

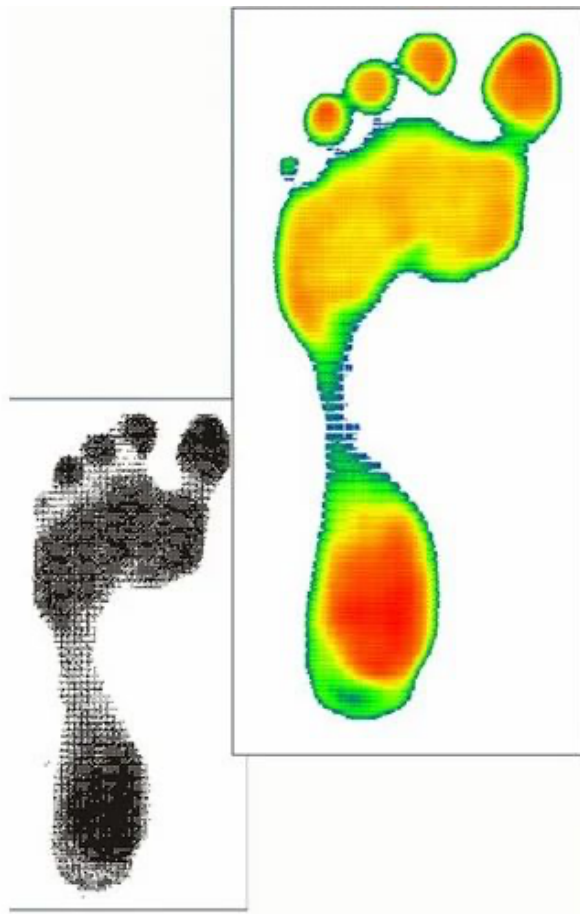
Voetafdruk Sensor Technieken

Semester 6 – Een Slimme En Sociale Stad – CMIIDP01

23/04/2025

Renzo Daal – 1004746

Leyton Sijpkens – 1061024



Abstract

Voor dit project is onderzocht welke technologie het meest geschikt is om voetafdrukken van kinderen op een betrouwbare en privacy vriendelijke manier vanuit huis te meten, zonder gebruik te maken van camera gebaseerde systemen. Daartoe zijn drie technologieën vergeleken: Force Sensitive Resistors (FSR's), Velostat en piezoelektrische sensoren. De evaluatie richtte zich op technische werking, kosten, beschikbaarheid, prestaties en toepasbaarheid binnen het project.

Force Sensitive Resistors bleken relatief duur en minder geschikt voor grootschalige drukmetingen vanwege beperkte resolutie en slijtage. Piezoelektrische sensoren toonden een hoge gevoeligheid voor dynamische drukveranderingen, maar waren niet geschikt voor het betrouwbaar meten van stabiele, langdurige druk. Velostat kwam als beste optie naar voren, dankzij de lage kosten, flexibiliteit, eenvoudige matrixopbouw en voldoende nauwkeurigheid voor relatieve drukmetingen.

Op basis van deze analyse is gekozen voor Velostat als onderliggende technologie om een slimme voetafdrukmat te realiseren, die via Bluetooth verbinding maakt met een mobiele applicatie. Deze oplossing sluit het beste aan bij de eisen op het gebied van betrouwbaarheid, gebruiksvriendelijkheid en privacy.

Table of Contents

VOETAFDRUK SENSOR TECHNIEKEN	1
ABSTRACT	2
BEGRIPPEN	4
INLEIDING	5
FORCE SENSITIVE RESISTORS	6
TECHNISCHE WERKING	6
BESCHIKBAARHEID EN KOSTEN	6
PRESTATIES EN BEPERKINGEN	7
TOEPASBAARHEID BINNEN HET PROJECT	7
VELOSTAT	8
TECHNISCHE WERKING	8
BESCHIKBAARHEID EN KOSTEN	8
PRESTATIES EN BEPERKINGEN	9
PIEZOELEKTRISCHE SENSOREN	10
TECHNISCHE WERKING	10
BESCHIKBAARHEID EN KOSTEN	10
PRESTATIES EN BEPERKINGEN	11
TOEPASBAARHEID BINNEN HET PROJECT	11
CONCLUSIE	12
BIBLIOGRAFIE	13

Begrippen

Force Sensitive Resistor (FSR)

Een elektronische sensor die de weerstand aanpast afhankelijk van de uitgeoefende druk. Wordt gebruikt om veranderingen in kracht of druk te meten.

Velostat

Een dun, flexibel kunststof materiaal geïmpregneerd met koolstofdeeltjes, dat zijn elektrische weerstand aanpast bij mechanische druk. Wordt vaak toegepast voor het maken van drukgevoelige matten.

Piezo-elektrisch effect

Het fysische verschijnsel waarbij een materiaal elektrische spanning genereert wanneer het mechanisch wordt vervormd.

Piezoelektrische sensor

Een sensor gebaseerd op het piezoelektrische effect, geschikt voor het detecteren van snelle veranderingen in druk of trillingen.

Spanningsdeler

Een eenvoudige schakeling bestaande uit twee weerstanden, waarmee een spanning proportioneel verdeeld kan worden. Wordt gebruikt om analoge signalen te genereren uit druksensoren.

