



HØGSKOLEN I SØR-TRØNDELAG

Avdeling for teknologi

Program for elektro- og datateknikk

7004 TRONDHEIM

Bacheloroppgave

Oppgavens tittel: Virtuell arm for funksjonshemmede Bachelor i elektro- og datateknikk: fordypning i elektronikk 3EE, våren 2009 Nettside: http://www.hekta.org/~hpe0915/index.html Project title: Virtual arm for impaired	Gitt dato: 26.01.2009
	Innlevingsdato: 25.05.2009
	Antall sider/bilag 65/1
Gruppedeltagere: Stian Rishaug +47 99 26 05 28 Bastian S. Solem +47 47 40 96 86 Aleksander Uthus +47 46 81 11 61 Vegard Øye +47 99 79 29 03	Veileder Herman Ranes Herman.Ranes@hist.no +47 73 55 96 06
Studieretning: Avdeling for teknologi Program for data og elektronikk Studieretning elektronikk	Prosjektnummer: E0915
Oppdragsgiver: SINTEF, avdeling for akustikk	Kontaktperson hos oppdragsgiver Tone Berg Tone.Berg@sintef.no +47 73 59 20 22

Fritt tilgjengelig ☐

Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver ☒

Rapporten frigitt etter

Sammendrag

På oppdrag fra SINTEF er det laget en prototype til en *tungestyrte musepeker* som kan brukes på Microsoft Windows via standard HID-musegrensesnitt. Musepekeren aktiveres av forspente trykkfølsomme resistanser av typen FSR-400 og FSR-402. Disse sensorene er svært følsomme, og har en hysteresefunksjon ved kontinuerlig trykk. Det er derfor laget en automatisk kalibreringsrutine som bruker av musen kan aktivere manuelt i tilfellet musepekeren oppfører seg uønsket.

For plassering av sensorene er det laget en justerbar *hodebøyle*. Hodebøylen er bygd av et noe svakt material, og måten sensorene er festet på, bør forskes videre på. Ved videreutvikling av den valgte designen kan hodebøylen bli meget bra.

Elektronikken som behandler data og «styrer» musepekeren, er demokretsen *AT90USBKey* fra Atmel. Kretsen har innebygde ADC-er, som benyttes til tolking av sensordata. Den gjør bruk av USB-grensesnittet for overføring av data, så vel som energitilførsel. Det er integrert en spenningsregulator som benyttes til å forspenne sensorene. Regulatoren er sterk nok til å forsyne eventuelle tilleggskreter.

Programkoden er skrevet for å være fleksibel angående antall sensorer og portene de kobles til, så vel som valg av mikrokontroller. Programkoden foreligger som vedlegg til rapporten.

Bruk av musen fungerer slik: Brukeren starter en bevegelse og stopper eller endrer retning ved ønsket plassering. Pekeren seg langsomt til å begynne med for å gi god presisjon. Man kan snakke mens man beveger musepekeren over skjermen, og det er mulig å be venstre museknapp være aktiv mens man beveger musepekeren over skjermen. Det er også mulig å sette musen i en «scroll»-modus som gjør surfing av nettsider og lesing av dokumenter meget behagelig.

Utgiftene ved prosjektet var minimale, estimert til ca. 2000 NOK.

På bakgrunn av rapporten konkluderer prosjektgruppen med at *det er mulig å lage en tungestyrte musepeker med de valgte sensorene*. Det mekaniske og ergonomiske må imidlertid forbedres for å få et salgbart produkt.

Forord

Rapporten er en avsluttende bacheloroppgave i elektro- og datateknikk: fordypning i elektronikk ved Høyskolen i Sør-Trøndelag. Oppgaven er definert i samarbeid med SINTEF og veileder Herman Ranes fra HiST. Arbeidet er utført i HiST sine lokaler og har hatt en varighet fra 26. januar 2009 frem til 25. mai 2009. Rapporten er et resultat av drøye 4 måneders forskning og uttesting av en prototype for en tungestyrtdatamus som kan brukes i Microsoft Windows. Bakgrunnen for oppgaven er å gi en konklusjon til SINTEF, om det er mulig bruke trykkresistive følere av typen FSR-400 og FSR-402 for dette formålet. Det er ønsket å kunne gi et svar på om denne teknologien er tilstrekkelig for å gi en løsning på problemstillingen.

Vi vil i denne anledning rette en takk til

Ansatte ved HiST

Herman Ranes
Rolf Kristian Snilsberg

Personer med tilknytning til rapporten

Tone Berg
Mats Ekström

Trondheim, 24. mai 2009

Innhold

Sammendrag	2
Forord	4
1 Innledning	9
1.1 Bakgrunn/tidligere løsninger	9
1.2 Problemstilling	9
1.2.1 Hva skal gjøres og hvordan	9
1.2.2 Overordnet spesifikasjon av konseptet	10
2 Sensorene (Solem og Øye)	11
2.1 Teori: forspenning av trykksensorene	11
2.2 Målinger	14
2.2.1 Motstandsverdi ved varierende trykk	14
2.2.2 Spenningsverdi ved økende trykk, vektene av	16
2.2.3 Spenningsverdi ved økende trykk, vektene ikke av	20
3 Hodebøyle (Uthus)	25
3.1 Problemstilling	25
3.2 Gjennomføring	26
3.3 Resultat	28
4 X-box (Uthus)	31
4.1 Problemstilling	31
4.2 Gjennomføring	31
4.3 Resultat	32
5 Elektronikk (Rishaug og Solem)	33
5.1 Problemstilling	33
5.2 Valg av krets	33
5.3 Strømforsyning	34
5.4 USB-grensesnitt	34
6 Funksjonalitet (Solem og Øye)	37
6.1 Problemstilling	37
6.2 Plassering av sensorene	37
6.3 Første tilnærming	38

6.3.1	Avlesning av én sensor	40
6.3.2	Avlesning av flere sensorer	41
6.3.3	Drøfting	41
6.4	Andre tilnærming	43
6.4.1	Normalmodus	43
6.4.2	«Dra»-modus	45
6.4.3	«Scroll»-modus	46
6.4.4	Drøfting	46
7	Testing med tungen (Rishaug og Solem)	47
7.1	Problemstilling	47
7.2	Tester	47
7.2.1	Resultater første tilnærming	48
7.2.2	Resultater andre tilnærming	50
8	Prisestimering (Rishaug og Solem)	53
8.1	Utviklingskostnader	53
9	Konklusjon	55
10	Veien videre	57
10.1	Hodebøylen	57
10.2	Elektronikk	57
10.2.1	Bruk av batteri som strømforsyning	58
10.2.2	Bluetooth	58
	Bibliografi	59
	Bilag: CD	59
	Figurer	63
	Tabeller	65

1 Innledning

***Sammendrag:** Resultatet av prosjektet skal bli en prototype for tungestyrte musepeker som kan brukes på Microsoft Windows. Denne prototypen skal lages med trykksensitible resistanser. Ettersom det ikke finnes noe tilsvarende produkt på det norske markedet, kan et vellykket produkt dekke et viktig behov for funksjonshemmede som er ute av stand til å bruke en håndstyrt datamus.*

1.1 Bakgrunn/tidligere løsninger

Bacheloroppgave på oppdrag fra SINTEF: Det skal bygges et verktøy for funksjonshemmede som lar datamusen styres med tungen. Prosjektet fokuserer på å kartlegge hvor godt ideen med tungsensorer fungerer i praksis. Overfor oppdragsgiver er det *toårig taushetsplikt*, siden oppdragsgiver ønsker å kunne bruke resultatene av prosjektet til egne formål. Prosjektgruppen består av fire studenter på tredje året bachelor i elektro- og datateknikk: fordypning i elektronikk ved Høgskolen i Sør-Trøndelag. Ved tidligere prosjekter er det gjort forsøk med:

- Induktive følere (reagerer på metall og er billige i innkjøp)
- Touch (en form for kapasitiv føler)
- IR (Vanskelig metode for avlesning)
- Kapasitive følere (svært dyre i innkjøp)

Det er ønskelig at gruppen starter prosjektet fra «scratch», for å se om resultatet benytter seg av alternative metoder til dem som er brukt tidligere.

1.2 Problemstilling

Ved endt prosjekt skal det legges frem en prototype som kan styre musepekeren i Microsoft Windows ved bruk av tungen, og som har de samme mulighetene som en ordinær mus. Prosjektgruppen har fått utdelt trykksensorer (FSR-400 og FSR-402), produsert av Interlink Electronics (sensorene kapittel 2). Prosjektet skal kunne svare på om sensorene kan brukes til et ferdig produkt. Det skal kommes frem til en konfigurasjon av sensorplassering, og algoritmer for behandling av sensordata.

1.2.1 Hva skal gjøres og hvordan

- Kartlegge hvordan de utdelte sensorene kan brukes (kap. 2).
- Det skal lages en hodebøyle for enkel bruk av datamusen (kap. 3).
- Det skal lages en krets for signalbehandling, fortrinnsvis en mikrokontroller med ADC (kap. 5).

- Overføringsgrensesnitt mot Microsoft Windows – Bluetooth/USB (kap. 5).
- Det skal tas standpunkt til hvor prosesseringen av data skal foregå, før eller etter signalet har kommet til datamaskinen (kap. 5).
- Valg av sensorkonfigurasjon, antall og plassering, brukergrensesnitt (kap. 6).
- Program for tolkning av avlest sensordata må skrives (kap. 6).

1.2.2 Overordnet spesifikasjon av konseptet

Bruken av funksjonene er beskrevet i kapittel 6, som tar for seg funksjonalitet og brukergrensesnitt. Konseptet skal inneholde disse standard musefunksjonene:

- Bevegelse
 - Horisontal
 - Vertikal
 - Diagonalt
 - 3 Hastigheter
- Knapper
 - Venstre museknapp
 - Høyre museknapp
 - Scroll

Festemekanismen beskrevet i kapittel 3 er en hodebøyle med disse spesifikasjonene:

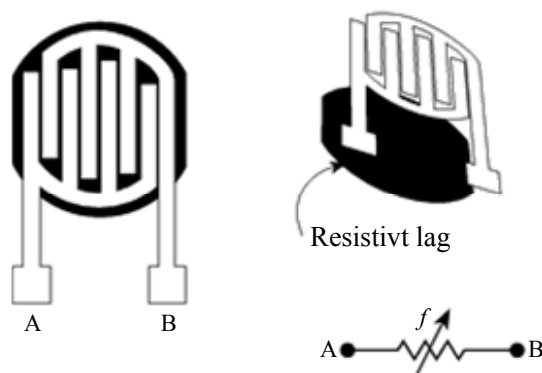
- Behagelig å bruke, også over lengre tid (viktig at det ikke er for tungt).
- Uproblematisk å ta utstyret av/på for en person som skal hjelpe brukeren.
- Tilpassningsmulighet for flere brukere uansett hodestørrelse/form.
- Det skal være et godt press på sensorene mot kinnet, slik at det er lett å bruke musen.

For hodebøylene er utseendemessig design nedprioritert. Av funksjoner er ingen valgt bort.

2 Sensorene

Sammendrag: Tar for seg forspenningskretsen i teori og praksis. Teorien tilsier at sensorene bør forspennes med en motstand på 8–15 k Ω . Målingene viser hvordan sensorene oppfører seg under ulike omstendigheter. Sensorkarakteristikken setter krav til en dynamisk verdi for hendelsesaktivering, og kontinuerlig kalibrering.

2.1 Teori: forspenning av trykksensorene



Figur 2.1: Resistive trykksensorer

Sensorene som brukes, er *resistive trykksensorer* (fig. 2.1), eller trykkfølsomme motstander. De består av to deler: polymerbasert tykkfilm koblet til et resistivt materiale, og polymerbasert tykkfilm koblet til elektroniske kontakter. Polymer er en type bindingsmiddel som brukes på motstander og ledere. Når dette presses sammen, gir det økt konduktivitans (lederevne) gjennom kretsen [Vedlegg 2].

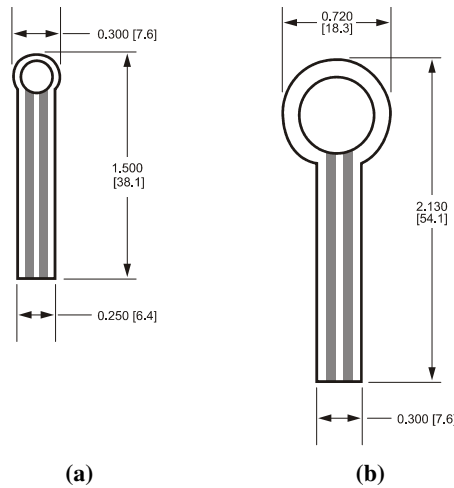
Dermed fungerer sensorene som en variabel motstand under trykk (jo høyere trykk, jo lavere resistans), og som et brudd (uendelig resistans) ellers.

Sensorene, som produseres av Interlink Electronics,* kommer i to typer (fig. 2.2): (a) en *liten* sensor med en diameter på 8 mm (FSR-400), og (b) en *stor* sensor på 18 mm (FSR-402). Det trykkfølsomme området er litt mindre og er på hhv. 5 mm og 14 mm.

For å få målbare trykkverdier, må sensorene *forspennes* (fig. 2.3a). Hver sensor kobles i serie med en motstand R , som går til jord. I den andre enden påtrykkes en tilførselsspenning V_{CC} på 3,3 V. Dette oppsettet gir en spenningsdeling mellom sensorresistansen, R_S , og R :

$$V_{IN} = V_{CC} \cdot \frac{R}{R_S + R} \quad (2.1)$$

*Nettside: <http://www.interlinkelectronics.com/>.



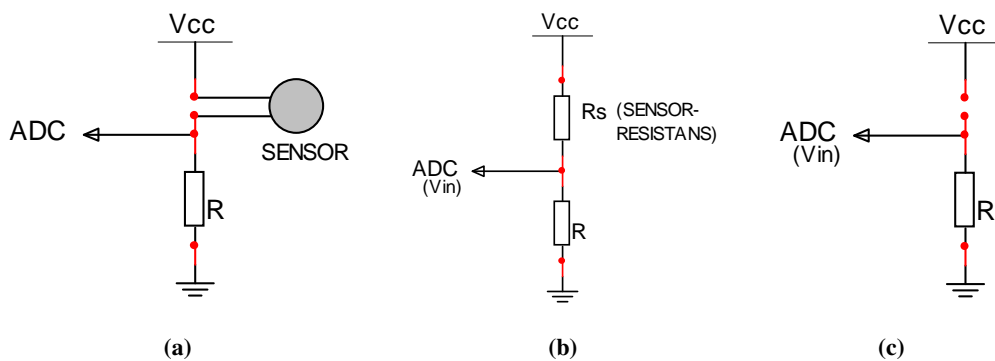
Figur 2.2: Sensor type FSR-400 (a), sensor type FSR-402 (b).
Millimetermål er gitt i klammer.

