlig

parameter som kræver energi, altså led pæren. Evt. problemer er også at brugerens mobil, løber tør for strøm, eller bliver placeret uden for bluetooths rækkevidde, og derfor er det relevant også at undersøge en lignende kommunikationsprotokol, som bla. har en længere rækkevidde. Dette regner vi så på nedenfor, hvor der ses på WiFi protokollen.

Wifi

Overhead: 154 bytes

Frekvens: 2.4Ghz

Maks afstand: 70 meter

Packetsize: 163 bytes = 1304 bits

PAF = 7.0 average house.

$n=3$

Packet error probability = 10^{-2}

$$\left[\begin{array}{l} > \text{Udregning af batteriLevetid} \\ & \text{Udregning af batteriLevetid} \end{array} \right] \quad (1)$$

PL ved D0 afstand i Frit rum

$$\left[\begin{array}{l} > PL = \frac{(4 \cdot \text{PI})^2 \cdot d^2 \cdot L}{Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2} : \\ > \text{Bolgelængde} := 2400000000 : \\ > \lambda := \frac{300000000}{\text{Bolgelængde}} \\ & \lambda := \frac{1}{8} \end{array} \right] \quad (1.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > Gt := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gt := 1. \end{array} \right] \quad (1.2)$$

$$\left[\begin{array}{l} > Gr := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gr := 1. \end{array} \right] \quad (1.3)$$

$$\left[\begin{array}{l} > d0 := 4 \cdot \lambda \\ & d0 := \frac{1}{2} \end{array} \right] \quad (1.4)$$

$$\left[\begin{array}{l} > PL0 := \frac{(4 \cdot \text{PI})^2 \cdot (d0)^2 \cdot 1}{Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2} \\ & PL0 := 2526.618727 \end{array} \right] \quad (1.5)$$

$$\left[\begin{array}{l} > PL0db := 10 \cdot \log_{10}(PL0) \\ & PL0db := 34.02539711 \end{array} \right] \quad (1.6)$$

PL ved D i komplekst miljø

$$\left[\begin{array}{l} > \text{dafstand} := 70 : \\ > \text{PAFdb} := 7 : \\ > n := 3 : \\ > PL := PL0db + 10 \cdot n \cdot \log_{10}\left(\frac{\text{dafstand}}{d0}\right) + \text{PAFdb} \\ & PL := 41.02539711 + \frac{30 \ln(140)}{\ln(10)} \end{array} \right] \quad (2.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > \text{simplify}((2.1)) \\ & 105.4092382 \end{array} \right] \quad (2.2)$$

Eb/N0 Her skal man slå op i qfunc

$$\left[\begin{array}{l} > \text{PacketSize} := 1304 : \\ > \text{PacketErrorProb} := 10^{-8} : \\ > \text{BER} := \frac{\text{PacketErrorProb}}{\text{PacketSize}} \end{array} \right] \quad (3.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. \quad 7.67 \times 10^{-12} \quad (3.1)$$

Slå op i tabellen for at finde den tilsvarende EB/N0

> **EBN0 := 13 :**

Energi

$$\left[\begin{array}{l} > PlonDB := solve(10 \cdot \log_{10}(x) = PL, x) \\ \\ \end{array} \right. \quad PlonDB := 3.474752036 \cdot 10^{10} \quad (4.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > EBN0nonDB := solve(10 \cdot \log_{10}(x) = EBN0, x) \\ \\ \end{array} \right. \quad EBN0nonDB := 10 \cdot 10^3 \cdot 10 \quad (4.2)$$

