

TTT4280 - Sensorer og instrumentering

## **Optisk måling av puls**

**Gruppe 18**

*Jemila Daush & Khadija Laajab*



08.04.2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

# Sammendrag



## 1 Innledning

Gjennom de siste årene har det vært et stort fokus for å kunne måle puls gjennom en periode som en treningsøkt, i intensivavdelingen døgnet rundt eller du har lyst til å sjekke pulsen til enhver tid. Med dagens teknologi finnes det klokker, armbånd, heart rate monitorer som bruker en optisk sensor for å kunne måle dette. I denne rapporten skal vi måle puls i to ulike scenarioer; Transmittans og Reflektans med et kamera. Dette skal så sammenliknes med pulsen fra en pulsklokke. Det skal også bli gjort flere stresstester.



## 2 Puls og biooptikk

Puls er definert som antall pulsslag per minutt som måles over en arterie. Som oftest ligger pulsen mellom 40 og 200 slag per minutt, men er avhengig av kjønn, alder og om du har en underliggende sykdom. Når hjertet slår vil blod pumpes ut i arteriene, da vil pulsen være lik hjerterefrekvensen, med en liten faseforsinkelse. Fargen på blodet er gitt av proteinet hemoglobin som binder oksygen til blodet. Når hjertet pumper oksygenrikt blod, kalt oxyhemoglobin, i arteriene vil dette ha en kraftig rødfarge i motsetning til blodet som har gitt fra seg oksygenet til vevet/kroppsdeler, kalt deoxyhemoglobin, som har en mer lillafarge. Oksygenert blod har tydelige absorpsjonstopper ved ca 410nm, 542 nm og 576 nm, mens deoksygenert blod har tydelige topper ved ca 420nm, 555 nm og 760 nm. ((tror ikke den siste setningen er viktig, kan fjernes))

Når en skal måle pulsen optisk ved hjelp av et kamera er det greit med noen forbehold.

For når lyset treffer huden vil det enten transmitteres, reflekteres, absorberes eller spres i vevet. Mennesker er ikke gjennomsiktige, fordi det er en stor spredning i menneskets vev som skyldes av blant annet fett og bindevev i huden. Øverste delen av huden består av epidermis og dermis. Epidermis kan sees på som et “beskyttelseslag” for huden som beskytter oss mot blant annet infeksjoner. Det som skiller epidermis og dermis er Basallaget. Her produseres det melanin som er et pigment som beskytter huden mot uv-stråling. Denne delen får sin næring fra dermis som består av arterier og vener og er et lag under epidermes.

Det er altså mange faktorer som spiller en rolle når lyset treffer huden. Melanin kan virke som en absorpsjonsfaktor så det er da viktig at lyset klarer å trenge inn i denne delen for at lyset skal nå blodårene i dermis. Det kan tenkes på at denne kan virke som en lavpassfilter. Når vi setter inn hvitt lys vil derfor blått lys bli absorbert nettopp fordi absorpsjon og spredning er høy for lave bølgelengder. Det er derfor vanlig å se at rødt lys når gjennom huden, men ikke blått!

Om vi ser på hvordan energien forplanter seg gjennom huden kan vi få en forenklet likning på fluensrate i en gitt posisjon i vevet som er gitt ved

$$\frac{\partial \phi(\vec{r}, t)}{\partial t} + \mu_a \phi(\vec{r}, t) - D \nabla^2 \phi(\vec{r}, t) = S(\vec{r}, t) \quad (1)$$

Her har vi antatt at spredningen er høyere enn absorpsjonen og at avviket fra isotropien er mindre. Hvor D er diffusjons-

konstanten og gitt som  $D = \frac{1}{\sqrt{\mu'_s + \mu_a}}$ .

(nevne absorpsjon og spredningskoeffisientene)

Om vi kun ser på en retning  $z$  nedover vevet, at vevet stort sett oppfører seg likt og at vi har en plan bølge inn. I tillegg til at vi ser bort fra tidsavhengigheten vil vi ha en meget forenklet likning av fluensraten som er mulig å beregne videre med.

$$\mu_a \phi(z) - \frac{Dd^2}{dz^2} \phi(z) = 0 \quad (2)$$

ved bruk av grensebetingelser vil løsningen på denne likningen være

$$\phi(z) = \phi(0) \exp(-Cz) \quad (3)$$

hvor  $C = \sqrt{\mu_a(\mu'_s + \mu_a)}$  og  $\phi(0) = \frac{1}{2\delta\mu_a}$ . Hvor langt lyset klarer å komme seg gjennom huden kalles for penetrasjonsdybde. optisk penetrasjonsdybde er et mål på når den innkommende energien har blitt redusert til  $\frac{1}{e} = 36.8\%$ . Det kan man finne ut ifra likningen (den over) til å bli