V_{IN} sendes inn på analog-til-digital-omformerer på kortet (ADC-en), og er altså verdien som programmet på mikrokontrolleren «ser». Gjennom ADC-en får vi en overgang fra den *fysiske* størrelsen V_{IN} til den *digitale* 8-bit verdien $ADC_VARIABLE$ i programkoden:

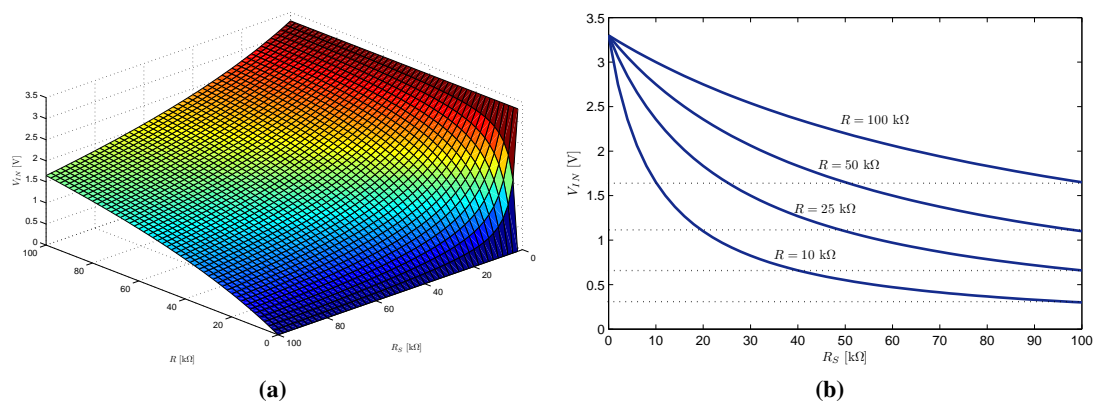
$$ADC_VARIABLE = \frac{V_{IN} \cdot 255}{V_{REF}} \quad (2.2)$$

V_{REF} er referansespenningen og er lik V_{CC} . Den maksimale verdien for $ADC_VARIABLE$, 255, svarer dermed til 3,3 V, og $ADC_VARIABLE$ er proporsjonal med V_{IN} .

For å velge en passende verdi for forspenningsmotstanden R , må vi se hvordan den påvirker forholdet mellom trykk og spenning. Dette forholdet kan brytes opp i to mindre: forholdet mellom trykk (ρ) og sensorresistans (R_S), og forholdet mellom sensorresistans (R_S) og målt spenning (V_{IN}).



Figur 2.3: Forspenning av trykksensor (a), spenningsdeling (b) og brudd (c)



Figur 2.4: V_{IN} som funksjon av R og R_S , ligning (2.1)

Målinger på ρ – R_S -forholdet er gitt i avsnitt 2.2, og kan i korte trekk oppsummeres slik: for lette trykk er $R_S \approx 100 \text{ k}\Omega$, og for harde trykk går R_S ned til $20 \text{ k}\Omega$, med sterkt avtagende stigning (fig. 2.10, s. 21). Forholdet er altså sterkt ulineært: R_S er stor når ρ er liten, og R_S er liten når ρ er stor.

Det samme gjelder for R_S – V_{IN} -forholdet, gitt i ligning (2.1): når den ene går opp, går den andre ned. Summen av disse to «inverse» forholdene er at ρ og V_{IN} øker i takt: når trykket øker, så øker den målte spenningen, og når trykket minker, så minker spenningen. Når $\rho = 0$, så er også $V_{IN} = 0$, og i programkoden har `ADC_VARIABLE` verdien 0. Dette er det ideelle *nullnivået*, verdien når sensoren ikke er i bruk.

Hvis 0 V er spenningen som måles for intet trykk, hva er da spenningen for et lett trykk (når $R_S = 100 \text{ k}\Omega$)? Det er viktig at denne verdien ikke er for lav, ellers vil den ikke reliabelt kunne skilles fra nullnivået: $V_{IN\min} > 0 \text{ V}$. Figur 2.4 viser hvordan forspenningsmotstanden R innvirker på forholdet mellom R_S og V_{IN} . Når sensoren tas i bruk, vil vi få et *sprang* på minst minimumsverdien, $V_{IN\min}$, som selvfølgelig ikke bør være så lav at spranget ikke registreres. Men den bør heller ikke være for høy, ellers får vi ikke utnyttet intervallet av V_{IN} -verdier (verdiområdet) skikkelig.

Vi ser også at sammenhengen mellom R_S og V_{IN} blir *mer ulineær* for lavere verdier av R . Ulinearitet er ikke nødvendigvis negativt. Si at vi ønsker at pekerfarten skal være konstant for lette trykk ($R_S = 40\text{--}100 \text{ k}\Omega$), men at den skal øke for harde trykk ($R_S < 40 \text{ k}\Omega$). Da er det gunstig med *lav oppløsning* for «lette trykk» og *høy oppløsning* for «harde trykk». Det vil si at vi bruker en større del av intervallet av V_{IN} -verdier til å differensiere mellom de «harde trykkene», mens de «lette trykkene» delegeres til et snevrere utsnitt.

Veier vi disse hensynene opp mot hverandre, ser vi at en motstand på $8\text{--}15 \text{ k}\Omega$ kan være egnet. Dette gir $V_{IN\min} = 0,24\text{--}0,43 \text{ V}$, som svarer til `ADC_VARIABLE` = 19–33: godt over det ideelle nullnivået, og god utnyttelse av verdiområdet.

Men hvordan fungerer sensorene i praksis? Endres sensorresistansen over tid? Er nullnivået alltid 0 V? For å få svar på disse spørsmålene, må vi foreta noen målinger.

2.2 Målinger

For å fastslå hvordan sensorene oppfører seg under ulike omstendigheter, er det foretatt tre forskjellige typer målinger på sensorene. Denne informasjonen er nødvendig for å avgjøre sensorenes muligheter og begrensninger. Utstyret som er benyttet for disse målingene er gitt i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Utstyrsliste

Instrument/maskin	Type/data
Motstand	8,2 k Ω
Spenningsforsyning	4,5 V $\overline{=}$
Vektenhet	4,35 g (kronestykke)
Vektarm	18 g
Multimeter	

For å øve et konstant trykk på sensorene, er det brukt en arm som det blir lagt vektenheter på, figur 2.6. Hvor på sensorens overflate trykket settes, innvirker på motstandsverdien, men armen sørger for å holde kontaktflaten og trykkområdet tilnærmet konstant, figur 2.7. Uten vektenheter veier armen 18 g.

2.2.1 Motstandsverdi ved varierende trykk FSR-400

Motstandsverdien til R_S (i k Ω) måles som direkte følge av trykk på overflaten til en sensor av typen FSR-400 (*liten sensor*). Målingene foretas med 5 s mellomrom. Hensikten med denne målingen er å se hvordan et konstant trykk påvirker R_S over tid og hva som skjer når trykket minker. Går R_S -verdien tilbake til utgangspunktet, eller er den endret som følge av at sensoren har vært i bruk? Dette er et viktig spørsmål hva nullnivået angår (tidligere omtalt på s. 13).

Måleresultatene er gitt i tabell 2.2 og figur 2.5.

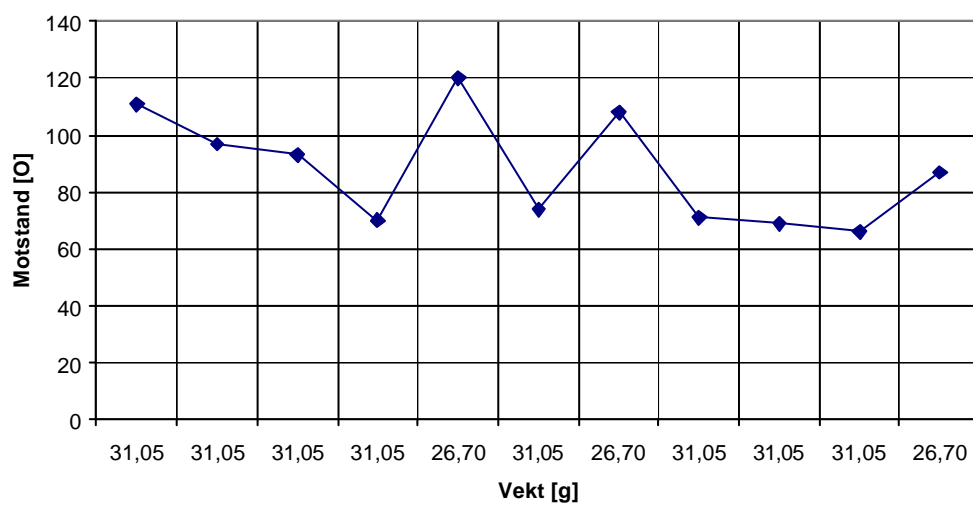
2.2.1.1 Drøfting av resultatene

Som man kan se av tabell 2.2 er resistansen i sensoren ved 26,7 g (tilstand 0) lik uendelig – sensoren leder ikke. Når trykket så øker til 31,05 g (tilstand 1), leder sensoren. Deretter lar man sensoren være i tilstand 1 i 20 s, og observerer at resistansen minker, se figur 2.5. Men når man nå går tilbake til tilstand 0, kan man se at sensoren *fortsatt leder*.

Sensorresistansen har altså en slags *hysteresefunksjon*. Over tid vil denne hysteresen øke noe. Dette må det tas høyde for når sensorene skal avleses: Man kan ikke sammenligne de avleste verdiene med et fastsatt nullnivå på 0 V, men må i stedet sørge for å *kalibrere* nullnivået med jevne mellomrom.

Tabell 2.2: Liten sensor, varierende vekt

Vektenheter [stk.]	Tillegg til arm [g]	Total vekt [g]	R_S [k Ω]
0	0,00	18,00	–
2	8,70	26,70	–
3	13,05	31,05	111
3	13,05	31,05	97
3	13,05	31,05	93
3	13,05	31,05	70
2	8,70	26,70	120
3	13,05	31,05	74
2	8,70	26,70	108
3	13,05	31,05	71
3	13,05	31,05	69
3	13,05	31,05	66
2	8,70	26,70	87



Figur 2.5: Liten sensor, varierende vekt (tabell 2.2)

2.2.2 Spenningsverdi ved økende trykk, vektene av mellom hver måling

Sensorene blir koblet opp som i figur 2.3 og spenningen over R blir målt ved trykk på sensoren. Mellom hver måling tas vektene av, og trykket blir 18 g.* Målingene foretas 5 s etter at vekten er lagt på. Spenningen som måles er spenningen ADC-en på kortet ser, så hensikten er å måle hvordan spenningen stiger ved enkelttrykk.

For målingene gjelder ligning (2.1), s. 11, samt sammenhengene

$$R_S = \frac{V_{CC} - V_R}{I_R} \quad (2.3)$$

$$I_R = \frac{U_R}{R} \quad (2.4)$$

Målingene er foretatt med $V_{CC} = 4,5 \text{ V}$ og $R = 8,2 \text{ k}\Omega$. Valget av verdier er basert på utstyret som var tilgjengelig da målingene ble foretatt.

Resultatene for *liten sensor* (FSR-400) er gitt i tabell 2.3 og figur 2.8, og resultatene for *stor sensor* (FSR-402) er gitt i tabell 2.4 og figur 2.9.

2.2.2.1 Drøfting av resultatene

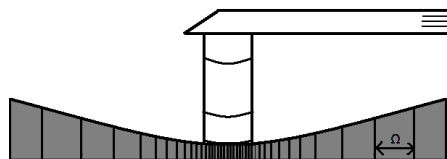
Av figur 2.8 og 2.11, som viser spenning og motstand mot trykk for hhv. liten og stor sensor, kan man se at de to typene gir ganske like resultater. Den store sensoren har en noe brattere kurve. Dette kan komme av den større overflaten, og at buen på overflatemembranen minker resistansen over et større område enn det som faktisk er i kontakt med armen, illustrert i figur 2.7.

Det kommer frem av resultatene i figur 2.8a og figur 2.9a at spenningens stigningsendring er ganske jevnt fordelt over trykkområdet. Det er derimot ikke den fallende endringen til sensorverdien som man kan se i figur 2.8b og figur 2.9b. Dette skyldes den ulineære sammenhengen i ligning (2.1).

Spenningsstigningen har noen ujevnheter, dette kan være fordi kontaktpunktet har en unøyaktighet på $\pm 1 \text{ mm}$ når vektene tas av.



Figur 2.6: Arm for å legge vekt(er) på sensorene



Figur 2.7: Sensor under trykk

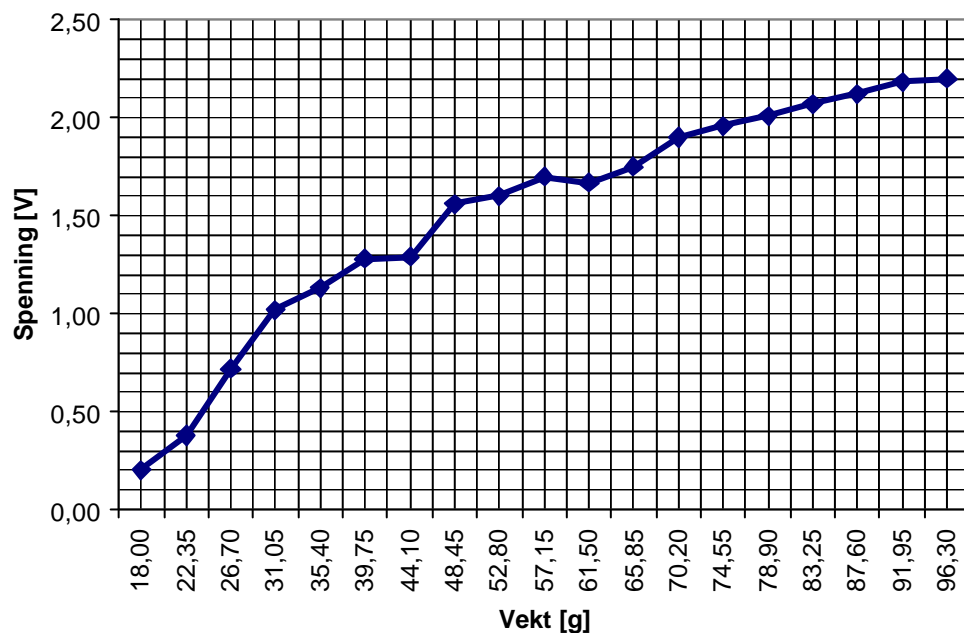
*Lar målearmen ligge for å holde trykkområdet konstant. Vekten på armen er så liten at sensorene påvirkes minimalt av denne, se kapittel 2.2.1

Tabell 2.3: Liten sensor, økende vekt, vektene av mellom hver måling

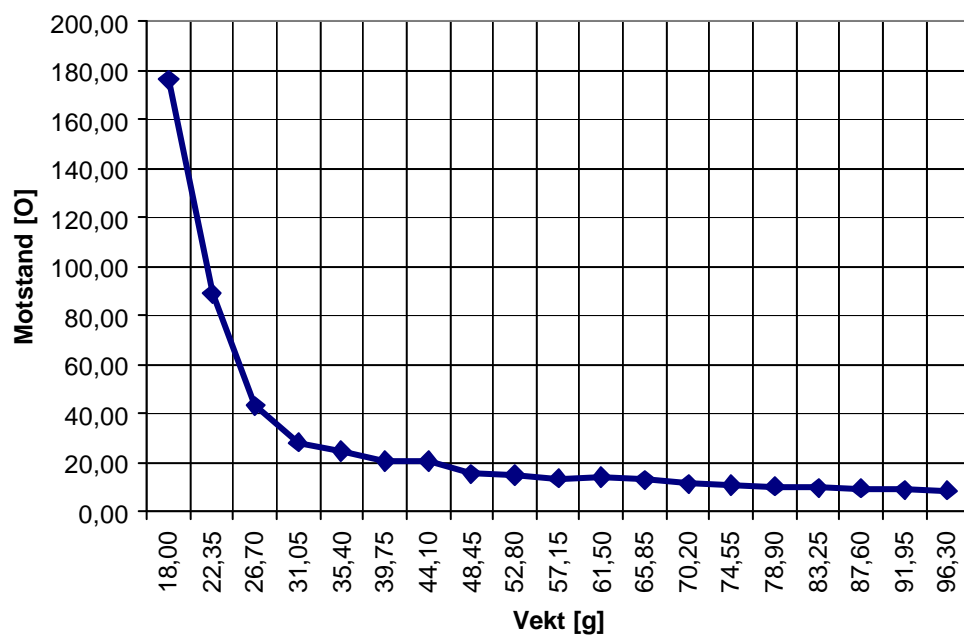
V_R [V]	Vekt [g]	Vektenheter [stk.]	Utr. I_R [μ A]	Utr. R_S [k Ω]
0,20	18,00	0	24,39	176,30
0,38	22,35	1	46,34	88,91
0,72	26,70	2	87,80	43,05
1,02	31,05	3	124,39	27,98
1,13	35,40	4	137,80	24,45
1,28	39,75	5	156,10	20,63
1,29	44,10	6	157,32	20,40
1,56	48,45	7	190,24	15,45
1,60	52,80	8	195,12	14,86
1,70	57,15	9	207,32	13,51
1,67	61,50	10	203,66	13,90
1,75	65,85	11	213,41	12,89
1,90	70,20	12	231,71	11,22
1,96	74,55	13	239,02	10,63
2,01	78,90	14	245,12	10,16
2,07	83,25	15	252,44	9,63
2,12	87,60	16	258,54	9,21
2,18	91,95	17	265,85	8,73
2,20	96,30	18	268,29	8,57