> **TempCelsius := 20 :**

> **NoiseFactor := 5 :**

> **BitRate :=** $\frac{PacketSize}{60}$:

$$\left[\begin{array}{l} > Ebt := PlonDB \cdot EBN0nonDB \cdot (1.38 \cdot 10^{-23}) \cdot (TempCelsius + 273) \cdot NoiseFactor \\ \\ \end{array} \right. \quad Ebt := 7.024906194 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \cdot 10 \quad (4.3)$$

$$\left[\begin{array}{l} > Pt := Ebt \cdot BitRate \\ \\ \end{array} \right. \quad Pt := 1.526746279 \cdot 10^{-7} \cdot 10^3 \cdot 10 \quad (4.4)$$

BatteriLevetid

BatteriListe := https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_battery_sizes
Batteri : Panasonic Knapbatteri, 3V, CR2032, Litium-mangandioxid, 220mAh CR2032

> **BatteriVolt := 3 :**

> **BatteriAmp := 0.022 : mAH :**

> **AntalBatterier := 1 :**

$$\left[\begin{array}{l} > BatteriLevetid := \frac{BatteriAmp \cdot AntalBatterier \cdot BatteriVolt}{Pt} \\ \\ \end{array} \right. \quad BatteriLevetid := 43229.18674 \cdot 10^7 \cdot 10 \quad (5.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > simplify((5.1)) \\ \\ \end{array} \right. \quad 216659.1651 \quad (5.2)$$

>

Hvis man sammenligner Wifi overførslen med bluetooth, kan man se at batterilevetiden falder markant, på baggrund af en større packetsize samt øget afstand. Vi mener dog, at dette ikke er et problem da levetiden stadig er tilstrækkelig stor.

Mast

Overhead: 184 bytes

Frekvens: 800 mhz 4g lte

Maks afstand: 3.3-6 km

Packetsize: 193 bytes = 1544 bits

PAF: = 7.0 Scenario 1

n= 2,7 ->3,5

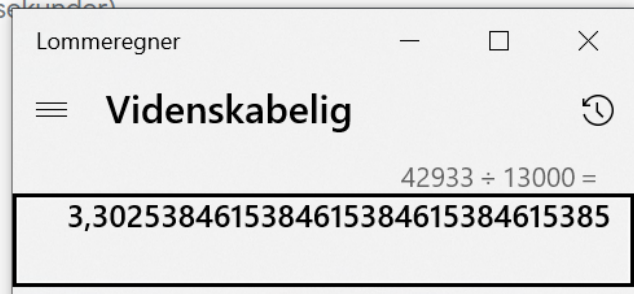
Packet error probability = 10^{-2}

Ca. 4.270.000 resultater (0,77 sekunder)

Danmark / Areal

42.933 km²

Relaterede søgninger



<https://customer.cradlepoint.com/s/article/MTU-MSS-Design-Considerations#TechnicalConsiderations>

$$\left[\begin{array}{l} > \text{Udregning af batteriLevetid} \\ & \text{Udregning af batteriLevetid} \end{array} \right] \quad (1)$$

PL ved D0 afstand i Frit rum

$$\left[\begin{array}{l} > PL = \frac{(4 \cdot \pi)^2 \cdot d^2 \cdot L}{Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2} ; \\ & \text{Bolgelængde} := 800000000 ; \\ > \lambda := \frac{300000000}{\text{Bolgelængde}} \\ & \lambda := \frac{3}{8} \end{array} \right] \quad (1.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > Gt := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gt := 1. \end{array} \right] \quad (1.2)$$

$$\left[\begin{array}{l} > Gr := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gr := 1. \end{array} \right] \quad (1.3)$$

$$\left[\begin{array}{l} > d0 := 4 \cdot \lambda \\ & d0 := \frac{3}{2} \end{array} \right] \quad (1.4)$$

$$\left[\begin{array}{l} > PL0 := \frac{(4 \cdot \pi)^2 \cdot (d0)^2 \cdot 1}{Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2} \\ & PL0 := 2526.618727 \end{array} \right] \quad (1.5)$$

$$\left[\begin{array}{l} > PL0db := 10 \cdot \log_{10}(PL0) \\ & PL0db := 34.02539711 \end{array} \right] \quad (1.6)$$