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_a(\mu'_s + \mu_a)}} \quad (4)$$

Som følge av at måling av lys skjer utenfor huden, har vi to ulike scenarioer vi kan få; transmittans og reflektans. Transmittans er mengden energi som kommer ut av den andre siden av mediet relativt til innkommende energi fra lyskilden. Det er altså energien som har klart å gå gjennom mediet og er uttrykt som:

$$T = \frac{\phi(z=d)}{\phi(z=0)} = \exp(-Cd) \quad (5)$$

Reflektans er den mengden energi som blir reflektert fra lyskilden som er mot mediet. Om vi ser på betraktningen om probet dybde vil vi se på energien som har gått ned til en dybde gå ut igjen som reflektans for vi uttrykket:

$$R = \exp(-2Cd) \quad (6)$$

Hvis vi ser på to ulike volum i et medium, kan vi finne pulsutslag ved å se på kontrasten. Kontrast er definert som

$$K = \frac{|T_{H\text{ytBlodvolum}} - T_{L\text{avtBlodvolum}}|}{T_{L\text{avtBlodvolum}}} \quad (7)$$

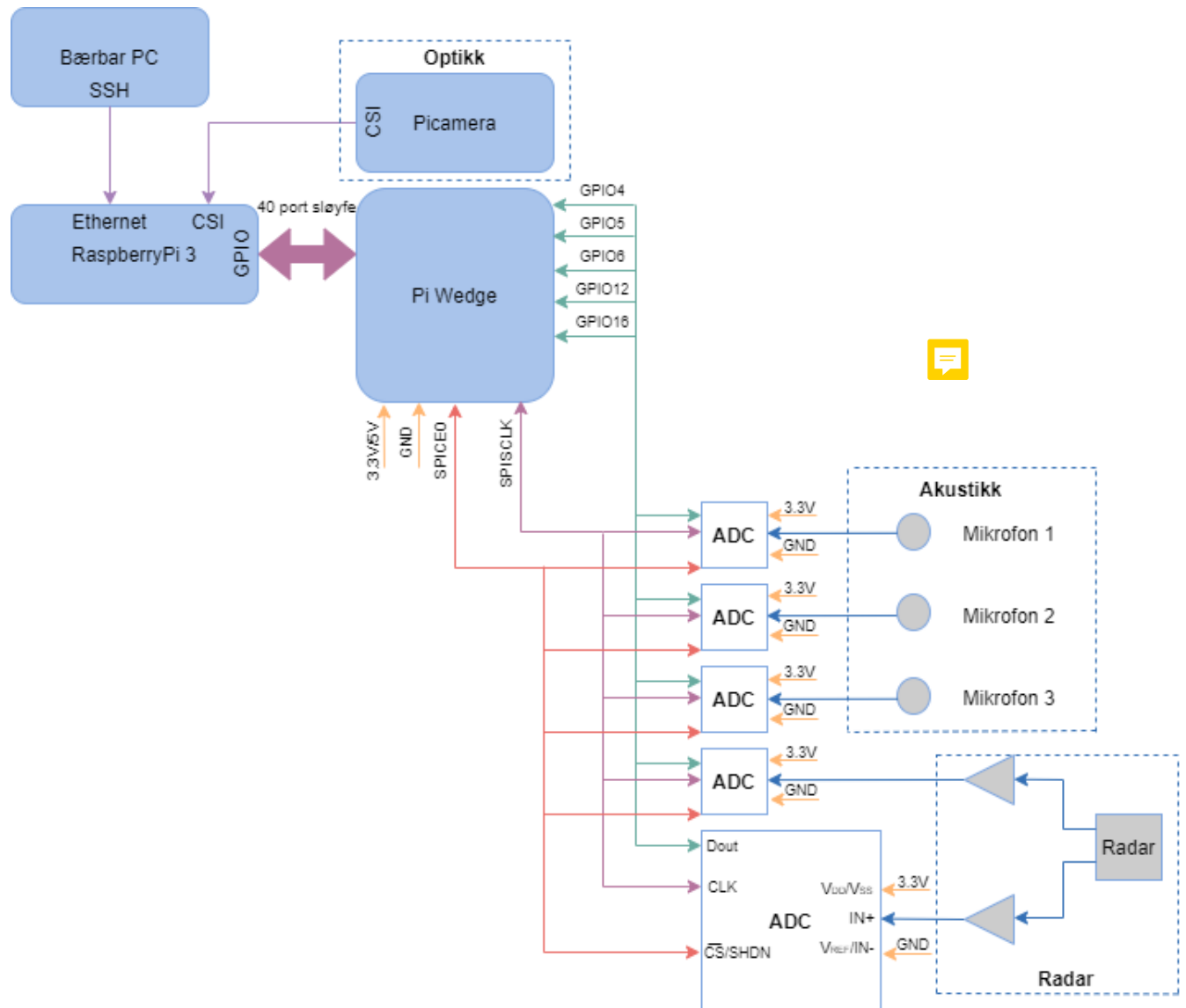
Her kan vi se at hvis vi har en stor endring på transmittansen mellom høyt blodvolum og lavt blodvolum vil vi få en stor pulsutslag og  $K$  tilnærmet 1 som betyr at det er en høy blodabsorpsjon. Om det omvendte tilfellet skjer vil  $K$  være tilnærmet 0 og vi vil ha et lite pulsutslag.