Tabell 2.4: Stor sensor, økende vekt, vektene av mellom hver måling

V_R [V]	Vekt [g]	Vektenheter [stk.]	Utr. I_R [μ A]	Utr. R_S [k Ω]
0,27	18,00	0	32,93	128,47
0,63	22,35	1	76,83	50,37
0,96	26,70	2	117,07	30,24
1,25	31,05	3	152,44	21,32
1,35	35,40	4	164,63	19,13
1,54	39,75	5	187,80	15,76
1,65	44,10	6	201,22	14,16
1,65	48,45	7	201,22	14,16
1,67	52,80	8	203,66	13,90
1,80	57,15	9	219,51	12,30
1,90	61,50	10	231,71	11,22
1,94	65,85	11	236,59	10,82
2,08	70,20	12	253,66	9,54

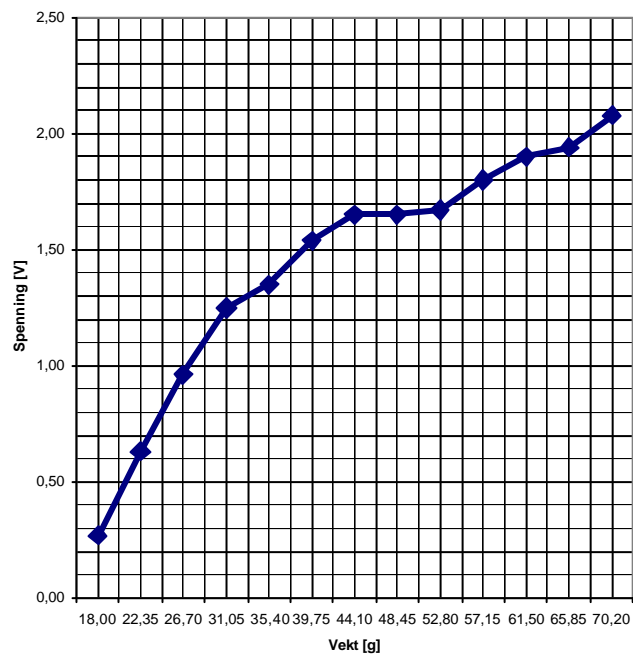


(a) Spenning mot trykk

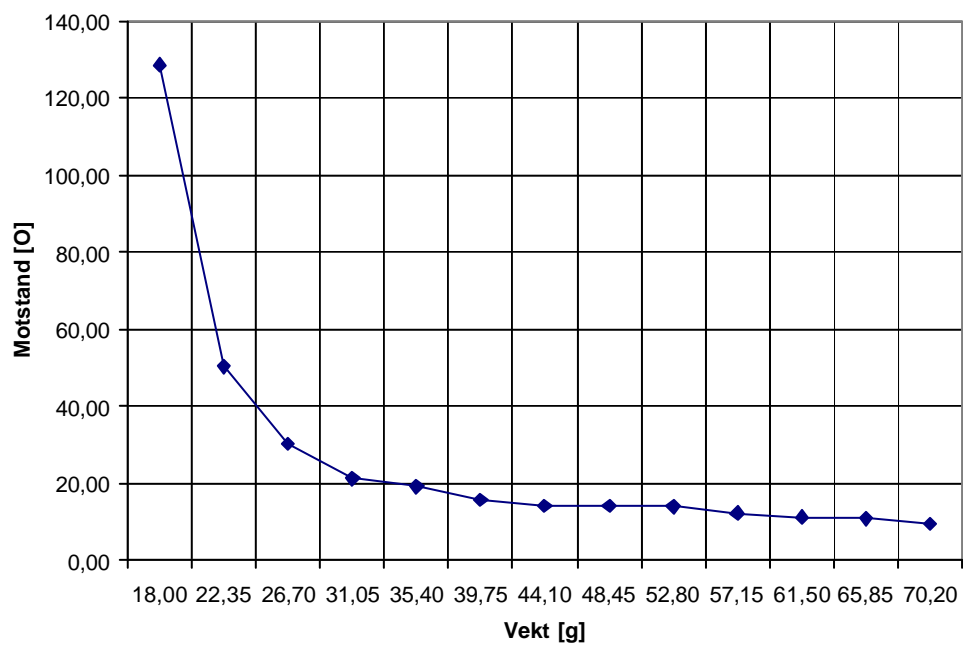


(b) Motstand mot trykk, utregnet fra (a)

Figur 2.8: Liten sensor, økende vekt, vektene av mellom hver måling (tabell 2.3)



(a) Spennning mot trykk



(b) Motstand mot trykk, utregnet fra (a)

Figur 2.9: Stor sensor, økende vekt, vektene av mellom hver måling (tabell 2.4)

2.2.3 Spenningsverdi ved økende trykk, vektene ikke av

Som tidligere i avsnitt 2.2.2 måles spenningen over R , men vektene blir nå *ikke* tatt av mellom hver måling. Dette er for å minske muligheten for bevegelse på armen, og for å vise forventet spenning/spenningsendring i tilfelle konstant trykk på sensoren. Her venter man 15 s mellom målingene for å la verdien bli tilnærmet stabil før vekten økes.

Resultatene for liten sensor er gitt i tabell 2.5 og figur 2.10, og resultatene for stor sensor er gitt i tabell 2.6 og figur 2.11.

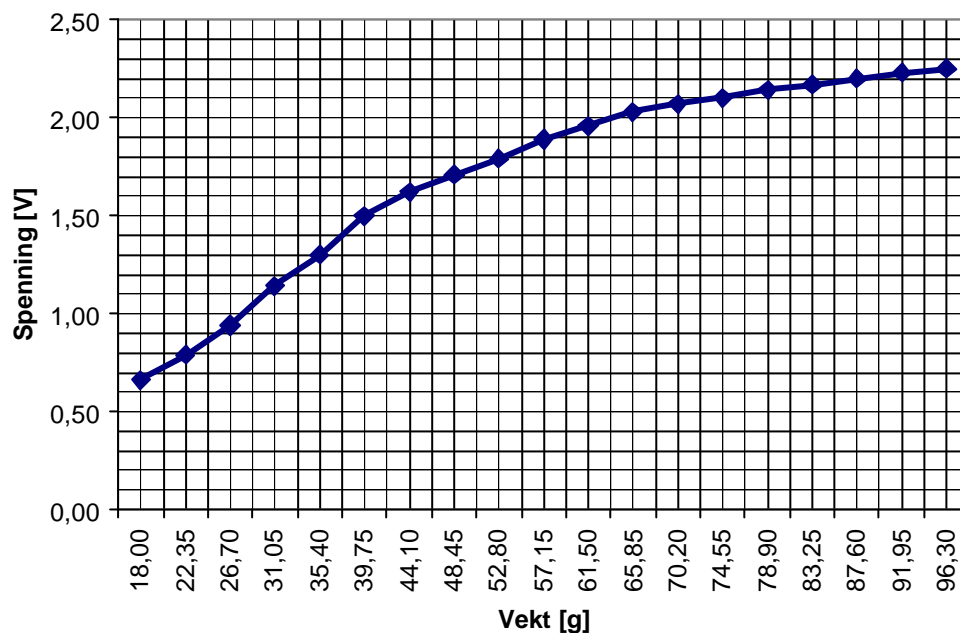
2.2.3.1 Drøfting av resultatene

Ved å sammenligne figurene 2.8 og 2.10 (for liten sensor) og 2.9 og 2.11 (for stor sensor), kan man se at de er ganske like. Den første avlesningen gir imidlertid en mye høyere spenning enn tidligere: Det er nå en differanse på ca. 0,25–0,50 V. Denne differansen synker til ca. 0,00–0,15 V ved 70,20 g. Følgen er en lavere stigning enn for enkelttrykkene.

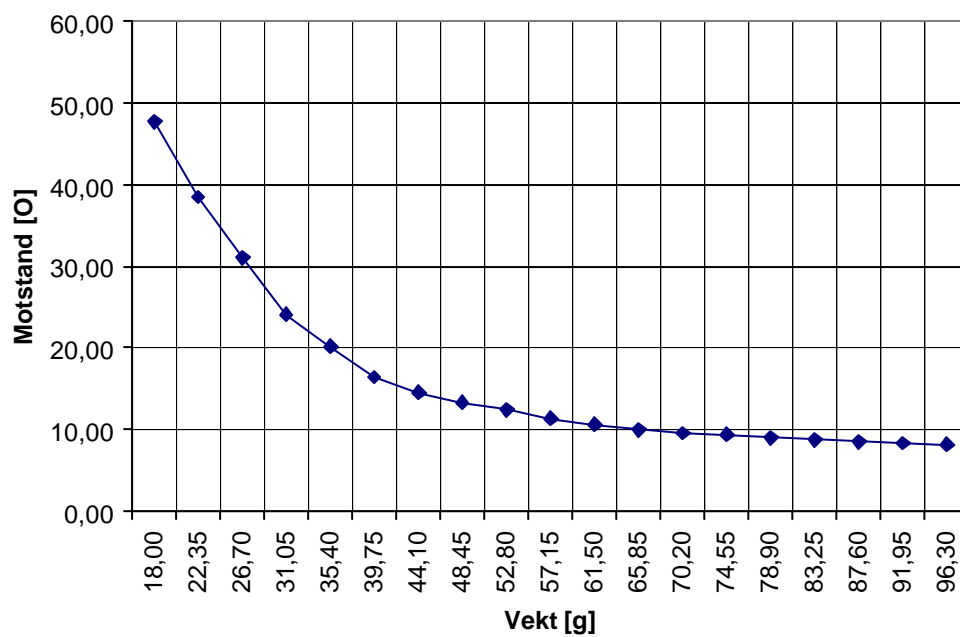
Dette understreker viktigheten av kontinuerlig kalibrering av nullnivået. Det de avleste sensorverdiene blir sammenlignet med for å fastslå om de er i bruk, kan ikke være en konstant – ellers vil man kunne få hendelsesaktivering som følge av at hodebøylen presser mot kinnet. Sensorene setter krav til en *dynamisk verdi* for hendelsesaktivering.

Tabell 2.5: Liten sensor, økende vekt, vektene ikke av mellom målingene

V_R [V]	Vekt [g]	Vektenheter [stk.]	Utr. I_R [μ A]	Utr. R_S [k Ω]
0,66	18,00	0	80,49	47,71
0,79	22,35	1	96,34	38,51
0,94	26,70	2	114,63	31,06
1,14	31,05	3	139,02	24,17
1,30	35,40	4	158,54	20,18
1,50	39,75	5	182,93	16,40
1,62	44,10	6	197,56	14,58
1,71	48,45	7	208,54	13,38
1,79	52,80	8	218,29	12,41
1,89	57,15	9	230,49	11,32
1,96	61,50	10	239,02	10,63
2,03	65,85	11	247,56	9,98
2,07	70,20	12	252,44	9,63
2,10	74,55	13	256,10	9,37
2,14	78,90	14	260,98	9,04
2,17	83,25	15	264,63	8,80
2,20	87,60	16	268,29	8,57
2,23	91,95	17	271,95	8,35
2,25	96,30	18	274,39	8,20



(a) Spennings mot trykk

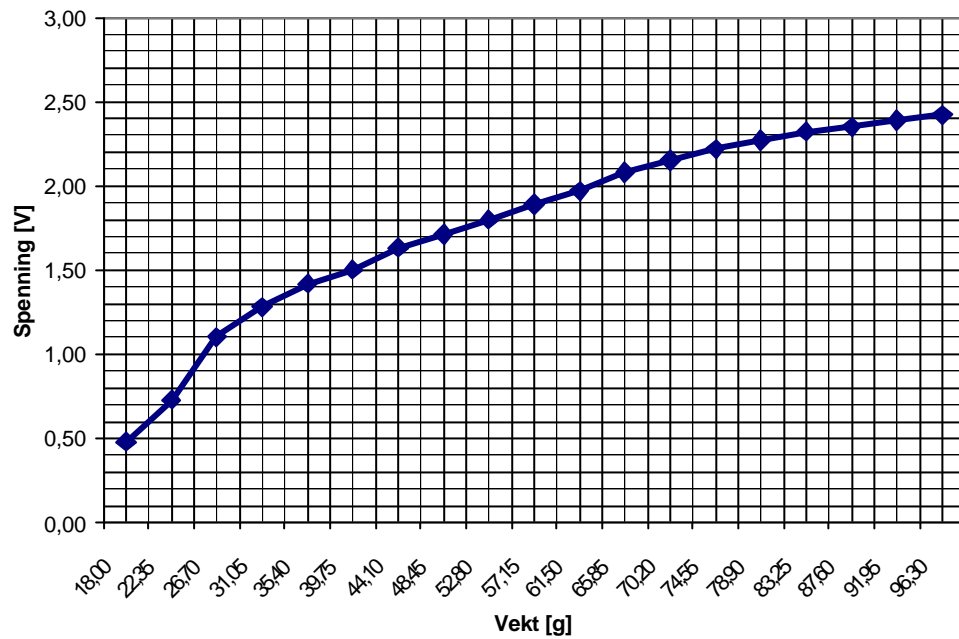


(b) Motstand mot trykk, utregnet fra (a)

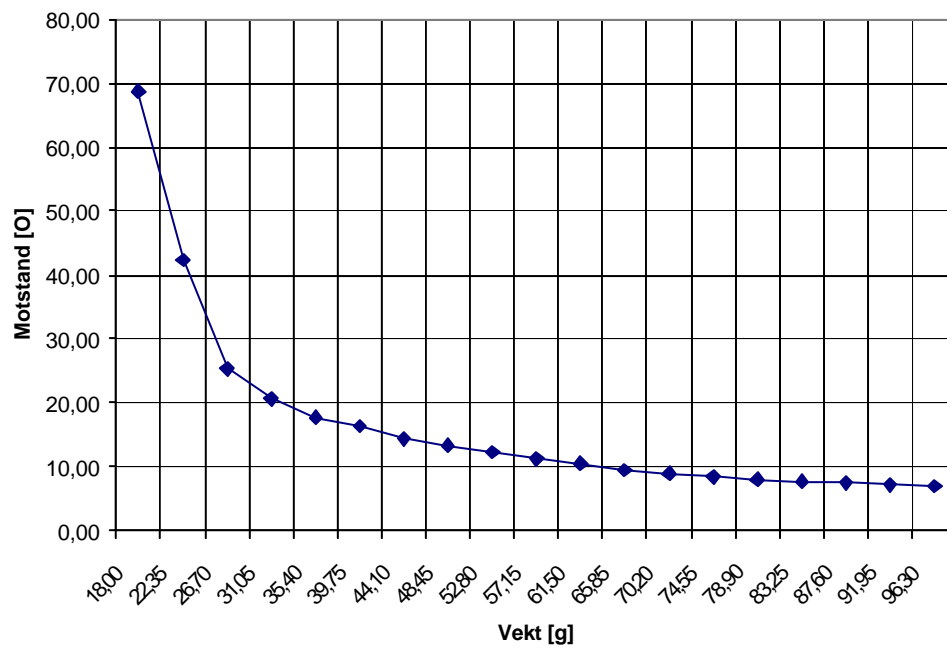
Figur 2.10: Liten sensor, økende vekt, vektene ikke av mellom målingene (tabell 2.5)