PL ved D i komplekst miljø

$$\left[\begin{array}{l} > \text{dafstand} := 3300 ; \\ > \text{PAFdb} := 7 ; \\ > n := 3.5 ; \\ > PL := PL0db + 10 \cdot n \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{dafstand}}{d0} \right) + \text{PAFdb} \\ & PL := 41.02539711 + \frac{35.0 \ln(2200)}{\ln(10)} \end{array} \right] \quad (2.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > \text{simplify((2.1))} \\ & 158.0101909 \end{array} \right] \quad (2.2)$$

Eb/N0 Her skal man slå op i qfunc

$$\left[\begin{array}{l} > \text{PacketSize} := 1544 ; \\ > \text{PacketErrorProb} := 10^{-8} ; \\ > \text{BER} := \frac{\text{PacketErrorProb}}{\text{PacketSize}} \end{array} \right] \quad (3.1)$$

$$6.48 \times 10^{-12} \quad (3.1)$$

Slå op i tabellen for at finde den tilsvarende EB/N0

> **EBN0 := 13.5 :**

Energi

$$\begin{aligned} > P_{\text{nonDB}} := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = PL, x) \\ & P_{\text{nonDB}} := 6.324396562 \cdot 10^{15} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} > EBN_{\text{nonDB}} := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = EBN0, x) \\ & EBN_{\text{nonDB}} := 22.38721139 \end{aligned} \quad (4.2)$$

> **TempCelsius := 20 :**

> **NoiseFactor := 5 :**

> **BitRate := $\frac{1554}{60}$:**

$$\begin{aligned} > Ebt := P_{\text{nonDB}} \cdot EBN_{\text{nonDB}} \cdot (1.38 \cdot 10^{-23}) \cdot (TempCelsius + 273) \cdot NoiseFactor \\ & Ebt := 0.002862436130 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} > Pt := Ebt \cdot BitRate \\ & Pt := 0.07413709577 \end{aligned} \quad (4.4)$$

BatteriLevetid

BatteriListe := https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_battery_sizes

Batteri : Panasonic Knapbatteri, 3V, CR2032, Litium-mangandioxid, 220mAh CR2032

> **BatteriVolt := 3 :**

> **BatteriAmp := 0.022 : mA :**

> **AntalBatterier := 1 :**

$$\begin{aligned} > BatteriLevetid := \frac{BatteriAmp \cdot AntalBatterier \cdot BatteriVolt}{Pt} \\ & BatteriLevetid := 0.8902425879 \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} > \text{simplify}((5.1)) \\ & 0.8902425879 \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} &> \text{Udregning af batteriLevetid} \\ & \text{Udregning af batteriLevetid} \end{aligned} \quad (1)$$

PL ved D0 afstand i Frit rum

$$\begin{aligned} &> PL = \frac{(4 \cdot \text{PI})^2 \cdot d^2 \cdot L}{Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2} : \\ &= \text{Bolgelængde} := 800000000 : \\ &> \lambda := \frac{300000000}{\text{Bolgelængde}} \\ & \lambda := \frac{3}{8} \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} &> Gt := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gt := 1. \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} &> Gr := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gr := 1. \end{aligned} \quad (1.3)$$

$$\begin{aligned} &> d0 := 4 \cdot \lambda \\ & d0 := \frac{3}{2} \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} &> PL0 := \frac{(4 \cdot \text{PI})^2 \cdot (d0)^2 \cdot 1}{Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2} \\ & PL0 := 2526.618727 \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} &> PL0db := 10 \cdot \log_{10}(PL0) \\ & PL0db := 34.02539711 \end{aligned} \quad (1.6)$$