SNR, signal-to-noise-ratio har mange definisjoner, men felles for alle er at det sammelikner størrelsen på maksimal/-gjennomsnittlig utslag med støyet som er i signalet. Slik at det blir mulig å si noe om hvor bra størrelsene er. SNR i pulssammenheng uttrykker kvaliteten på pulssignalet som maksimal pulsutslag delt på standardavvik til støyen i pulsutslaget. SNR i bildekvalitetsammenheng tar gjennomsnittsignalnivået delt på standardavviket på bildet.



### 3 Design av målesystem

Et blokkdiagram for basissystemet kan sees i figur 1. Basissystemet inneholder tre uavhengige delsystemer, ett optisk-, ett aksustisk- og ett radarsystem. RaspberryPi er datamaskinen som ble brukt for å prosessere dataen som ble fanget av sensorene i de ulike delsystemene. RaspberryPi er tastatur og skjermfri, dermed ble en bærbar PC brukt som tastatur og skjerm. De var koblet sammen ved bruk av SSH over ethernet. For å koble sensorer til datamaskinen, ble det brukt en Pi



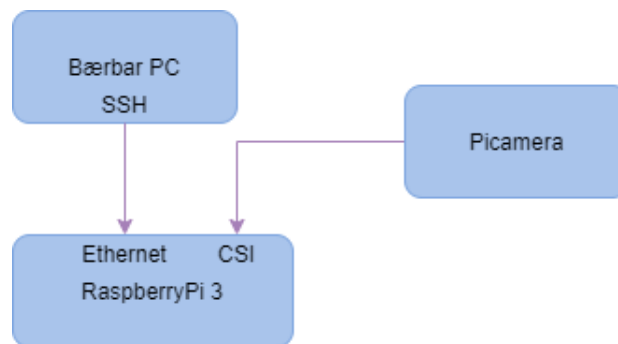
Figur 1: Basissystem for tre delsystemer

Wedge på et breadboard med sensorer. Det var igjen koblet til RaspberryPien via en 40 port sløyfe, noe man ser på figur [nana](#). Sensorene til akustikk og radarsystemene var avhengig av adcer for å omgjøre analoge signaler til digitale verdier. Verdiene ble så manipulert i datamaskinen og PCen. Akustikkdelen trengte tre adcer, en til hver mikrofon, og radaren trengte to adcer. Hver adcs data ut var koblet til sin input port i RaspberryPien, som vist i figur [nana](#). Alle klokke

portene, CLK, til adcene er koblet til hverandre og er koblet til SPSCLK på RaspberryPi. Optikkdelen av systemet inneholdt kun RaspberryPi, PC og en kamerasensor koblet til RaspberryPi, kalt Picamera.

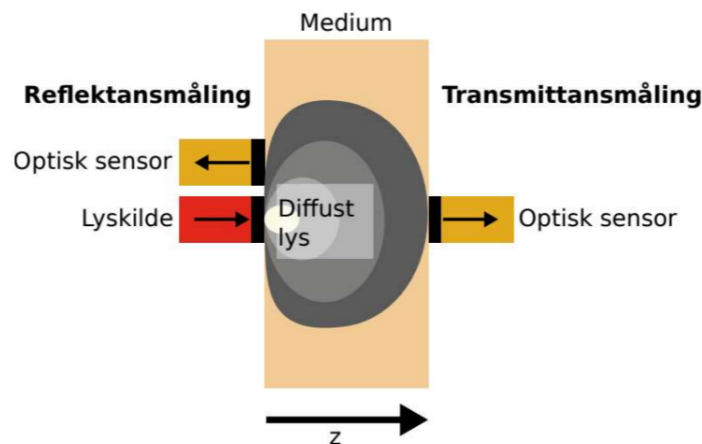
Hver CS/SHDN port på adcene var koblet sammen og til SPICE0 porten på datamaskinen. Adcener var koblet til 3.3V på VDD og VSS, og til GND på VREF og IN-. Utgangssignalet fra sensorene var koblet til IN+.