Tabell 2.6: Stor sensor, økende vekt, vektene ikke av mellom målingene

V_R [V]	Vekt [g]	Vektenheter [stk.]	Utr. I_R [μ A]	Utr. R_S [k Ω]
0,48	18,00	0	58,54	68,68
0,73	22,35	1	89,02	42,35
1,10	26,70	2	134,15	25,35
1,28	31,05	3	156,10	20,63
1,42	35,40	4	173,17	17,79
1,50	39,75	5	182,93	16,40
1,63	44,10	6	198,78	14,44
1,71	48,45	7	208,54	13,38
1,80	52,80	8	219,51	12,30
1,89	57,15	9	230,49	11,32
1,97	61,50	10	240,24	10,53
2,08	65,85	11	253,66	9,54
2,15	70,20	12	262,20	8,96
2,22	74,55	13	270,73	8,42
2,27	78,90	14	276,83	8,06
2,32	83,25	15	282,93	7,71
2,35	87,60	16	286,59	7,50
2,39	91,95	17	291,46	7,24
2,42	96,30	18	295,12	7,05



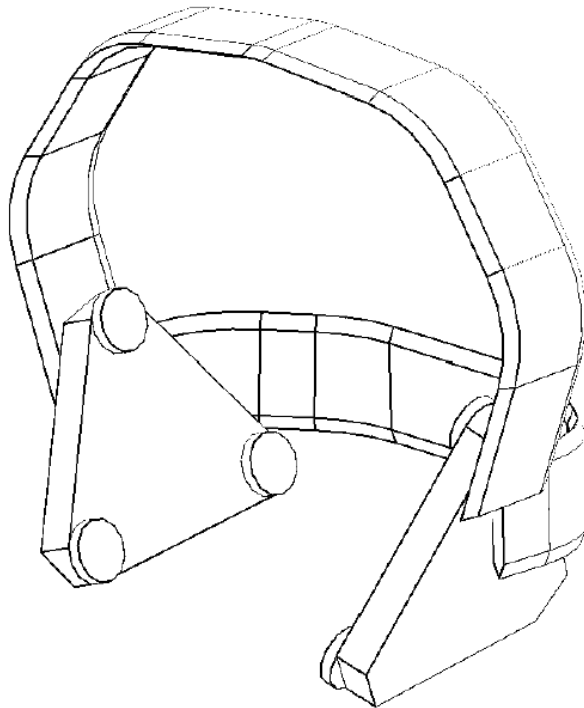
(a) Spennings mot trykk



(b) Motstand mot trykk, utregnet fra (a)

Figur 2.11: Stor sensor, økende vekt, vektene ikke av mellom målingene (tabell 2.6)

3 Hodebøyle



Figur 3.1: Skisse av prototype, laget i AutoCAD

Sammendrag: *Inneholder en oversikt over hvordan gruppen gikk frem og laget en prototype helt fra bunn. Den skal holde sensorene inntil kinnet og sende informasjon videre til kretskortet som behandler dataene. Prototypen som ble laget, oppfyller til en viss grad alle kravene satt i produktspesifikasjonen side 10, men sensorene ligger litt dårlig mot kinnet og justeringsdelen er litt hard.*

3.1 Problemstilling

For å benytte sensorene som tenkt, blir prosjektgruppen nødt til å konstruere noe som holder sensorene på plass på utsiden av hvert kinn. Siden ingen av gruppedeltagerne har noe erfaring fra lignende prosjekter før, og det skal være en prototype, blir design nedprioritert. Prototypen

skal være behagelig å bruke, må kunne brukes av flere brukere og være uproblematisk å ta av og på. (For detaljert oversikt over produktspesifikasjoner, se s. 10.)

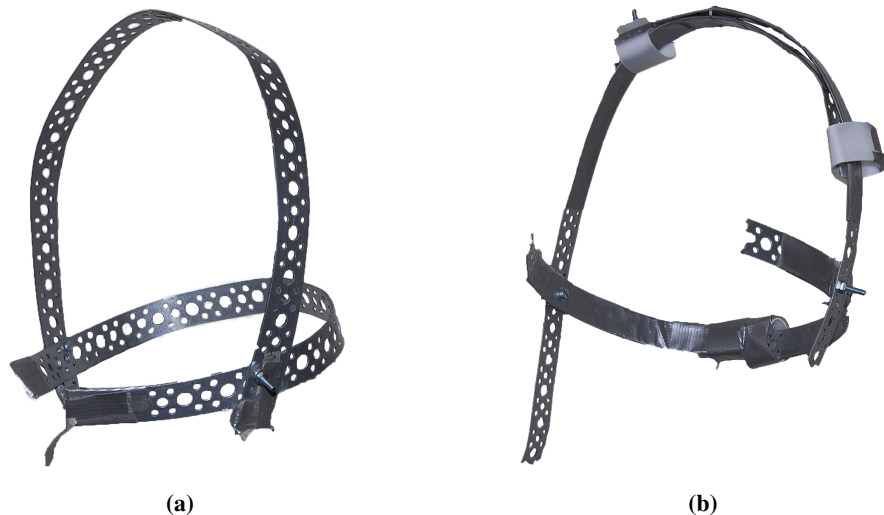
3.2 Gjennomføring

Første tanke var å ta en allerede utviklet hodebøyle og sette på sensorene. Problemet var at ingen hodebøyler til en rimelig pris var mulig å ha helt ned til kinnet fra over hodet. Vi ble derfor nødt til å lage det hele fra bunn av.

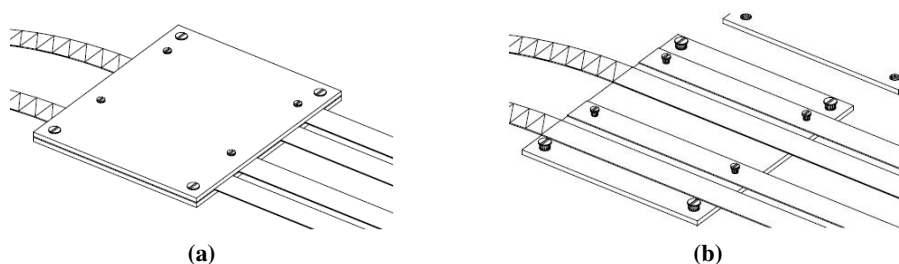
Ettersom utseendet ikke var så relevant, ble det i første omgang brukt spikerbånd, som er ganske bøyeelig og enkelt å arbeide med. Det ble satt sammen med en skrue og en mutter på hver side av hodet. Det ene båndet gikk over hodet, det andre bak (fig. 3.2a). Dette fungerte, men det var uten muligheter til å justere og oppfylte derfor ikke alle kravene i produktspesifikasjonen.

Inspirasjon til videreutvikling ble hentet fra en Koss PortaPro-hodebøyle, og det ble funnet en måte å justere hodebøylen på (fig. 3.2b). Kravet om å lage en justerbar prototype som kunne tilpasses hver enkelt bruker, ble dermed oppfylt. Noe som først ble ansett som en fordel for å holde hodebøylen godt på plass, viste seg etter hvert å være en ulempe, for med ett bånd som gikk over hodet, og ett som gikk bak hodet, ble det veldig problematisk å ta hodebøylen på og av hodet. Det ble altså nok en gang en konflikt mellom kravene i produktspesifikasjonen og resultatet.

Etter flere forsøk med spikerbånd, ble det konkludert med at det ikke var det best egnet metallet, siden det var svakt og knakk ofte ved mye bøyning. Det ble derfor behov for noe annet. Alternativet ble metallet som blir brukt for å rense kloakkrør. Fordelen med dette metallet er at det er veldig solid og meget slitesterkt, og hvis en bøyer det i forkant, er det veldig stivt. Derfor er det mulighet til å få det veldig stramt imellom kinn og sensor.



Figur 3.2: Første (a) og andre (b) utkast av prototype for hodebøylen



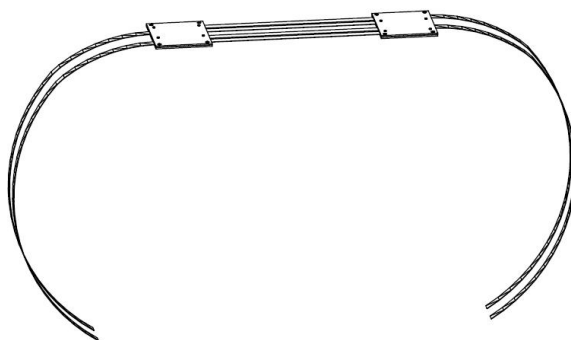
Figur 3.3: Justeringsboks med lokk (a) og uten lokk (b).

Med det nye «vidundermetallet» kunne det lages en helt ny måte å justere hodebøylen på ut ifra inspirasjonen fra Koss PortaPro. Dette er illustrert i figur 3.3 og 3.4. Hodebøylen ble laget med tre bånd på hver side og koblet sammen med noen justeringsbokser på toppen av hodet. Det nye justeringssystemet fungerte mye bedre enn det vi hadde fra før. Hodebøylen var justerbart til flere brukere; å sette det av og på var uproblematisk, og det var behagelig å ha på seg. Men kravet om at det skulle legges press på sensorene mot kinnet, var fortsatt ikke oppfylt.

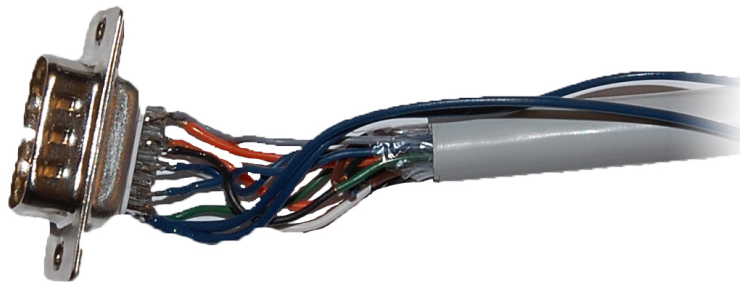
Siden det hadde blitt bestemt at det ikke skulle være noe bak hodet for å stramme opp, pga. praktiske årsaker, kom vi frem til at det måtte legges et tykkere lag med metall litt lengre frem, som ble festet til det punktet som sensorene på hodebøylen skulle festes. Ved hjelp av dette oppfyltes alle kravene som hadde blitt satt. Det eneste som manglet nå var å plassere sensorene og få det hele koblet til kretskortet med mikroprosessen. (Mer om sensorkonfigurasjon i kapittel 6.)

Det å få festet sensorene på hodebøylen ble gjort veldig enkelt: Først ble det brukt to metallplater, en på hver side. Deretter ble de små kretskortene som sensorene er koblet sammen på, festet på metallplatene.

Det som nå ble vurdert, var om kretskortet som inneholder mikroprosessen, skulle plasseres på hodebøylen. Siden det i utgangspunktet skulle være minst mulig på hodebøylen – både fordi at det skulle være så lett som mulig, og at det ikke skulle bli mye elektronikk som en må ta hensyn til når en skal plassere hodebøylen på brukeren – måtte det finnes et annet alternativ. Det



Figur 3.4: Tegning av hodebøylens justeringsmuligheter



Figur 3.5: Bilde av signalkabel

ble anskaffet en større kabel med flere ledere i som ble festet på toppen av hodebøylen og koblet til sensorene på hver sin side, slik at alle signalene fra sensorene blir sendt samlet gjennom en kabel til prosessoren som skal ta imot. På enden av kabelen ble det montert et motstykke til en COM-port, dette for å gjøre det enkelt å koble hodebøylen til «X-box»-en i kapittel 4 (fig. 3.5).

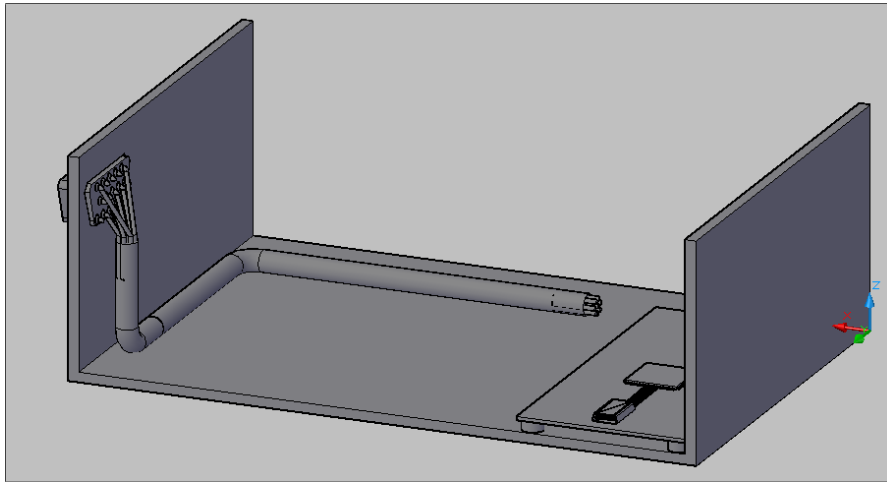
3.3 Resultat

En prototype av en hodebøyle som oppfylte de kravene som hadde blitt satt i forkant(figur 3.6). Det passer til flere brukere ved hjelp av justeringsmulighetene, og det er lett å koble opp og komme igang med. Det er to ulemper med den ferdige prototypen. Den ene er at justeringsdelen er litt hard. Den andre er at hodebøylen ikke har nok press mot kinnet hvor sensorene ligger. (Begge disse problemene vil være enkelt å løse på en ev. ferdig versjon ved hjelp av noen som har en bedre bakgrunn i mekanikk og ev. annet utstyr som gruppen ikke hadde til rådighet.)



Figur 3.6: Ferdig prototype

4 X-box



Figur 4.1: Skisse av «X-box», laget i AutoCAD

Sammendrag: Inneholder en kort beskrivelse av hvordan «X-box»-en ble laget og hva den brukes til. Bakgrunnen til at «X-box»-en ble laget er gitt i kapittel 3. «X-box»-en skal inneholde elektronikken som behandler dataen fra hodebøylen, og sender den videre til PC-en.

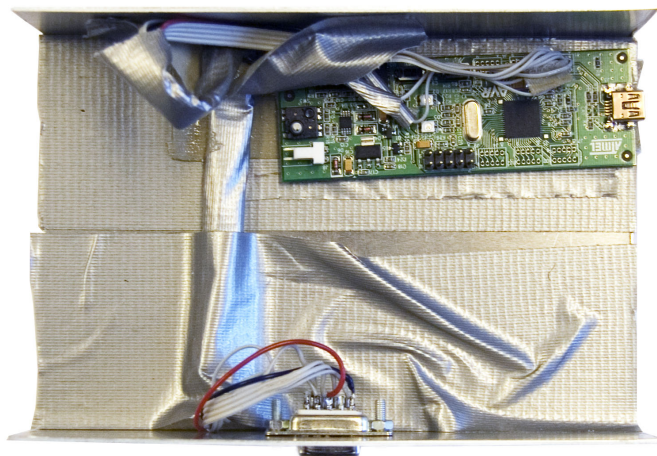
4.1 Problemstilling

Det var et behov for et mellomledd mellom selve musen (hodebøylen, kap. 3) og datamaskinen. Dette bindingspunktet måtte enkelt kunne kobles til hodebøylen via COM-port og samtidig kunne kobles videre via USB til PC-en. Det måtte inneholde kretskortet til mikroprosessen.