PL ved D i komplekst miljø

$$\begin{aligned} &> \text{dafstand} := 3300 : \\ &> \text{PAFdb} := 7 : \\ &> n := 3.5 : \\ &> PL := PL0db + 10 \cdot n \cdot \log_{10}\left(\frac{\text{dafstand}}{d0}\right) + \text{PAFdb} \\ & PL := 41.02539711 + \frac{35.0 \ln(2200)}{\ln(10)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} &> \text{simplify}((2.1)) \\ & 158.0101909 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Eb/N0 Her skal man slå op i qfunc

$$\begin{aligned} &> \text{PacketSize} := 1544 : \\ &> \text{PacketErrorProb} := 10^{-8} : \\ &> \text{BER} := \frac{\text{PacketErrorProb}}{\text{PacketSize}} \end{aligned} \quad (3.1)$$

```

|
|                                      $6.48 \times 10^{-12}$ 
|                                     (3.1)
| Slå op i tabellen for at finde den tilsvarende EB/N0
| > EBN0 := 13.5 :

```

Energi

```

| > PlnonDB := solve( $10 \cdot \log_{10}(x) = PL, x$ )
|                                      $PlnonDB := 6.324396562 \cdot 10^{15}$ 
|                                     (4.1)

```

```

| > EBN0nonDB := solve( $10 \cdot \log_{10}(x) = EBN0, x$ )
|                                      $EBN0nonDB := 22.38721139$ 
|                                     (4.2)

```

```

| > TempCelsius := 20 :

```

```

| > NoiseFactor := 5 :

```

```

| > BitRate :=  $\frac{1554}{60}$  :

```

```

| > Ebt := PlnonDB · EBN0nonDB · ( $1.38 \cdot 10^{-23}$ ) · (TempCelsius + 273) · NoiseFactor
|                                      $Ebt := 0.002862436130$ 
|                                     (4.3)

```

```

| > Pt := Ebt · BitRate
|                                      $Pt := 0.07413709577$ 
|                                     (4.4)

```

BatteriLevetid

```

| BatteriListe := https://en.wikipedia.org/wiki/List\_of\_battery\_sizes
| Batteri : Cr34615 3.0V 12000mAh Rechargeable Li-ion Battery

```

```

| > BatteriVolt := 3 :

```

```

| > BatteriAmp :=  $12000 \cdot 10^{-3}$  : MAH :

```

```

| > AntalBatterier := 1 :

```

```

| > BatteriLevetid :=  $\frac{BatteriAmp \cdot AntalBatterier \cdot BatteriVolt}{Pt}$ 
|                                      $BatteriLevetid := 485.5868661$ 
|                                     (5.1)

```

```

| > simplify( (5.1) )
|                                      $485.5868661$ 
|                                     (5.2)

```

På baggrund af disse beregninger kan man se, at hvis vi skal bruge 4g LTE, på den gennemsnitlige afstand mellem telefonmasterne som vi selv har udregnet, ud fra antallet af telefonmaster og størrelsen af Danmark i kvadratkilometer. Bliver vi nødt til at anskaffe os et langt større batteri.

Havde vi dog været nærmere på en telefonmast, ændre strømforbruget sig markant, da vi ikke snakker om en lineær proportionalitet. Havde vi f.eks. været i en større by falder den gennemsnitlige afstand sig markant.⁶ Derfor laver vi udregningerne igen, denne gang med et kvalificeret gæt gennemsnitlig afstand på 400 meter, ud fra

⁶ <https://www.mastedatabasen.dk/viskort/PageMap.aspx>

vurderet afstand på mastedatabasens kort over københavn.

```
[ > Udregning af batteriLevetid
      Udregning af batteriLevetid ] (1)
```

PL ved D0 afstand i Frit rum

```
[ > PL = (4·PI)^2·d^2·L
      Gt·Gr·λ^2 :
=
> Bolgelængde := 800000000 :
> lamda := 300000000
      Bolgelængde
      lamda := 3/8 ] (1.1)
```

```
[ > Gt := solve(10·log10(x) = 0.)
      Gt := 1. ] (1.2)
```

```
[ > Gr := solve(10·log10(x) = 0.)
      Gr := 1. ] (1.3)
```

```
[ > d0 := 4·lamda
      d0 := 3/2 ] (1.4)
```

```
[ > PL0 := (4·Pi)^2·(d0)^2·1
      Gt·Gr·lamda^2
      PL0 := 2526.618727 ] (1.5)
```

```
[ > PL0db := 10·log10(PL0)
      PL0db := 34.02539711 ] (1.6)
```