Adcener var 12-bit, og ble kjørt i parallell, slik man ser i figur 1. Systemet bestod i tillegg av filtre og forsterkere for støy reduksjon, signal filtrering og/eller forsterkning for akustikk og radar, som vi ikke skal gå inn i detaljer på. Vi skal fokusere på optikk, systemet kan sees i figur 2. Dette delsystemet er ikke avhengig av adcer fordi kameraet er digitalt.



**Figur 2:** Optikk delsystemet

Figur 3a illustrerer hvordan man tar målinger av puls ved bruk av en optisk sensor og en lyskilde. Picameraet er den optiske sensoren, lyskilden kan være blits fra en telefon, og mediumet er en finger. Ved transmittansmåling er man interessert i lyset som går gjennom mediumet. Ved reflektansmåling ser man på lyset som kommer tilbake samme retning som lyset ble sendt inn i.



**Figur 3**

## 4 Resultater

Som følge av at vi ikke fikk konfigurert Picameraet til Raspberrypien, var vi nødt til å komme på en alternativ løsning.

Figur 3 viser som sagt oppsettet til utførelsen. Vi valgte å gå for et mobilkamera som optisk sensor og blits fra en telefon som lyskilde. Den optiske sensoren tok opp filmklipp med 30 bilder per sekund (*fps*).

Ved transmittansmålingene ble det brukt to telefoner, en for å ta opptak og en for å lyse på motsatt side av fingeren. Ved reflektansmålingene brukte man kun én telefon, fingeren lå både på lyskilden og kameraet samtidig. Vi endte opp med ti målinger på hvilepuls; fem videoer ved transmittansmåling og fem videoer ved reflektansmåling. I tillegg tok vi to stresstest på hver type måling. Første stresstesten var å måle puls høyere enn typisk hvilepuls, og den andre var å måle puls på armen. Hver video var på 30 sekunder.

### 4.1 Forarbeid

For å få et innblikk på hvordan utfallet kommer til å være ble ulike verdier som har blitt introdusert i teorien regnet ut. Ved bruk av informasjonen som står i kameradatabladet og skjelettscriptet som er tilgjengelig ble  $\mu_a$  og  $\mu'_s$  funnet for de ulike bølgelengdene på fargekanalene;  $\lambda_r = 750nm$ ,  $\lambda_g = 525nm$  og  $\lambda_b = 450nm$ . Størrelsen på fingeren som ble målt var på  $d = 1cm$ . Ved å bruke likningene 4, 5 og 6 får vi hhv. penetrasjonsdybde, transmittans og reflektans. Disse resultatene kan sees i tabell 1.

d		Rød	Grønn	Blå
	$\mu_a [m^{-1}]$	28.19	164.87	308.9
	$\mu'_s [km^{-1}]$	2.08	3.3	4.6
	$\delta [mm]$	2.38	0.7	0.47
1 cm	T [%]	65.1	26.8	11.9
300 $\mu m$	T [%]	88.2	67.4	52.7
	R [%]	43.2	7.2	1.4

**Tabell 1:** Teoretiske resultater for ulike fargekanaler i menneskevev

Her kan vi se at penetrasjonsdybden og transmittansen for fargekanalen rød er mye høyere enn for grønn og blå. Dette indikerer at den røde bølgelengden vil trenge seg mest inn i vevet, mens store deler av fargekanalene grønn og blå vil bli reflektert. Fra teorien vet vi at den med kortest bølgelengde vil bli mest absorbert. Dette kan vi stemmer godt med resultatet hvor blå har den laveste bølgelengden og er den med lavest transmittans, etterfulgt av grønn som har en litt høyere bølgelengde og vil da trenge seg lenger inn vevet. Betrachninger om probet dybde angir hvor dypt signalet har probet fingeren, som vi kan se er alle verdiene lavere enn transmittans for alle fargekanalene. Dette betyr at reflektansen blir høyere jo lenger inn i vevet og at det er stor sannsynlighet for reflektansen skjer mellom penetrasjonsdybden og overflaten av huden som stemmer med teorien.

Om vi har en blodåre med en diameter på  $d = 300\mu m$  kan vi finne hvor mye lys som når ut på den andre siden av blodåren, og sammenligne med hvor mye som når gjennom et tilsvarende stykke vev som inneholder 1% blod. Resultatet kan sees i tabell 2.

d		Rød	Grønn	Blå
	$\mu_a [km^{-1}]$	0.319	14	28
	$\mu_s' [km^{-1}]$	2.08	3.3	4.6
	$\delta [\mu m]$	660	37	19
300 $\mu m$	T [%]	63.0	0.3	0.0
	K	0.28	0.99	1

**Tabell 2:** Teoretiske resultater for ulike fargekanaler i blod

Her kan vi se at for alle fargekanalene er transmittans for blod høyere enn transmittans for vev ved tilsvarende situasjon. Dette skyldes at absorpsjonskonstantene for blod er mindre enn for vev, så blodet reflekterer det meste av de korteste bølgelengde som blå og grønn. Fra tabellen kan vi også se kontrasten for de ulike bølgelengdene. Her kan vi se at kontrasten for blå og grønn har kontrast som er tilnærmet 1, mens for rød 0.28. Dette betyr at det er en høy blodabsorpsjon på disse fargekanalene, i motsetning til rød. Med andre ord kan vi konkludere med at den røde fargekanalen vil fungere best til pulsmåling, mens den blå vil fungere dårligst.