4.2 Gjennomføring

Prosjektgruppen fant ut at det skulle lages en boks som skulle ha to kontakter: En COM-port som skulle kobles til hodebøylen, den andre kontakten skulle være USB for å kommunisere videre inn til datamaskinen. Inne i boksen skulle det også være plass til kretskortet, samt til å sette på testutstyr for å resette/justere koden underveis. Det ble brukt en metalplate som bøyd 90° på hver side. Dette utgjorde underlaget til boksen og 2 «vegger». Kretskortet ble festet inne i boksen ved hjelp av gaffateip, og plasseringen av kortet var så nær den ene kanten uten «vegg»

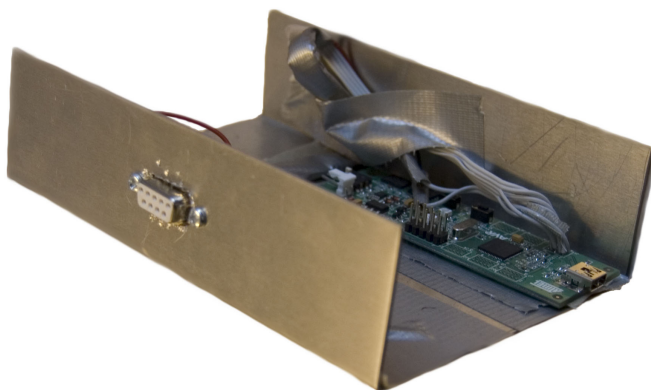
slik at den lett kan kobles til USB-kabelen (som en kan se på fig. 4.2). Siden det skulle være COM-kontakt mot hodebøylen, ble det laget et hull i den ene siden hvor COM-porten ble satt inn. Det ble strukket ledninger som på den ene siden var loddet fast til kretskortet, den andre enden til COM-porten. Nå var det altså bare å koble i headsettet på den ene siden, og maskinen med USB på den andre. «That's Plug 'n' Play!»



Figur 4.2: Bilde av «X-box» fra toppen

4.3 Resultat

En boks som skal være et bindeledd mellom PC-en og musen (figur 4.3). Den har en COM-port som var gruppens løsning for å på en enkel måte koble til hodebøylen. Videre går data fra hodebøylen inn til kretskortet, og videre til maskinen som utfører ønskede operasjoner.



Figur 4.3: Bilde av ferdig «X-box»

5 Elektronikk

***Sammendrag:** Dette kapittelet tar for seg valg av krets for tolking og digitalisering av sensordata og begrunnelse for valget. Det omhandler også litt om den innebygde spenningsregulatoren som bruker strøm fra USB eller batteri. Kapittelet avrundes med en begrunnelse for valg av PC-grensesnitt. AT90USBkey har de funksjonene vi lette etter. Den kommuniserer og får strøm via USB-porten, og har en innebygd spenningsregulator som blir brukt til forspenning av de trykkfølsomme motstandene.*

5.1 Problemstilling

Det skal lages en krets for kommunikasjon med PC og Microsoft Windows. Prosjektgruppen fokuserer på de to grensesnittene Bluetooth og USB. Bluetooth er et trådløst grensesnitt som de fleste moderne PC-er enten allerede har mottager for eller mulighet for å installere. USB er det mest brukte grensesnittet mot PC i dag. Det er også standard grensesnitt for PC-mus.

Det skal tas stilling til hvor behandlingen av data skal foregå. Skal data behandles i et bakgrunnsprogram på Microsoft Windows, eller skal all prosessering av data foregå før oversending til PC?

Kretsen skal ikke sette krav til brukerens tekniske kunnskaper. Kretsen må kunne lese analoge data og digitalisere den å sende den videre (analog-til-digital-omformer, ADC). Den skal også være den billigste mulige løsningen som kan tilfredsstille alle spesifikasjonene på side 10.

5.2 Valg av krets

Prosjektgruppen velger å bruke AT90USBKey, som er en demokrets fra Atmel [Vedlegg 3].* Kretsen inneholder mikrokontrolleren AT90USB1287 [Vedlegg 4].

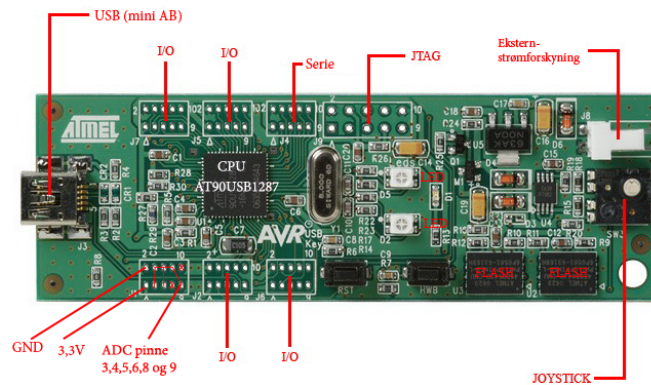
Denne kretsen ble valgt på grunnlag av at den inneholder USB-brukergrensesnitt mot PC, og er tidsbesparende siden prosjektgruppen slipper å designe en egen krets. Mikrokontrolleren har en krystall på 8 MHz og 128 kB minne. Den har også en åtte-ports ADC.

Siden kretsen er ment som en demonstrasjonskrets, bruker den to av ADC-portene til temperaturavlesning (PF0 og PF3). Dette er ikke et problem for prototypen, som bare bruker seks ADC-porter. Men ønsker man å bruke portene PF0 og PF3, kan kretsen endres ved å fysisk fjerne tilkoblingen til temperaturavlesningen.

Atmel har laget et USB Human Interface Device (HID)-kompatibelt musegrensesnitt for mikrokontrolleren.** Ved å bruke dette sparer prosjektgruppen ytterligere med arbeidstid, men

*http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=3879.

**Lisensen for den medfølgende programvaren til Atmel er gitt i LICENSE.TXT i [Vedlegg 1].



Figur 5.1: AT90USBKey

dette betyr at avlest data må behandles av mikrokontrolleren før den sendes til PC (for databehandling, se kapittel 6).

Alternativet til denne kretsen var å designe en egen krets med Bluetooth/USB-grensesnitt mot PC for bruker, og et programmeringsgrensesnitt for utvikling. Denne kretsen ville også blitt bygd rundt en mikrokontroller fra Atmel, grunnet faglig kompetanse hos HiST. Mer om hva som kan gjøres videre er gitt i kapittel 10 – design av kretsen(e) er utenfor prosjektgruppens hovedproblemstilling (s. 9).

5.3 Strømforsyning

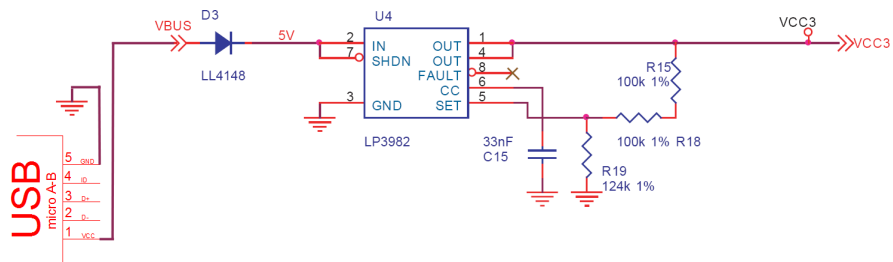
Den innebygde spenningskretsen på AT90USBKey gjør det mulig å bruke strøm direkte fra USB-porten eller fra et eksternt batteri (se kapittel 10 for bruk av batteri). I vårt tilfelle bruker vi 5 V spenningen fra USB-kontakten for å forsyne kretsen. Se figur 5.2 for skjemattegning over strømforsyningen fra USB. Fordelene med dette er at kretsen blir billigere og mindre komplisert. Spenningen blir gjort om til ca. 3,3 V ved hjelp av en lineær CMOS-spenningsregulator. Den nøyaktige utspenningen fra denne kan beregnes fra formelen

$$V_{CC3} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_{15} + R_{18}}{R_{19}} \right) \quad (5.1)$$

Dette gir en utspenning på $V_{CC3} = 3,266$ V. Denne spenningen blir også benyttet av sensorene som er koblet til.

5.4 USB-grensesnitt

USB-teknologien har mange fordeler fremfor f.eks. PS2, RS232, LPT1 mfl. Siden USB er det mest brukte PC-grensesnittet i dag, er alle nye datamaskiner og maskiner fra tilbake til begynnelsen av 2000-tallet utrustet og klargjort for dette. Enheter kan bli koblet til og fra uten å måtte restarte systemet. Drivere blir automatisk lastet inn og enheten blir dermed gjenkjent og gjort



Figur 5.2: AT90USBKey-powerkrets

klar til bruk («Plug 'n' Play»). En USB-inngang kan tilkobles så mange som 127 enheter og kan levere totalt opp til en halv ampere strøm til periferiutstyr.*

*Standard 100 mA, maksimalt 500 mA etter forespørsel.

6 Funksjonalitet

***Sammendrag:** Sensorene plasseres utenpå kinnene, to store knappsensorer og fire små bevegelsessensorer. Avlesningen av sensorverdiene er selvkalibrerende, og kan også kalibreres manuelt. I utgangspunktet måtte man presse kontinuerlig på bevegelsessensorene for å flytte pekeren, men dette gjorde tungemuskelen fort sliten. På bakgrunn av dette er sensorplasseringen justert lengst mulig frem på kinnet, og «ett-trykk-funksjonalitet» gjør det mulig å styre pekeren med lette trykk. Scroll og mulighet for å «dra» pekeren realiseres gjennom moduser, som aktiveres og deaktiveres ved å presse på knappsensorene.*

6.1 Problemstilling

Plug 'n' Play USB-musegrensesnittet mot PC, valgt i kapittel 5, begrenser funksjonaliteten til *standard musefunksjoner*: horisontal, vertikal og diagonal bevegelse, venstre- og høyre museknapp, og scroll.* Den videre problemstillingen er hvordan disse funksjonene skal aktiveres ved å bruke sensorene.

Den fysiske plasseringen av sensorene må være enkel og intuitiv. Implementeringen av musefunksjonene må gjøres på bakgrunn av antall sensorer og plassering.

Det må også tas stilling til hvordan hver enkelt sensor avleses. Avleste verdier må nødvendigvis sammenlignes med et *nullnivå* for å avgjøre om de er i bruk. Målingene i kapittel 2 tilsier at dette nullnivået bør oppdateres med jevne mellomrom – mikrokontrolleren bør ta høyde for at sensorene kan henge seg opp, og kalibrere deretter.

6.2 Plassering av sensorene

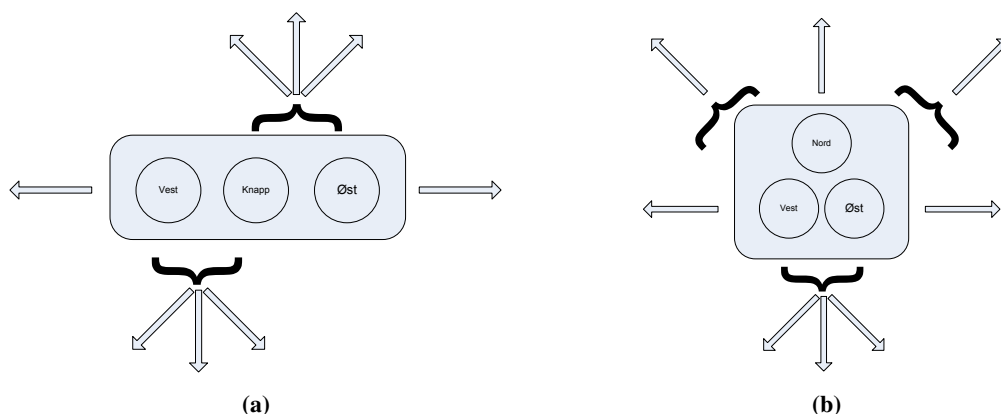
For at tungen skal kunne ha noen innvirkning på sensorene uten å være i direkte kontakt, må sensorene festes utenpå kinnet. Dermed unngår man også spørsmål rundt hygiene ved brukerbytte.

Sensorene kan festes på kinnet på flere måter. Det er valgt å bruke en hodebøyle (se kap. 3) med plater som sensorene festes på.** Platene må ha riktig antall sensorer, som igjen må ha riktig plassering mellom hverandre for å gi en god brukeropplevelse. For å gjøre det intuitivt, er knapp- og bevegelsessensorene plassert på hvert sitt kinn.

De fire hovedretningene regner vi som oppover, nedover, til venstre og til høyre. Dersom *diagonal bevegelse* (kombinasjoner av hovedretningene) også er et krav, må det plasseres minst

* Se produktspesifikasjonen, s. 10.

** Festemekanismen kan videreutvikles, se kapittel 10.



Figur 6.1: Sensorplate med tre bevegelsessensorer i linje (a) og trekant (b)

tre sensorer på «bevegelseskinnnet».* Disse må kunne aktiveres samtidig, og det må tas hensyn til hvilken sensor som er mest aktiv.

Som vi ser av figur 6.1, krever minst én av hovedretningene at man trykker på to av de tre sensorene samtidig. Dette blir veldig vanskelig å skille fra diagonal bevegelse, og derfor forkaster vi disse konfigurasjonene. *Hovedretningene er viktigere enn diagonalretningene.* Ved å bruke fire sensorer for bevegelse, får hver hovedretning sin egen sensor, og diagonal bevegelse fås ved å aktivere to sensorer samtidig. Det er dette oppsettet vi bruker i vår *første tilnærming*.

6.3 Første tilnærming

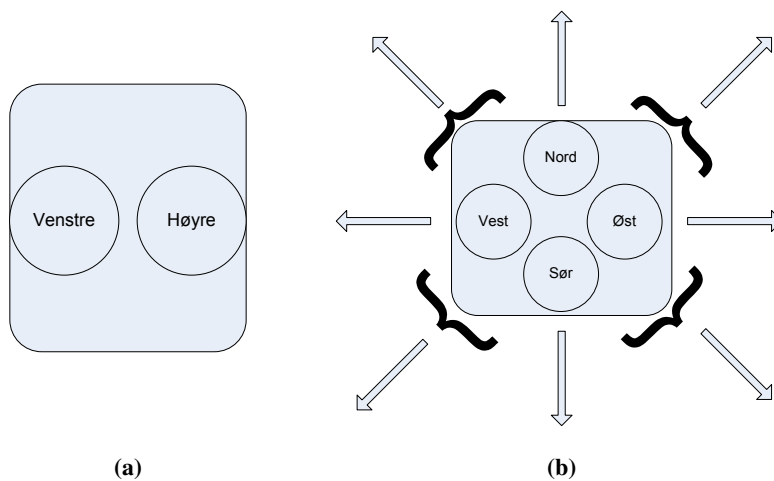
Den første tilnærmingen anvender fire *små* sensorer (type FSR-400) for bevegelse på venstre kinn og to *store* sensorer (type FSR-402) for knapper på høyre kinn (fig. 6.2). Bevegelsessensorene er plassert i «stjerne» og svarer til himmelretningene på et kompass – ved å presse på den øverste sensoren, går pekeren oppover, osv. Når trykket forsvinner, slutter bevegelsen.

Diagonal bevegelse fås ved å trykke på to nærliggende sensorer samtidig. Dersom man presser ekstra hardt, beveger pekeren seg opptil fem ganger raskere. Dette gir teoretisk 72 flere retninger dersom man øver ulikt trykk på to nærliggende sensorer (fig. 6.3), dvs. en gjennomsnittlig oppløsning på $4,5^\circ$. (I praksis er bare de fire første hastighetene oppnåelige, noe som gir 40 ekstra retninger og $7,5^\circ$ gjennomsnittlig oppløsning.)

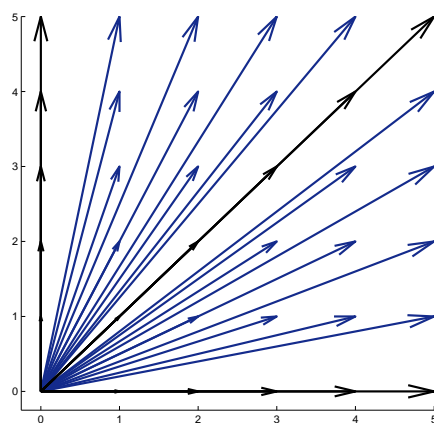
Knappsensorene er plassert side om side og svarer til henholdsvis venstre og høyre museknapp. Et enkelt trykk gir et enkelt klikk. For å dobbeltklikke, kan man presse kontinuerlig slik at to klikk produseres i rask rekkefølge.