PL ved D i komplekst miljø

```
[ > dafstand := 400 :
> PAFdb := 7 :
> n := 3.5 :
> PL := PL0db + 10·n·log10(dafstand/d0) + PAFdb
      PL := 41.02539711 + 35.0 ln(800/3) / ln(10) ] (2.1)
```

```
[ > simplify( (2.1) )
      125.9343027 ] (2.2)
```

Eb/N0 Her skal man slå op i qfunc

```
[ > PacketSize := 1544 :
> PacketErrorProb := 10^-8 :
> BER := PacketErrorProb / PacketSize ]
```

```

|
|                                      $6.48 \times 10^{-12}$                                      (3.1)
| Slå op i tabellen for at finde den tilsvarende EB/N0
| > EBN0 := 13.5 :

```

Energi

```

| > PlnonDB := solve( $10 \cdot \log_{10}(x) = PL, x$ )
|                                      $PlnonDB := 3.921301847 \cdot 10^{12}$                                      (4.1)

```

```

| > EBN0nonDB := solve( $10 \cdot \log_{10}(x) = EBN0, x$ )
|                                      $EBN0nonDB := 22.38721139$                                      (4.2)

```

```

| > TempCelsius := 20 :

```

```

| > NoiseFactor := 5 :

```

```

| > BitRate :=  $\frac{1554}{60}$  :

```

```

| > Ebt := PlnonDB · EBN0nonDB · ( $1.38 \cdot 10^{-23}$ ) · (TempCelsius + 273) · NoiseFactor
|                                      $Ebt := 1.774790049 \cdot 10^{-6}$                                      (4.3)

```

```

| > Pt := Ebt · BitRate
|                                      $Pt := 0.00004596706227$                                      (4.4)

```

BatteriLevetid

```

| BatteriListe := https://en.wikipedia.org/wiki/List\_of\_battery\_sizes
| Batteri : Panasonic Knapbatteri, 3V, CR2032, Litium-mangandioxid, 220mAh CR2032

```

```

| > BatteriVolt := 3 :

```

```

| > BatteriAmp := 0.022 : mA :

```

```

| > AntalBatterier := 1 :

```

```

| > BatteriLevetid :=  $\frac{BatteriAmp \cdot AntalBatterier \cdot BatteriVolt}{Pt}$ 
|                                      $BatteriLevetid := 1435.810703$                                      (5.1)

```

```

| > simplify( (5.1) )
|                                     1435.810703                                     (5.2)

```

Så det betyder at hvis vi er på en afstand af 400 meter, kan vi bruge knapcellebatteriet med en packet error probability på 10^{-8} og få 1435 timers brug ud af det samme batteri. Problemet er dog at hvis man ikke befinder sig i en 400 meters afstand, falder batteriets levetid markant, hvis vores produkt automatisk indstiller sig den rigtige Packet error probability, samt at der er et ukendt antal af path attenuation loss faktorer som vi ikke kender til.

Diskussion

I overordnede afsnit har vi afprøvet forskellige kommunikationsprotokoller til vores trådløse overførsel, herunder Bluetooth, WiFi og 4g LTE. På baggrund af vores underdelkonklusioner efter beregningerne på de enkelte kommunikationsprotokoller, må vi konkludere at trådløs overførsel til mobilmasterne ikke er en funktionel løsning, medmindre at man befinder sig inde i en større by pga. at hvis afstanden d , bliver for stor så er batterilevetiden ikke tilstrækkelig. Derved står vi tilbage med 2 løsninger som begge ville virke, bluetooth og wifi.