## 4.2 Transmittans

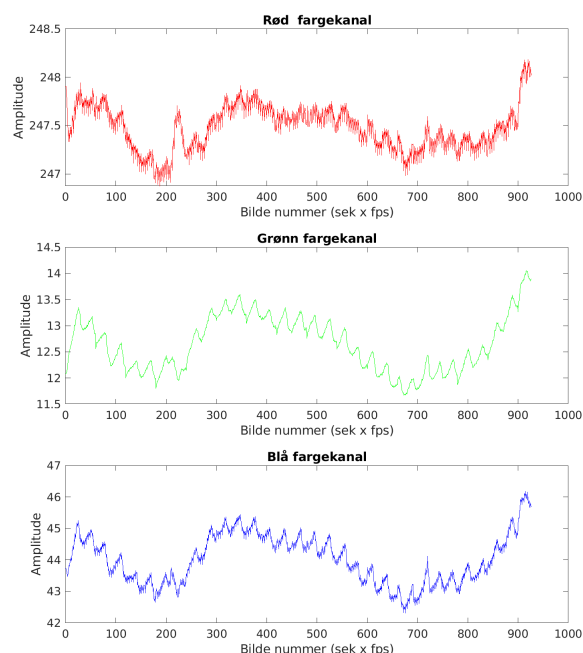
Med tanke på teorien og resultatene fra forarbeidet, var det antatt at den røde fargekanalen skulle dominere. Både visuelt og numerisk. Figur 4 er en skjermdump fra en av transmittansmålinene som ble gjort. Slik så fingeren ut med lyskilden på motsatt side. Den røde fargen var visuelt sterkest.



**Figur 4:** Skjermdump fra en av filmsnuttene. Bilde av en finger med lyskilden på motsatt side.

Etter behandling av filmsnuttene i en Python fil, appendix, hadde vi rådata som kunne brukes og manipuleres i Matlabkoden, appendix. Et eksempel på plotting av denne dataen, kan sees i figur 5. Hver graf er en betegnelse på hvor sterk fargen var til hvert stillbilde i videoen. Y-aksen viser amplituden. X-aksen viser tid ganger kameraets *fps*, tiden var som oftest 30 *sek* og *fps* for kameraet var på 30. Den røde grafen varierer rundt 247, den grønne rundt 11 og blå rundt 44. Teoretisk sett, skulle grønn være sterkere enn blå, noe resultatetene strider imot. Grafene ser ikke optimale ut; det er støy tilstede og periodesiteten er ikke så klar. Det er to drops i alle grafene ved bilde nummer 200 og 700, dette kan komme av en bevegelse under målingene. Støyen kan komme fra andre lyskilder i rommet. Før videre bruk av oppsamlet data, sørget vi for å bli kvitt støyet så mye som mulig ved å filtrere bort uønskede frekvenser.



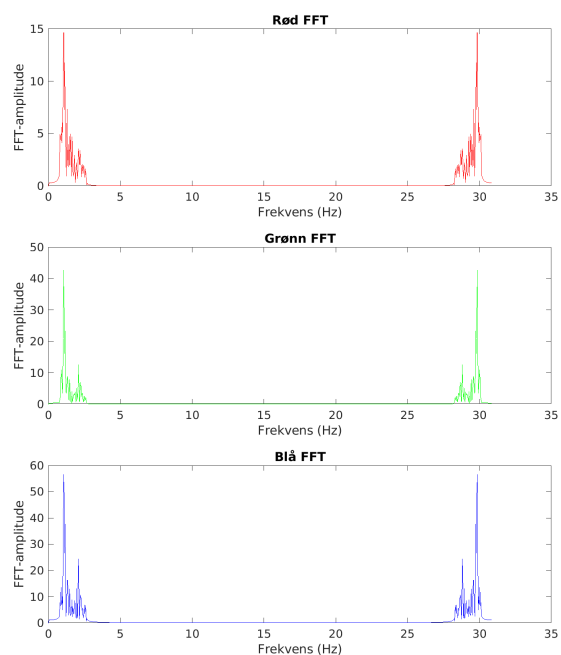


**Figur 5:** Rød, grønn og blå fargekanal for fargens styrke per bilde løpet av en video for transmittansmåling.

Videre tok vi fft av hver fargekanal for å finne pulsen. Figur 6 viser grafene til hver fargekanal, etter å ha tatt FFT. Indeksen til det første toppunktet i grafen gir en indikasjon på hjerterefrekvensen.  $1Hz$  i frekvensspekteret, x-aksen, tilsvarer 60 hjerteslag per minutt (*BPM*). Ved å gange frekvensen til toppunktet med 60 *BPM*, får man pulsen for hver fargekanal i enheten *BPM*.