Hvis en sensor kommer under uønsket press, kan brukeren *rekalibrere* den ved å trykke på motsatt kinn. Da tas den gjeldende sensorverdien som nullnivå, og fremtidige sensorverdier sammenlignes med denne. Ellers kalibreres sensorene automatisk når de ikke er i bruk.

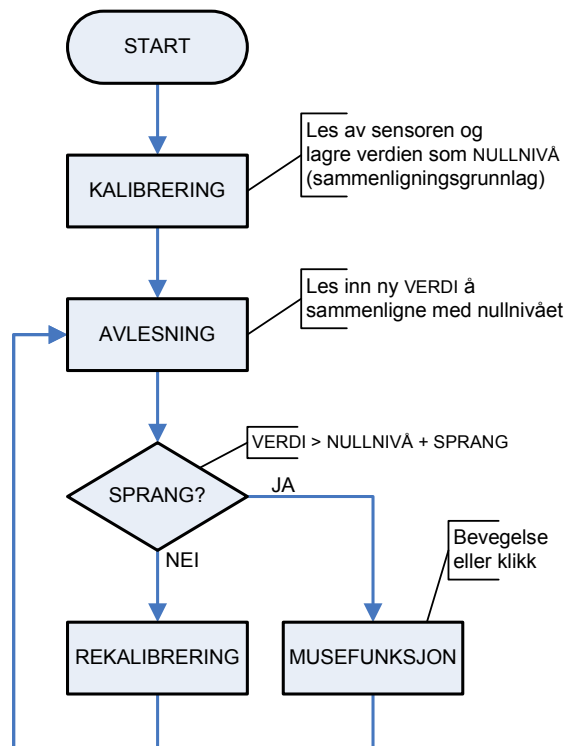
*Man kan klare seg med færre dersom man bruker ulikt trykk for ulike retninger, men kapittel 2 antyder at dette blir vanskelig.



Figur 6.2: Første tilnærming: knapper på venstre kinn (a) og bevegelse på høyre kinn (b)



Figur 6.3: Retninger i intervallet $0-90^\circ$.
Tallene på aksene ganges med basishastigheten.



Figur 6.4: Selvkalibrering og avlesning av sensor

Manglende funksjoner er scroll og å «dra» musepekeren, dvs. holde venstre museknapp inne mens pekeren beveges.

6.3.1 Avlesning av én sensor

Hver sensor er forspent og koblet til en egen analog-til-digital-omformer (ADC) som beskrevet i kapittel 2. ADC-ene avleses kontinuerlig – opptil 125 ganger i sekundet – og verdiene analyseres for å fastslå om en sensor er i bruk.

For å finne ut om en sensor er aktiv, må den avleste verdien sammenlignes med en verdi for når sensoren *ikke* er i bruk, nullnivået. Hvis den avleste verdien er større enn nullnivået med en viss margin – *spranget* – er sensoren aktiv:

$$\text{avlest verdi} > \text{nullnivå} + \text{sprang} \quad (6.1)$$

Når dette er oppfylt, sier vi at vi «har et sprang». Marginen er fastsatt på forhånd, og er litt større for de store sensorene på knappkinnet enn de små sensorene på bevegelseskinnet.

Ideelt sett er nullnivået 0 V. Men det er alltid en fare for at en av sensorene kommer i klem, og dermed gir en høyere verdi. Derfor bør ikke nullnivået fastsettes på forhånd, men i stedet *kalibreres* automatisk med utgangspunkt i de avleste verdiene.

Figur 6.4 viser avlesing og kalibrering av én enkelt sensor. Den første avlesningen av sensoren etablerer nullnivået, som videre avlesninger sammenlignes med. Deretter avleses sensoren

kontinuerlig og sammenlignes med nullnivået. Hvis differansen er stor nok, betraktes sensoren som aktiv, og en musefunksjon utføres. Hvis differansen ikke er stor nok, derimot, blir nullnivået *rekalibrert*: nullnivået settes til den avleste verdien.

Rekalibreringen begrenset til hver 250. gjennomgang i programmet [Vedlegg 1], slik at bare 250 påfølgende avlesninger uten «sprang» gir rekalkibrering. Dette medfører at dersom sensoren gradvis kommer under press (eller presset gradvis opphører), vil nullnivået oppdateres, mens hvis sensoren plutselig tas i bruk, vil en musefunksjon utføres.

Det kan tenkes at en sensor plutselig kommer under varig press selv om den ikke er i bruk, f.eks. ved å flytte på hodebøylen. I slike tilfeller kan det være nødvendig å kalibrere manuelt, noe som gjøres ved å aktivere en sensor på motsatt kinn. Hvis begge kinnene er «aktive», sett fra programmets synspunkt, settes nullnivået på nytt.

6.3.2 Avlesning av flere sensorer

Programmet lagrer de siste avleste verdiene til de seks sensorene i én tabell, og de seks nullnivåene, som disse sammenlignes med, i en annen. Det går så igjennom tabellene parvis og sjekker dem opp mot ligning (6.1) – på leting etter en aktiv sensor.

Når en aktiv sensor er funnet, er det to muligheter (fig. 6.5). Skal (a) resten av sensorene også undersøkes, eller (b) søket avsluttes og den aktive sensoren returneres? Hvis vi bare returnerer den første aktive sensoren, må vi legge inn en ekstra «nabosjekk» av nærliggende sensorer for å oppdage om to bevegelsessensor brukes samtidig (diagonal bevegelse).^{*} Hvis vi søker gjennom hele tabellen, derimot, vil alle aktive sensorer gi musefunksjoner (noe som håndterer diagonal bevegelse automatisk), men kan gi uønskede eller ingen musebevegelse ved noen sensorkombinasjoner.

Fordelen med å gjøre det på den andre og mer «tungvinte» måten i figur 6.5b, hvor vi stanser søket når en aktiv sensor er funnet og sjekker om denne sensoren har en aktiv «nabosensor», er at den er mer fleksibel. Det er lettere å «gardere» mot aktive sensorer på begge kinn, som er signalet for manuell rekalkibrering. Dessuten kan funksjonen som returnerer den første aktive sensoren, lett skrives om til å returnere den *mest* aktive sensoren dersom det viser seg vesentlig å skille mellom flere sensortrykk.^{**} I vår første tilnærming returneres bare den første aktive sensoren, men forholdene ligger til rette for en omskrivning.

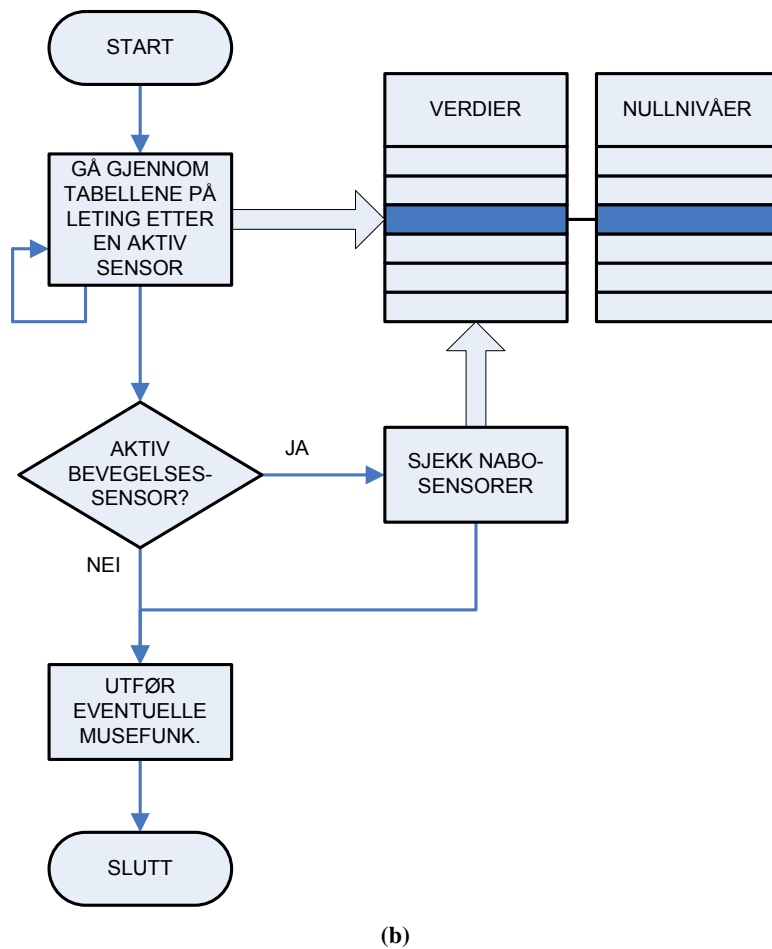
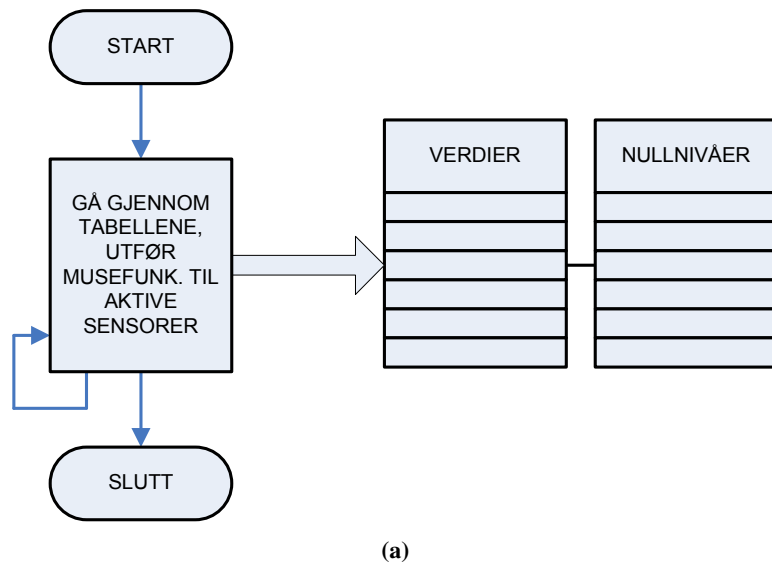
For å produsere ett klikk av gangen, er det bygd inn en forsinkelse som overser aktive knapp-sensorer etter at de er funnet aktive første gang. Dette forhindrer hundrevis av klikk mens sensoren er i bruk. Forsinkelsen er innstilt slik at brukeren kan dobbeltklikke ved å presse kontinuerlig.

6.3.3 Drøfting

Tilnærmingen er utførlig testet i kapittel 7. De viktigste funnene er at tungemuskelen fort blir sliten av å kontinuerlig presse på sensorene, og at det er tyngre dess lengre bak på kinnet man kommer. Med venstre og høyre knappsensor plassert side om side, kommer venstre knappsensor

^{*} Dette gjøres ved å slå opp i en matrise som inneholder informasjon om hvilke sensorer som er i nærheten av hverandre. Hvis sensoren for bevegelse oppover er i bruk, for eksempel, ønsker vi bare å undersøke sensorene for bevegelse til venstre og høyre, ikke sensoren for bevegelse nedover.

^{**} Dette gjør vi i andre tilnærming, s. 43.



Figur 6.5: Avlesningsløkker: enkel (a) og avansert (b)

langt bak på kinnet (fig. 6.2a). Det samme gjelder høyre bevegelsessensor, som er plassert i «stjerne» med de andre bevegelsessensorene (fig. 6.2b).

Det er også et problem at det ikke er mulig å «dra» musepekeren. Ettersom tungen ikke kan presse på begge kinnene samtidig, kan dette bare implementeres ved å aktivere en egen *modus* hvor museknappen holdes nede. Støtte for moduser vil også gjøre det mulig å implementere scroll.

I vår *andre tilnærming* roterer vi sensorplasseringen slik at den blir mer vertikal med hensyn til munnen, og vi skriver om programmet til å «huske» en oppgave over flere sensoravlesninger. Resultatet er mer omfattende, men også mer komfortabelt.

6.4 Andre tilnærming

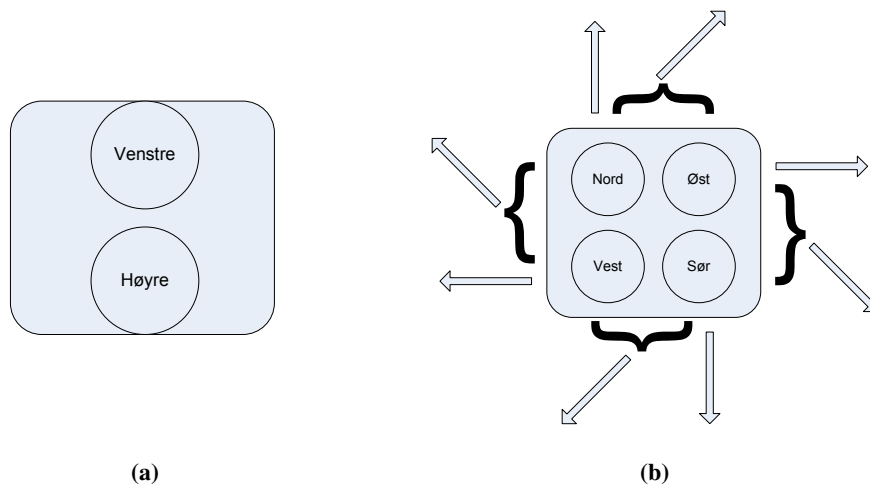
I *andre tilnærming* plasserer vi bevegelsessensorene i «firkant» istedenfor «stjerne» for å få dem lengre frem på kinnet (fig. 6.6). Knappsensorene er plassert ovenfor hverandre istedenfor side om side.

Programmet tar nå utgangspunkt i den *mest* aktive sensoren, ikke bare den første.

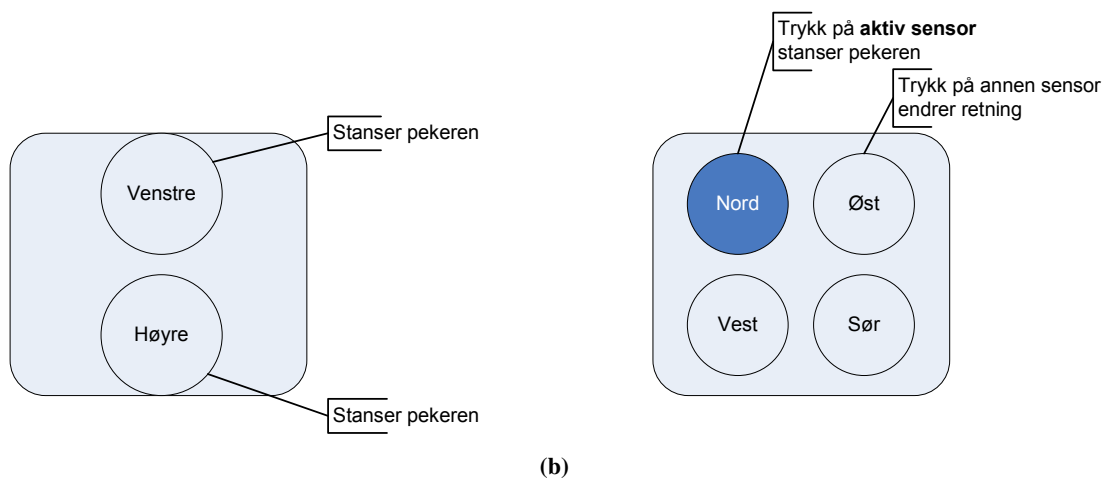
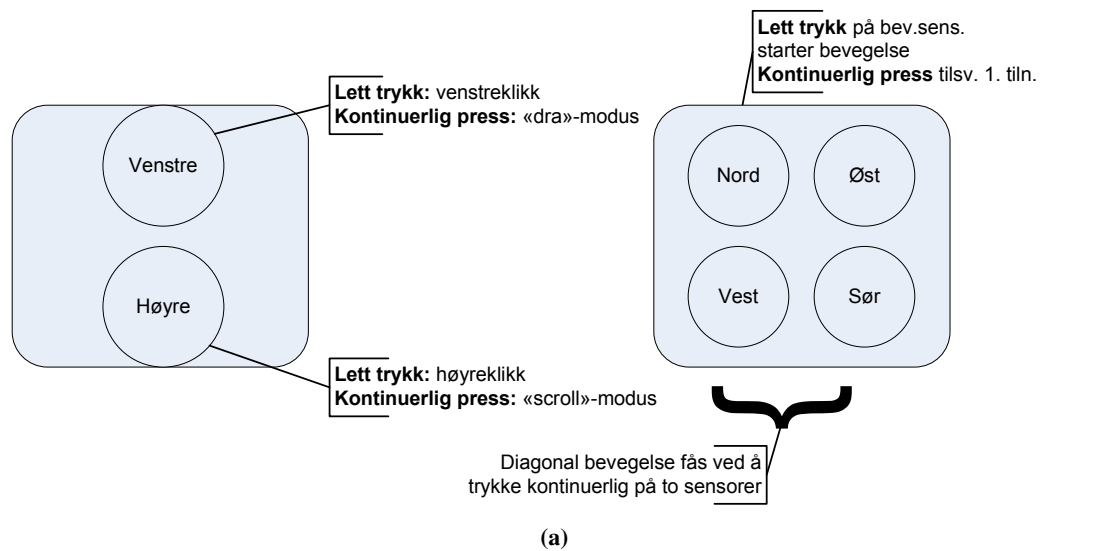
Sensorenes funksjoner avhenger av hvilken *modus* programmet befinner seg i. I utgangspunktet befinner programmet seg i *normalmodus*, hvor knappsensorene produserer klikk og bevegelsessensorene styrer pekeren. Den viktigste forskjellen er måten pekeren styres på.