Den løsning vi umiddelbart synes virker bedst er en Wifi, da batterilevetiden imellem bluetooth og wifi er ligegyldig da begge alligevel har en tilstrækkelig høj nok levetid. Udover dette har wifi ingen problemer eller evt. fejlkilder, som der ikke også er tilstede i bluetooth, da bluetooth skal indeholde et mellemlid (telefon eller device), der bruger wifi. Deraf får vi en tilstrækkelig batterilevetid samt tilstrækkelig dataoverførsel, med så få fejlkilder som muligt. For at bruge wifi, bliver vi dog nødt til at opstille det telemedicinske produkt, således at det har internet adgang. Dette gør vi med et kabel og en mobil der har vores app. Efter at der så er skabt en internetadgang, overfører vi dataen via Wifi.

Parametre ændring

Da vi gerne vil afprøve et rigtig case, ved brug af Wifi protokollen, bliver vi nødt til at kigge på nogle forskellige parametre.

Disse parametre bliver følgende:

- Overfører igennem en krop, hvis man lægger sig på maven.

På baggrund af litteratur, vurdere at path loss igennem en krop ligger et sted imellem 10-20dB, afhængigt af størrelsen af personen samt afstanden til senderen.⁷ Derfor vil vi nu foretage Wifi beregningerne igen, hvor vi også inkluderer de 20 dB, idet vi bare vælger den højeste værdi for at være på den sikre side. Disse beregninger kan ses nedenfor:

⁷ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6211019/>

$$\left[\begin{array}{l} > \text{Udregning af batteriLevetid} \\ & \text{Udregning af batteriLevetid} \end{array} \right] \quad (1)$$

PL ved D0 afstand i Frit rum

$$\left[\begin{array}{l} > PL = \frac{(4 \cdot \text{Pi})^2 \cdot d^2 \cdot L}{Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2} : \\ > \text{Bolgelængde} := 2400000000 : \\ > \text{lamda} := \frac{300000000}{\text{Bolgelængde}} \\ & \text{lamda} := \frac{1}{8} \end{array} \right] \quad (1.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > Gt := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gt := 1. \end{array} \right] \quad (1.2)$$

$$\left[\begin{array}{l} > Gr := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = 0.) \\ & Gr := 1. \end{array} \right] \quad (1.3)$$

$$\left[\begin{array}{l} > d0 := 4 \cdot \text{lamda} \\ & d0 := \frac{1}{2} \end{array} \right] \quad (1.4)$$

$$\left[\begin{array}{l} > PL0 := \frac{(4 \cdot \text{Pi})^2 \cdot (d0)^2 \cdot 1}{Gt \cdot Gr \cdot \text{lamda}^2} \\ & PL0 := 2526.618727 \end{array} \right] \quad (1.5)$$

$$\left[\begin{array}{l} > PL0db := 10 \cdot \log_{10}(PL0) \\ & PL0db := 34.02539711 \end{array} \right] \quad (1.6)$$

PL ved D i komplekst miljø

$$\left[\begin{array}{l} > \text{dafstand} := 70 : \\ > \text{PAFdb} := 7 + 20 : \\ > n := 3 : \\ > PL := PL0db + 10 \cdot n \cdot \log_{10}\left(\frac{\text{dafstand}}{d0}\right) + \text{PAFdb} \\ & PL := 61.02539711 + \frac{30 \ln(140)}{\ln(10)} \end{array} \right] \quad (2.1)$$

$$\left[\begin{array}{l} > \text{simplify}((2.1)) \\ & 125.4092382 \end{array} \right] \quad (2.2)$$