Tabell 3 viser data på syv ulike transmittansmålinger. Det fem første målingene var for hvilepuls, og de to siste målingen var stresstester. Tabellen viser en oversikt over SNR for hver fargekanal i hver måling. Pulsen som ble målt ved vår innsamlet data, og tilsvarende referanse puls. Man ser så avviket i prosent for hver fargekanal. Til slutt tok vi standaravviket for fargekanalene.

Det er ingen klar sammenheng mellom fargekanalene og SNR veridene i våre resultater i tabell 3. Utifra figur 6 er det mulig at det er en tydelig topp, og at støyområdet har langt mindre amplitude. Dette gir dermed ganske greie tall for SNR, både i dB og vanlig. Det ble regnet på standardavvik for fargekanalene i hver av målingene, for å ha et tall på forskjeller mellom fargekanalene. Måling nummer to var den beste i forhold til standardavviket, det lå på 8. Her var det minst forskjell mellom pulsen for de ulike fargekanalene. Måling nummer tre gjorde det verst, med et standardavvik på 128. Det var stor forskjell på rød puls i forhold til grønn og blå puls i den målingen.



**Figur 6:** FFT av rød, grønn og blå fargekanal ved transmittansmåling.

Måling #	Fargekanal	SNR [dB]	SNR	Puls	Referanse puls	Avvik [%]	Standardavvik for fargekanalene
1	Rød	8.95	2.45	66	64	3.13	38.2
	Grønn	15.71	4.81	64		0.00	
	Blå	21.32	8.43	52		18.75	
2	Rød	21.84	8.88	66	68	2.94	8.0
	Grønn	15.92	4.91	72		5.88	
	Blå	15.91	4.91	72		5.88	
3	Rød	15.56	4.74	78	74	5.41	128.0
	Grønn	30.08	20.25	54		27.03	
	Blå	26.88	14.70	54		27.03	
4	Rød	6.53	1.92	68	65	4.62	46.2
	Grønn	13.52	3.87	56		13.85	
	Blå	9.98	2.71	72		10.77	
5	Rød	5.78	1.78	78	72	8.33	67.6
	Grønn	10.12	2.75	58		19.44	
	Blå	26.41	14.02	70		2.78	
6 (høyere puls)	Rød	19.67	7.15	60	99	39.39	74.7
	Grønn	10.85	2.96	76		23.23	
	Blå	16.34	5.12	80		19.19	
7 (målt på arm)	Rød	18.88	6.61	68	80	15.00	22.2
	Grønn	17.65	5.84	58		27.50	
	Blå	17.48	5.74	58		27.50	

Ved å se på gjennomsnittlig avvik på alle målinger for hver av fargekanalene, får man tall man kan sammenligne med

**Tabell 3:** Transmittans resultater

resultatene i tabell 1. Resultatene viste som sagt at rød fargekanal skulle presetere best, altså ha minst avvik, og blå farge kanal skulle fungere dårligst. Vi ville se om utrygge situasjon hadde en innvirkning på sluttresultatet, dermed lagde vi en tabell for gjennomsnittlig avvik for hver av fargekanalene, med og uten stresstestene. Der tabell 4 er uten avvik fra stresstestene og tabell 5 er med. I tabell 4 og 5 er det tydelig at rød fargekanal har minst avvik i forhold til referanse pulsen, både med og uten stresstestene. Den klareste forskjellen på tabell 4 og tabell 5 er at alle avvikene ble større, særlig avviket for rød fargekanal. Det var en høy usikkerhet på stresstestene, men trenden var den samme; rød fargekanal var mest presis.