6.4.1 Normalmodus

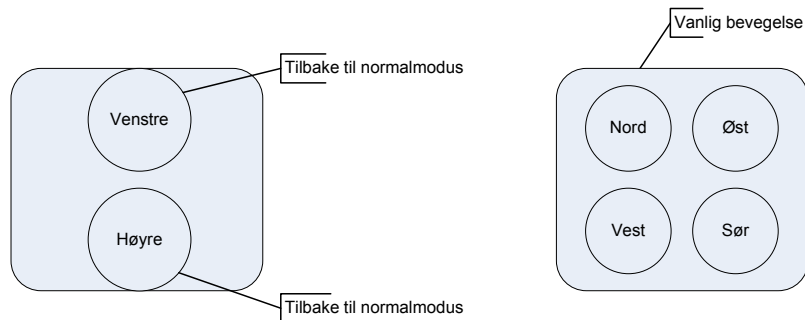
Dette er programmets utgangspunkt (fig. 6.7). Hvis brukeren trykker lett på en knappsensor, produseres et klikk. Hvis brukeren trykker lett på en bevegelsessensor, beveger pekeren seg i sensorens retning, og *fortsetter å bevege seg* selv om brukeren ikke presser kontinuerlig. Pekeren styres med lette trykk istedenfor kontinuerlig pressing, noe som er mer behagelig for tungen.



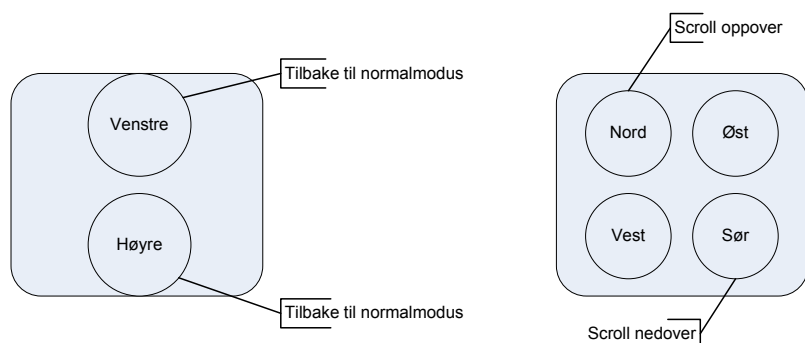
Figur 6.6: Andre tilnærming: knapper (a) og bevegelse (b).



Figur 6.7: Normalmodus: klikk (a) og bevegelse (b)



Figur 6.8: «Dra»-modus



Figur 6.9: «Scroll»-modus

Når pekeren beveger seg, kan brukeren skifte retning ved å trykke på en annen bevegelsessensor, og få bevegelsen til å opphøre ved å trykke på samme sensor en gang til. Pekeren beveger seg langsomt til å begynne med, for presisjonens skyld, og så raskere dersom brukeren ikke har skiftet retning etter et par sekunder. Dette gjør det lettere å bruke menyer og andre små områder på skjermen, uten at pekeren er like treg når den skal flyttes over større områder.

Det er mulig å bevege pekeren enda raskere ved å presse kontinuerlig på en bevegelsessensor istedenfor å bruke «ett-trykk-funksjonaliteten». Da vil pekeren bevege seg raskere dess hardere man presser, og slutte å bevege seg når trykket opphører, akkurat som i første tilnærming. Dette er praktisk for å bevege seg over store deler av skjermen effektivt.

For presisjonens skyld er diagonal bevegelse *deaktivert* når pekeren beveges med lette trykk. Det er bare mulig å bevege seg diagonalt ved å presse kontinuerlig på sensorene.

6.4.2 «Dra»-modus

Ved å presse kontinuerlig på knappsensorene istedenfor å bare trykke, bytter man fra normalmodus til andre moduser. Venstre knappsensor bytter til «dra»-modus (fig. 6.8), slik at venstre museknapp holdes nede også når sensoren slippes. Dermed kan tungen flyttes over på bevegelseskinnen for å «dra» pekeren.

«Dra»-modus fungerer ellers som normalmodus; pekeren styres på akkurat samme måte. For

å gå tilbake til normalmodus, er det bare å berøre knappsensoren en gang til.

6.4.3 «Scroll»-modus

Høyre knappsensor bytter til «scroll»-modus (fig. 6.9). Man scroller oppover ved å presse på øvre bevegelsessensor, og nedover ved å presse på nedre bevegelsessensor. For å gå tilbake til normalmodus, trykker man på en av knappsensorene.

6.4.4 Drøfting

Andre tilnærming er utførlig testet i kapittel 7. Den viktigste forskjellen fra første tilnærming er «ett-trykk-funksjonaliteten», som hindrer at tungen slites ut selv etter langvarig bruk. Den forbedrede sensorplasseringen motvirker også dette.

Presisjonen er betraktelig bedre takket være den langsommere pekerhastigheten til å begynne med. Disse funksjonene kan kombineres: Ved å trykke fort to ganger, kan man bevege pekeren i små, presise «steg», f.eks. fra ett menyelement til et annet.

«Ett-trykk-funksjonaliteten» gjør det dessuten mulig å snakke mens man bruker musen.

Høyere presisjon er viktig når man har behov for å «dra» pekeren, f.eks. for å flytte vinduer. Å innføre moduser for slik funksjonalitet hever brukerterskelen, men det viser seg enkelt å aktivere og deaktivere «dra»- og «scroll»-modusene. Scrolling er en stor fordel når man surfer på nettet, samt i alle sammenhenger hvor man har behov for å rulle tekst. Disse to modusene gjør funksjonaliteten komplett.

Den største utfordringen er å lære opp tungen til å huske sensorenes plassering på kinnet. Dette blir bedre over tid, men krever litt tålmodighet og innsats.

7 Testing med tungen

***Sammendrag:** Inneholder en grundig test – med resultater – av funksjonaliteten og brukervennlighet til de to tilnærmingene i kapittel 6. Viser at andre tilnærming er en god forbedring av den første. Videre drøfting er gitt i forrige kapittel, avsnitt 6.3.3 og 6.4.4.*

7.1 Problemstilling

Det er et behov for å teste om datamusen kan brukes til en dagligdags dataøkt. Testen gjennomføres etter endringer i programmet som påvirker brukerfunksjonaliteten. Testen brukes også for å finne optimal plassering av sensorene på sensorplatene.

7.2 Tester

Når man skal bruke en datamus, har man enkelte krav. Den skal være lett å styre, og den skal være nøyaktig. En økt fra datamaskinen tar gjerne litt tid, så hvor lenge kan man sitte før tungen blir sliten? Hvor god følelse av kontroll oppnår brukeren – oppleves frustrasjon over datamusen under bruk? For å kunne teste dette, er det laget noen enkle tester med stigende vanskelighetsgrad.

Metode:

- 1 **Åpne en snarvei fra skrivebordet:** velg en snarvei, før musepekeren over den og dobbeltklikk/åpne.
- 2 **Åpne en snarvei fra startmenyen:** åpne «Start»-menyen og «Programmer». Åpne nå en forhåndsbestemt snarvei fra denne menyen.
- 3 **Bruke nettleseren:** Åpne Mozilla, gå til en avisside fra «Favoritter» eller hurtigmeny (f.eks. <http://www.vg.no/>), bla ned på siden og åpne en artikkel.
- 4 **Bruk over tid:** åpne Microsoft Paint og prøv å tegne en kopi av figur 7.1a. Etter 15 minutter avsluttes testen, og resultatet sammenlignes med originalen. Er resultatet bra, og er tungen sliten? Utfør testen to ganger for å se om det er en liten tilvenningskurve fra brukersiden.

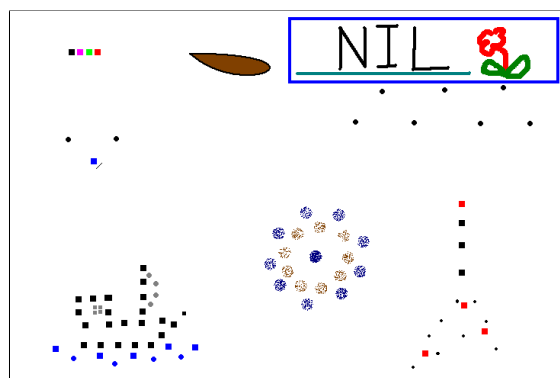
Testen er utført med hodebøylen, men testerer har lagt ekstra trykk bak sensorplatene med hendene. Med en bedre hodebøyle vil dette være unødvendig (se kapittel 10).

7.2.1 Resultater første tilnærming

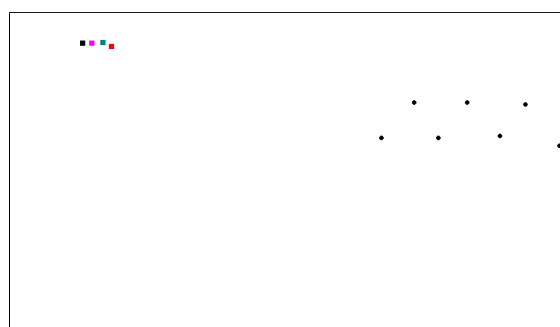
Se avsnitt 6.3, s. 38, for detaljer om første tilnærming.

- 1 **Åpne en snarvei fra skrivebordet:** Musepekeren danser litt over skjermen, men med litt godvilje blir pekeren plassert over den forhåndsvalgte snarveien (Papirkurven). Musebevegelsen går litt for fort, noe som gjør det vanskelig å treffe ikonet. Det føles også litt tungt å holde sensoren inne for å bevege pekeren over skjermen. Holder venstre muspeker inne for å dobbeltklikke.
- 2 **Åpne en snarvei fra startmenyen:** Merker at det krever mer presisjon og konsentrasjon å gå inn i «Programmer»-menyen. Musepekeren beveger seg litt for fort, noe som fører til at «Start»-meny-grenen til tider lukker seg. Det kommer frem at musen trenger en ny måte å prioritere mellom sensoren(e) som er i bruk på. Det hender musepekeren bytter retning uten at man vil det, og dette føltes ikke behagelig.
- 3 **Bruke nettleseren:** Velger å åpne nettsiden fra hurtigmenyen, blar nedover ved å trykke nederst på rullefeltet. Det er noe vanskelig å treffe det, savner en scrollfunksjon. Følelsen av kontroll over bevegelsen er også her litt dårlig, men knappene (høyre/venstre) er lette å bruke. Litt tungt å bevege musepekeren rundt på skjermen.
- 4 **Bruk over tid:** Ga opp etter syv minutter. Ble utrolig hemmet av at pekeren beveget seg for fort, og ble veldig sliten. Resultatet er gitt i figur 7.1b.

For drøfting av resultatene, se avsnitt 6.3.3, side 41.



(a)



(b)

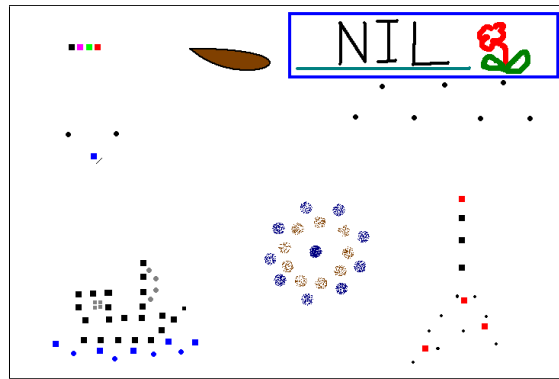
Figur 7.1: Testtegning for bruk over tid (a),
resultat i første tilnærming (b), første og eneste forsøk

7.2.2 Resultater andre tilnærming

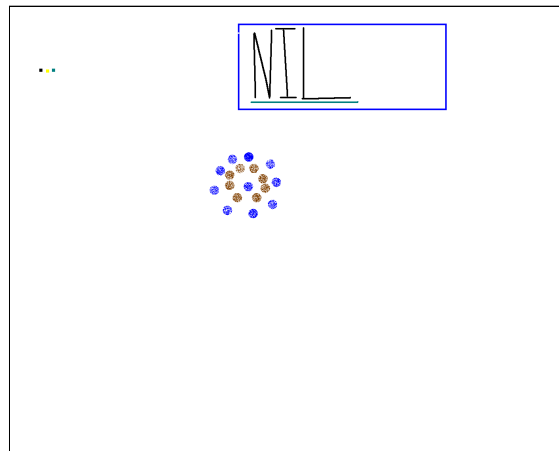
Se avsnitt 6.4, side 43, for detaljer om andre tilnærming.

- 1 **Åpne en snarvei fra skrivebordet:** Litt vansker med å treffe rett sensor gjør at pekeren til tider beveger seg feil vei. Trykker to ganger på venstre musetast for å åpne den forhåndsvalgte snarveien.
- 2 **Åpne en snarvei fra startmenyen:** Bruker «ett-trykk-funksjonaliteten» for å bevege pekeren. Ingen problemer.
- 3 **Bruke nettleseren:** Glimrende. Gjorde spesielt mye bruk av «ett-trykk-funksjonaliteten» og scrollfunksjonen, svært behagelig i bruk.
- 4 **Bruk over tid:** Den delen av tegningen som krever høyest presisjon, blomsten med blad og den dråpeformede figuren, er litt vanskelig. Men av fremskrittet fra figur 7.2b til figur 7.2c ser man at dette kan bli meget bra med litt øvelse.

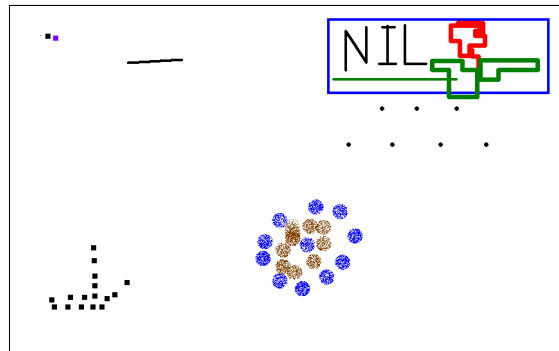
For drøfting av resultatene, se avsnitt 6.4.4, side 46.