Eb/N0 Her skal man slå op i qfunc

$$\left[\begin{array}{l} > \text{PacketSize} := 1304 : \\ > \text{PacketErrorProb} := 10^{-8} : \\ > \text{BER} := \frac{\text{PacketErrorProb}}{\text{PacketSize}} \end{array} \right] \quad (3.1)$$

$$\boxed{\quad} \quad \quad \quad 7.67 \times 10^{-12} \quad \quad \quad (3.1)$$

Slå op i tabellen for at finde den tilsvarende EB/N0

> **EBN0 := 13 :**

Energi

$$\begin{aligned} > \text{PlonDB} := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = PL, x) \\ & \quad \quad \quad \text{PlonDB} := 3.474752036 \cdot 10^{12} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} > \text{EBN0nonDB} := \text{solve}(10 \cdot \log_{10}(x) = \text{EBN0}, x) \\ & \quad \quad \quad \text{EBN0nonDB} := 10 \cdot 10^3 \mid 10 \end{aligned} \quad (4.2)$$

> **TempCelsius := 20 :**

> **NoiseFactor := 5 :**

> **BitRate :=** $\frac{\text{PacketSize}}{60}$:

$$\begin{aligned} > \text{Ebt} := \text{PlonDB} \cdot \text{EBN0nonDB} \cdot (1.38 \cdot 10^{-23}) \cdot (\text{TempCelsius} + 273) \cdot \text{NoiseFactor} \\ & \quad \quad \quad \text{Ebt} := 7.024906194 \cdot 10^{-7} \cdot 10^3 \mid 10 \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} > \text{Pt} := \text{Ebt} \cdot \text{BitRate} \\ & \quad \quad \quad \text{Pt} := 0.00001526746279 \cdot 10^3 \mid 10 \end{aligned} \quad (4.4)$$

BatteriLevetid

BatteriListe := https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_battery_sizes
Batteri : Panasonic Knapbatteri, 3V, CR2032, Litium-mangandioxid, 220mAh CR2032

> **BatteriVolt := 3 :**

> **BatteriAmp := 0.022 : mAH :**

> **AntalBatterier := 1 :**

$$\begin{aligned} > \text{BatteriLevetid} := \frac{\text{BatteriAmp} \cdot \text{AntalBatterier} \cdot \text{BatteriVolt}}{\text{Pt}} \\ & \quad \quad \quad \text{BatteriLevetid} := 432.2918674 \cdot 10^7 \mid 10 \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} > \text{simplify}(\text{(5.1)}) \\ & \quad \quad \quad 2166.591651 \end{aligned} \quad (5.2)$$

Ovenfor kan man se at beregningerne baseret på de tidligere Wifi beregninger, men hvor at vi har adderet den forrige PAF værdi med 20 dB. Så den er gået fra 7 dB til 27 dB. Dette kommer selvfølgelig også til udtryk i batterilevetiden, som nu er kommet ned på ca. 2300 timer. Det er en væsentlig ændring, idet batterilevetiden før jo var på cirka 230000 timer, så dette viser hvor stor en effekt det har hvis borgeren vælger at ligge på maven. Men selv hvis dette er situationen vil det stadig ikke være problematisk, idet 2300 timer er mere end rigeligt som batterilevetid, idet det svarer til 41 uger hvis produktet bruges 8 timer dagligt.

Føjkilder

- Beregningerne er ikke andet end en grov estimering, hvor faktorerne er fundet i litteratur og ikke rigtige situationer.
- Vi har sat Gains til 1, for at vise at vi ser bort fra gains.
- Vi har fundet headers i de forskellige data lag, og valgt den største mulige header.
- Vi ser bort fra de bits man skal bruge til at skabe en åben kontinuerlig kommunikation, da vi mener at produktet skal bruges kontinuerligt i 8 timer og deraf bliver start kommunikations bitsene ikke relevante i det store hele.

- Vi har desuden udelukkende udført beregningerne uden at medtage andre energi brugende processer, som fx led pærer.
- Vi kun har målt på maks afstande udover 4g, derfor vil batterilevetiden kun blive bedre, hvis man befinder sig tættere på.