Avvik rød fargekanal [%]	4.88
Avvik grønn fargekanal [%]	13.24
Avvik blå fargekanal [%]	13.04
Gjennomsnittlig avvik [%]	10.38

**Tabell 4:** Avvik i prosent for transmittansmålingene i forhold til referanse pulsen, uten stresstest.

Avvik rød fargekanal [%]	11.26
Avvik grønn fargekanal [%]	16.70
Avvik blå fargekanal [%]	15.99
Gjennomsnittlig avvik [%]	14.65

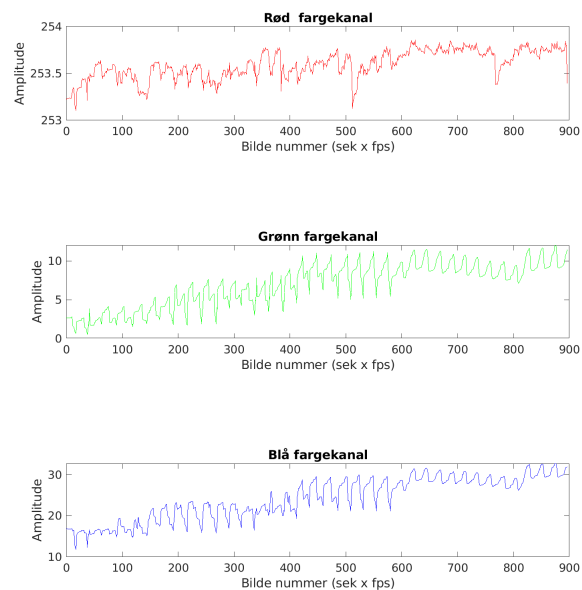
**Tabell 5:** Avvik i prosent for transmittansmålingene i forhold til referanse pulsen, med stresstest.

Ut ifra det vi antok med hensyn til teorien og forarbeidet, skulle blå fargekanal prestere dårligst. Dette er ikke en trend i våre resultater for transmittansmålingene. Avviket for de grønne fargekanalene er større enn for blå.

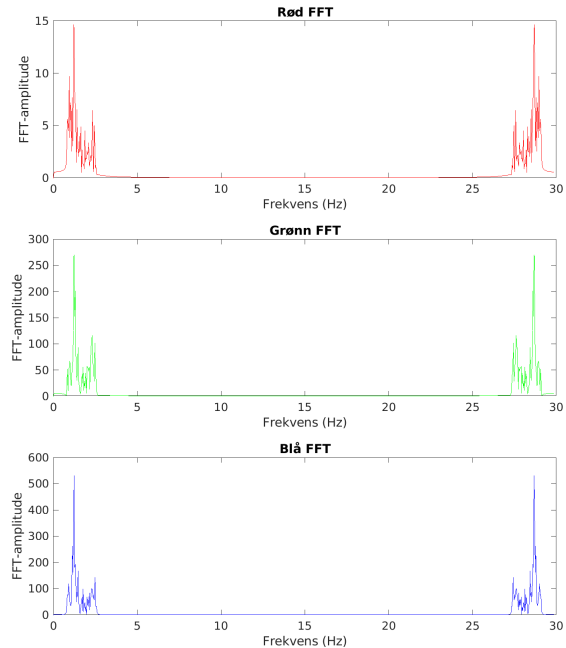
### 4.3 Reflektans

Igjen, var det antatt at rød fargekanal skulle prestere best for reflektansmålingene. Et plot for ett av reflektansmålingene kan sees i figur fargeref. Den røde grafen varierte rundt 250, den grønne rundt 5 og blå rundt 20. Igjen, var grønn svakere enn blå og rød sterkest. Signalene inneholdt støy, og en utydelig periode.

Figur 8 viser grafene til hver fargekanal, etter å ha filtrert signalet og tatt FFT.



**Figur 7:** Rød, grønn og blå fargekanal for fargens styrke per bilde løpet av en video for reflektansmåling.



**Figur 8:** FFT av rød, grønn og blå fargekanal ved reflektansmåling.

Tabell 6 viser data på syv reflektansmålinger. De fem første målingene var for hvilepuls, og de to siste målingen var stresstester.

Det er fremdeles ingen klar sammenheng mellom fargekanalene og SNR, men figur 8 viser det samme som i transmissjonsmålingene. Det er et klart skille på støygulvet og toppunktet vi er interessert i.

Måling nummer to of syv var de beste i forhold til standardavvik, de lå på 0.9. Her var det minst forskjell mellom pulsen for de ulike fargekanalene. Måling nummer seks gjorde det verst, med et standardavvik på 98.7. Det var stor forskjell på rød puls i forhold til grønn og blå puls i den målingen.

Måling #	Fargekanal	SNR [dB]	SNR	Puls	Referanse puls	Avvik [%]	Standardavvik for fargekanalene
1	Rød	16.18	5.04	72	74	2.70	24.9
	Grønn	3.14	1.37	84		13.51	
	Blå	13.43	3.83	80		8.11	
2	Rød	12.24	3.40	84	79	6.33	0.9
	Grønn	3.96	1.49	82		3.80	
	Blå	15.90	4.91	82		3.80	
3	Rød	7.23	2.06	70	70	0.00	3.6
	Grønn	17.29	5.63	66		5.71	
	Blå	18.08	6.10	66		5.71	
4	Rød	16.65	5.29	70	72	2.78	32.0
	Grønn	5.64	1.76	82		13.89	
	Blå	19.39	6.95	82		13.89	
5	Rød	18.32	6.24	80	75	6.67	2.7
	Grønn	13.69	3.93	84		12.00	
	Blå	23.82	10.83	82		9.33	
6 (høyere puls)	Rød	11.54	3.17	88	100	12.00	98.7
	Grønn	17.68	5.86	68		32.00	
	Blå	18.55	6.39	66		34.00	
7 (målt på arm)	Rød	1.92	1.21	118	79	49.37	0.9
	Grønn	11.10	3.04	120		51.90	
	Blå	2.48	1.28	118		49.37	