(a)



(b)



(c)

Figur 7.2: Testtegning for bruk over tid (a), resultat i andre tilnærming første forsøk (b), andre forsøk (c)

8 Prisestimering

***Sammendrag:** Kapitlet inneholder en tilnærming over prosjektets kostnad. Det er også eksempler på pris for egenproduksjon av krets. Prosjektets tilnærmede utgifter er drøyt 2000 NOK.*

8.1 Utviklingskostnader

Prosjektet er en bacheloroppgave på HiST. Studentene får ikke lønn under arbeidet, så utgiftene er konsentrert rundt materialkostnadene i tabell 8.1. Sensorene ble kjøpt inn av SINTEF, og AT90USBKey ble kjøpt inn av HiST. Tabellen lister opp antatte kostnader for disse. Prosjektets tilnærmede utgifter er 1949 NOK i materialkostnader. Siden dette er de eneste utgiftene, kan man konkludere med at prosjektet har vært særdeles billig for oppdragsgiver.

Forslag til løskomponenter består av en liste som inneholder overslag over priser en eventuell egenproduksjon av kretsen vil koste. For 100 enheter vil de løse materialene til kretskortet tilnærme en kostnad på 13 518 NOK. Siden kretsen ikke er designet, kan denne prisen avvike noe. Det er ikke laget noen liste for materialpris til produksjon av hodebøylen. Det forventes at designen og materialvalget på denne må utvikles videre (se kapittel 10).

Tabell 8.1: Materialkostnader uten frakt

Produktnavn	Produsent	Type	Antall	Enhetspris [NOK]	Total pris [NOK]	Firma
AT90USBKey	Atmel	Demokrets*	2	229	458	Mouser electronics
FSR-400	Interlink	Trykkfølsom resistans*	25	23	575	Interlink Electronics
FSR-402	Interlink	Trykkfølsom resistans*	25	26	650	Interlink Electronics
Veroboard		Koblingsbrett	1	59	59	Clas Ohlson
Teip		Gaffateip	1	79	79	Clas Ohlson
Metall 1		Stakepinne	7,6 m	39	39	Jula
Metall 2		Spikerbånd 20 × 1 mm	10 m	89	89	Clas Ohlson
		Koblings-enheter**	1	–	–	HiST
Forslag til løskomponenter						
AT90USB1287	Atmel	Mikro-kontroller	1	87	87	Mouser electronics
AT90USB1287			25	68	1700	
AT90USB1287			100	61,182	6118	
LP3982IMM-ADJ	National Semiconductor	Spennings-regulator	10	14,65	146,5	Arrow Electronics
LP3982IMM-ADJ			100	5,15	515	
LP3982IMM-ADJ			1000	4,25	4250	
774-MXO45HS-3C-8.0	CTS Electronic Components	Crystal Oscillators 8 MHz	1	19,50	19,50	Mouser electronics
774-MXO45HS-3C-8.0			100	15,24	1524	
774-MXO45HS-3C-8.0			1000	9,966	9996	
500075-1517	Molex	USB Mini-B vert	1	51	51	Mouser electronics
500075-1517			100	29,43	2943	
500075-1517			1000	24,09	24090	
Motstander		Laveffekt-motstander*	1000	0,0594	59,4	
Kretskort		To-lags PCB*	100	21,4	2140 + 278	Microcirtec
Kretskort			1000	3,219	3219 + 730	

Tabellen benytter seg av omregningene € = 8,7 NOK og \$ = 6,6 NOK.

* Tilnærmede priser.

** Skruer/muttrer/ledninger og lignende.

9 Konklusjon

Prototypen som er laget, kan utføre alle standard musefunksjoner i Microsoft Windows, så vel som alle andre operativsystemer.

For kontrollering av musepekeren er det laget en «ett-trykk-funksjonalitet», som hindrer at tungen slites ut etter langvarig bruk. Brukeren starter en bevegelse og stopper eller endrer retning ved ønsket plassering. Under denne funksjonen beveger pekeren seg langsomt til å begynne med for å gi god presisjon.

Man kan snakke mens man beveger musepekeren over skjermen, og det er mulig å be venstre museknapp være aktiv mens man beveger musepekeren over skjermen. Det er også mulig å sette musen i en «scroll»-modus som gjør surfing av nettsider og lesing av dokumenter meget behagelig.

Den største utfordringen er å lære opp tungen til å huske sensorenes plassering på kinnet. Dette blir bedre over tid, men krever litt tålmodighet og innsats.

De utdelte sensorene (FSR-400 og FSR-402) er veldig følsomme, men det kan være vanskelig å få utslag med tungen. Forskning på hvordan sensorene er i kontakt med kinnet kan forbedre dette.

Det ble laget en hodebøyle for å gi riktig plassering av sensorene på kinnet. På grunn av lite bakgrunnskunnskap og utstyr, oppfyller ikke hodebøylen alle kravene i produktspesifikasjonen. Sensorene er plassert utenpå kinnene – to store knappensensorer på venstre og fire små bevegelses-sensorer på høyre. Prototypen har et problem med at sensorene ligger litt dårlig mot kinnet.

Ved bruk av sensorene er det erfart at det må være et godt press mot kinnet, og de må ligge lengst mulig fram mot munnen for at sensortypen skal kunne brukes i et endelig produkt. Justeringsdelen er også litt vanskelig, men designet har potensial for videreutvikling.

Elektronikken som ble valgt for tolkning av sensordata, er demokretsen AT90USBKey fra Atmel. Denne er basert på mikrokontrolleren AT90USB1287 og fungerte bra til utvikling av en prototype. Kretsen har innebygd åtte ADC-er, hvorav seks blir benyttet til tolking av sensordata. Kretsen gjør bruk av USB-grensesnittet for overføring av data, så vel som energitilførsel. Det er integrert en spenningsregulator som benyttes til å forspenne sensorene. Denne er sterk nok til å forsyne eventuelle tilleggskretser.

Det er laget en boks som omkapsler AT90USBKey («X-box»), fordi demokretsen er for stor til å festes på hodebøylen.

Programkoden er skrevet for å være fleksibel angående antall sensorer og portene de kobles til, så vel som valg av mikrokontroller. Teorien og målingene tilsier at sensorene setter krav til en dynamisk verdi for hendelsesaktivering, og kontinuerlig kalibrering. Dette problemet er løst med programvare.

Programmeringsmessig er det lite som kan videreutvikles, ettersom programmet implementerer alle funksjonene i HID-standarden. Flere funksjoner kan bare implementeres på toppen av det gjeldende grensesnittet, ved å skrive et program eller driver på PC-siden som håndterer sig-

nalene på en egen måte. Fordelen med å begrense seg til HID-standarden er at musen ikke krever en egen driver og kan dermed brukes overalt, også på Mac og Linux.

Utgiftene ved prosjektet var minimale, estimert til ca. 2000 NOK.

På bakgrunn av rapporten, konkluderer prosjektgruppen med at det er mulig å lage en tunge-styrt musepeker som anvist. Det mekaniske og ergonomiske må imidlertid forbedres for å få et salgbart produkt.

10 Veien videre

***Sammendrag:** Inneholder en oversikt over hva prosjektgruppen mener kan vidreutvikles for enten å forbedre noe som allerede er implementert, eller forslag til hva som kan implementeres.*

10.1 Hodebøylen

Hvis man designer et eget kretskort, kan kortets størrelse minskes betraktelig, slik at det kan gjøres plass til det på hodebøylen. Dette vil være mer praktisk framfor å ha et mellomledd som «X-box» (s. 31). Den eneste kabelen fra hodebøylen vil da være USB-kabelen, som settes rett i PC-en. Denne kabelen vil også kunne tas helt av i andre enden. Det vil da være enklere å sette hodebøylen på bruker, og feste USB-kabelen etter at alt av utstyr er på plass.

Det neste vil være å forme platene brukt til justeringsboksen eller ev. hele justeringsboksen. Det vil være ønskelig å kunne sette en «styrke» som skal til for å justere hodebøylen ved behov. Slik som prototypen er nå, er justeringen hard og ikke så brukervennlig. Dette vil være noe som en person med litt bakgrunnskunnskaper om mekanikk/design kan utføre.

Det vil være en forbedring å skjule ledningene som går fra sensorene som er plassert nede på hver side. Disse er på dagens prototype synlige, og veldig sårbare. Et lite rykk i en av disse kan føre til at kabelen mister kontakt med sensor, og musen vil være ubrukelig (noe som for øvrig skjedde under det ene møtet mellom SINTEF og prosjektgruppen).

Det er også et behov å se på metallet som er brukt og alternativer til dette, for å få bedre trykk mot kinnet. Samme metall, men en tykkere utgave kan være en god forbedring.

Sensorplatene til prototypen består av to kretskort som sensorene er teipet til. Dette har vist seg lite slitesterkt, man bør finne en alternativ løsning. Det kan være ønskelig for den enkelte bruker å rotere platene 180–360°, for optimal brukervennlighet. Videre kan det hende at en buet eller fleksibel plate kan fungere bedre som festepunkt til sensorene. Dette kan skape et mer nøyaktig bilde av hvor tungen trykker, og en bedre brukeropplevelse. Det kan være ønskelig med et «mellomlegg» mellom kinnet og sensorene for å kontrollere treffpunktet.

10.2 Elektronikk

Det vil være nødvendig å designe en egen krets rundt AT90USB1287-mikrokontrolleren for eventuell produksjon. Når man først er i gang med dette, kan man se på mulighetene for Bluetooth-implementering i tillegg til USB. Ved å bruke et litium-batteri med laderkrets mot USB, kan produktet lades når det ikke er i bruk, og det vil ikke være nødvendig med batteri-bytte eller ekstern lader. Om batteriet ikke får ladet lenge nok, bør det være mulig å bruke USB-grensesnittet.

10.2.1 Bruk av batteri som strømforsyning

Den innebygde spenningskretsen på AT90USBKey gjør at den kan forsynes med batterispenninger mellom 8–15 V_{DC}. Ved normal bruk blir det målt at kretsen trekker mellom 7,5–10 mA med et 9 V batteri tilkoblet. I tillegg kommer Bluetooth-adapteren, som også får spenningsforsyningen fra AT90USBKey. Ved operasjon vil denne øke forbruket med 18,3 mA, slik at totalforbruket blir ca. 28 mA.

En oversikt over brukertid med ulike batterier tilkoblet kretsen er gitt i tabell 10.1. Det er også mulig å legge en funksjon inn i programkoden som gjør at Bluetooth-modulen går i hvilemodus ved inaktivitet. Funksjoner som ikke er i bruk, vil slås av, og strømforbruket vil falle betraktelig.

Som man kan se av tabell 10.1, gir litiumbatterier overlegen kapasitet fremfor standard NiMH-batterier (nikkel-metalhydrid). For å få samme kapasitet fra NiMH-batterier, vil vekten og størrelsen disse krever gjøre det vanskelig å integrere kretsen på hodebøylen. Ulempen med litiumbatterier er at de krever en dedikert lader, og at de kan eksplodere ved overoppheting/belastning.

En liten innebygd krets hindrer at batteriet blir utladet under en gitt spenning, og ved ladning fungerer den samme kretsen slik at batteriet ikke skal overlades. Uten denne ville batteriet ha blitt ødelagt.

10.2.2 Bluetooth

For eventuell trådløs dataoverføring kan det benyttes Bluetooth som overføringsprotokoll. Dette vil f.eks. gjøre det enklere for brukeren å koble seg til en annen datamaskin når dette først er konfigurert. Datamaskinen vil da automatisk kjenne igjen den virtuelle armen og vil av den kunne vekkes fra en eventuell dvalemodus.

Teknologien benytter seg av radiofrekvensbåndets 2,4 GHz-område og har en rekkevidde på ca. 10 m. Overføringshastigheten ligger på ca 1,0 Mb/s. Da det benyttes radiobølger, vil brukeren ikke hindres av at objekter i veien hindrer signalet. For å øke båndbredden og sikkerheten, benytter Bluetooth seg av frekvens-hopping (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). Dette fungerer ved at sender og mottager «hopper» fra frekvens til frekvens hele tiden etter et bestemt mønster, i frekvensområdet 2,402 GHz til 2,480 GHz [Bluetooth]. En ulempe ved bruk av denne teknologien som brukergrensesnitt, er at det kan oppstå forsinkelse hvis datamaskinen belastes med parallelle oppgaver. Siden kretsen ikke lenger vil være tilkoblet USB, må den få strømtilførsel fra et batteri eller annen ekstern strømforsyning, som beskrevet i kapittel 5 og kapittel 10.2.1.

Tabell 10.1: Teoretisk operasjonstid med ulike batterityper

Batteritype	Spenning [V]	Kapasitet [mAh]	Belastningsstrøm [mA]	Operasjonstid [h]	Vekt [g]
HR6F22 Ni-MH	8,4	200	30,0	6,7	39
6F22 Litium*	9,0	500	28,0	17,9	28
U9VLJ10 Litium*	9,0	1200	28,0	42,9	38
AAA Ni-MH 8x serie	8 × 1,2	1000	26,3	38,0	8 × 16
AA Ni-MH 8x serie	8 × 1,2	2700	26,3	102,7	8 × 30

*Tilpasset lader må anvendes for lading av litiumbatterier.

Bibliografi

[Bluetooth] <http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Works/>.

[Vedlegg 1] Programkode, dokumentert.

[Vedlegg 2] Datablad for Interlink sensorer.

[Vedlegg 3] Datablad for AT90USBKey.

[Vedlegg 4] Datablad for mikrokontrolleren.

Bilag: CD

Vedlegg 1–4 foreligger på CD, organisert som følger:

Vedlegg 1: Programkode

Plassert i mappen /Program. Lisens for Atmel-kode har plasseringen /Program/at90usb128/demo/series6-hidmouse/LICENSE.txt.

Vedlegg 2: Datablad for Interlink sensorer

Plassert i mappen /Datablader/Trykksensorer.

Vedlegg 3: Datablad for AT90USBKey

Plassert i mappen /Datablader/Kretskort.

Vedlegg 4: Datablad for mikrokontrolleren

Plassert i mappen /Datablader/Mikrokontroller.

Figurer

2.1	Resistive trykksensorer	11
2.2	Sensortyper, FSR-400 og FSR-402	12
2.3	Forspenning av trykksensor, spenningsdeling og brudd	12
2.4	Spennning som funksjon av sensorresistans og motstand	13
2.5	Liten sensor, varierende vekt	15
2.6	Arm for sensormålinger	16
2.7	Sensor under trykk	16
2.8	Liten sensor, økende vekt, vektene av	18
2.9	Stor sensor, økende vekt, vektene av	19
2.10	Liten sensor, økende vekt, vektene ikke av	21
2.11	Stor sensor, økende vekt, vektene ikke av	23
3.1	Skisse av prototype	25
3.2	1. og 2. utkast av prototype	26
3.3	Justeringsboks	27
3.4	Tegning av 3. prototype	27
3.5	Signalkabel	28
3.6	Ferdig prototype	29
4.1	Skisse av «X-box»	31
4.2	Bilde av «X-box» fra toppen	32
4.3	Bilde av ferdig «X-box»	32
5.1	AT90USBKey	34
5.2	AT90USBKey-powerkrets	35
6.1	Tre bevegelsessensorer i linje og trekant	38
6.2	Sensorplassering, første tilnærming	39
6.3	Retninger i intervallet 0–90°	39
6.4	Selvkalibrering og avlesning av sensor	40
6.5	Avlesningsløkker, enkel og avansert	42
6.6	Sensorplassering, andre tilnærming	43
6.7	Normalmodus	44
6.8	«Dra»-modus	45
6.9	«Scroll»-modus	45
7.1	Tegnetest, første tilnærming	49

7.2	Tegnetest, andre tilnærming	51
-----	---------------------------------------	----

Tabeller

2.1	Utstyrliste for målinger på sensorer	14
2.2	Liten sensor, varierende vekt	15
2.3	Liten sensor, økende vekt, vektene av	17
2.4	Stor sensor, økende vekt, vektene av	17
2.5	Liten sensor, økende vekt, vektene ikke av	20
2.6	Stor sensor, økende vekt, vektene ikke av	22
8.1	Materialkostnader uten frakt	54
10.1	Teoretisk operasjonstid med ulike batterityper	58