**Tabell 6:** Reflektans resultater

Tabell 7 er oversikt over avvik i prosent uten data fra stresstestene, og tabell 8 er med stresstestene. I tabell 7 og 8 er det tydelig at rød fargekanal har minst avvik i forhold til referanse pulsen, både med og uten stresstestene. Den klareste forskjellen på tabell 7 og tabell 8 er at alle avvikene ble større. Det var en høy usikkerhet på stresstestene, men trenden var den samme; rød fargekanal var mest presis.

Avvik rød fargekanal [%]	3.70
Avvik grønn fargekanal [%]	9.78
Avvik blå fargekanal [%]	8.17
Gjennomsnittlig avvik [%]	7.22

**Tabell 7:** Avvik i prosent for transmittansmålingene i forhold til referanse pulsen, uten stresstest.

Avvik rød fargekanal [%]	11.41
Avvik grønn fargekanal [%]	18.97
Avvik blå fargekanal [%]	17.74
Gjennomsnittlig avvik [%]	10.04

**Tabell 8:** Avvik i prosent for transmittansmålingene i forhold til referanse pulsen, med stresstest.

Ut ifra det vi antok med hensyn til teorien og forarbeidet, skulle blå fargekanal prestere dårligst. Dette er ikke en trend i våre resultater for reflektansmålingene. Avviket for de grønne fargekanalene er større enn for blå.



## Diskusjon

For målesituasjonen transmittans kan vi se ut ifra tabell 4 at avvikene for rød, grønn og blå fargekanal er hhv. 4.88%, 13.24% og 13.04% uten stresstesten tatt i betraktning. Her kan vi se at rød har den minste avvik som stemmer overens med teorien. Siden rød er den med lengst bølgelengde vil den trenge seg lengst inn i vevet og er da logisk at den har størst pulsutslag. Grønn har en litt mindre avvik enn blå som strider mot teorien. Siden den blå har minst bølgelengde er det gunstig at det er den som skal være mest absorbert. Dette kan skyldes huden som ble brukt i målesituasjonen ikke var helt hvitt men litt mørkere, så det er enklere for kameraet å ta opp de blå bølgelengdene. Om vi ser på tabell 5 er det avvikene med stresstestene tatt med. Her kan vi se at avvikene for alle fargekanalene har blitt større. Dette betyr at når vi utsetter oss for ulike scenarioer som påvirker pulsen vil vi få dårligere utslag enn for pulsen på fingeren.

For målesituasjonen reflektans kan vi se ut ifra tabell 7 at avvikene for rød, grønn og blå er hhv. 3.70%, 9.78%, og 8.17%. Her kan vi se at den røde fargekanalen igjen har det laveste avviket, etterfulgt av grønn også blå. Dette skyldes den samme teorien som har blitt nevnt om situasjonen for transmittans. For alle fargekanalene er avvikene mindre i forhold til avvikene i målesituasjonen transmittans. Dette kan være fordi når vi måler på samme sted som vi lyser vil vi kunne få en bedre pulsutslag generelt sett for alle fargekanalene på grunn av at det er større sannsynlighet for at lyset trenger inn i huden enn om vi hadde målt på den andre siden som det ble gjort i transmittans.((( Vi kan også se på måling 7 i tabell 6 for avvik når vi målte på armen at den er mye større for reflektans )))

I og med at avvik er relativt høy for alle fargekanalene for begge målesituasjonene kan dette skyldes feilkilder. En

ting er at kamera som ble brukt er fra mobilen som ikke er like god som en raspberry-pi kameraet som er egnet for slike eksperimenter. En annen ting er at bevegelse på mobilen under videoopptaket kan ha en negativ innvirkning på resultatet spesielt ved gjennomføring av stresstestene da man har vært i bevegelse lenge og ikke kan sitte helt stille under målesituasjonen. I tillegg så er stress 2 basert på å ta målinger i armen som er mye tykkere enn fingeren. Det er da naturlig å få høy avvik for transmittans, siden armen er mye tykkere enn fingeren. Videre kan andre lyskilder som taklys som flimrer vil ha en innvirkning på sluttresultatet.

## Konklusjon