Multiplexer

Een elektronisch component dat het mogelijk maakt om meerdere signalen via één enkele uitgang in te lezen, door selectielijnen te gebruiken. Belangrijk bij het uitlezen van grote matrices van sensoren.

Crosstalk

Ongewenste interferentie tussen signalen in verschillende rijen en kolommen binnen een matrix, die de uitlezing van individuele drukpunten kan verstoren.

Microcontroller

Een kleine, programmeerbare computer op een enkele chip die wordt gebruikt om sensordata in te lezen, te verwerken en te verzenden naar andere apparaten.

Bluetooth

Een draadloze communicatietechnologie die gebruikt wordt voor korte afstandscommunicatie, bijvoorbeeld tussen een sensormat en een smartphone-app.

Thuismetingen

Metingen die door patiënten zelf thuis worden uitgevoerd, buiten een klinische omgeving, vaak ondersteund door slimme technologie om betrouwbare resultaten te waarborgen.

Inleiding

Om patiënten van het Sofia Kinderziekenhuis de mogelijkheid te geven om thuis een betrouwbare en reproduceerbare lengtemeting uit te voeren, is het essentieel om technologie te ontwikkelen die niet alleen nauwkeurig is, maar ook veilig, gebruiksvriendelijk en privacy vriendelijk. De lengte van een patiënt vormt vaak een cruciaal onderdeel van diagnostiek, groeicurves en behandelplannen, en moet dus met de grootst mogelijke zorg worden vastgesteld. In een thuissituatie ontbreekt echter vaak de professionele meetinfrastructuur van een ziekenhuis. Hierdoor ontstaat de noodzaak voor innovatieve meetmethoden die ook buiten een klinische omgeving functioneren.

Een voor de hand liggende aanpak is het gebruik van computer vision via een camera die het postuur van de patiënt analyseert. Deze methode biedt potentieel hoge nauwkeurigheid en automatisering. Toch roept het gebruik van camera's in een privéomgeving, zoals een badkamer of slaapkamer, belangrijke ethische en privacyvraagstukken op. Niet alle gezinnen beschikken over geschikte apparatuur of hebben vertrouwen in beeldregistratie binnen hun huis. In sommige gevallen kan dit zelfs leiden tot het vermijden van metingen, wat ten koste gaat van de kwaliteit van zorg.

Om die reden wordt gezocht naar een alternatief voor visuele registratie. Eén veelbelovende oplossing is het gebruik van een drukgevoelige mat of plaat, waar de patiënt op gaat staan. Door het meten van de drukverdeling van de voeten op het oppervlak kunnen indirect kenmerken zoals houding, balans en postuur worden afgeleid. Deze aanpak is niet-invasief, veilig, en vereist geen visuele data, waardoor het geschikt is voor een breed scala aan gebruikers en situaties.

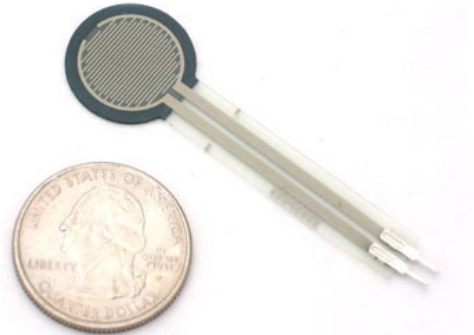
Voor de ontwikkeling van een dergelijke druksensortechnologie zijn meerdere sensorprincipes beschikbaar. In dit onderzoek worden de drie meest relevante opties geëvalueerd:

- Force Sensitive Resistors (FSRs) - sensoren die de kracht van een puntdruk meten.
- Velostat - een flexibel materiaal dat weerstand verandert bij druk
- Piezoelektrische sensoren - sensoren die reageren op drukverandering, met name geschikt voor dynamische signalen.

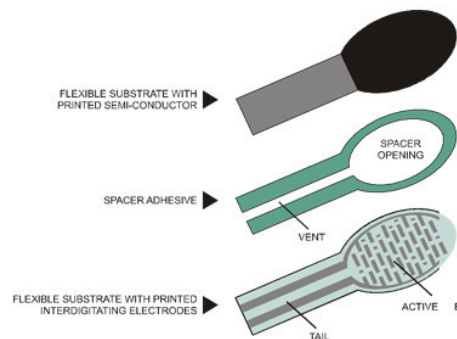
De sensortechnieken worden beoordeeld op criteria als nauwkeurigheid, betrouwbaarheid, beschikbaarheid, kosten, complexiteit van uitlezing, en geschiktheid voor de specifieke toepassing in de context van thuismetingen bij kinderen. Het doel is om op basis van deze analyse een weloverwogen keuze te maken voor één technologie, die vervolgens in het project verder ontwikkeld zal worden tot een werkend prototype.

Force Sensitive Resistors

Force Sensitive Resistors (FSR's) zijn een populaire oplossing voor drukdetectie in uiteenlopende toepassingen, van consumentenelektronica tot medische hulpmiddelen. In het kader van dit project worden FSR's onderzocht als mogelijke technologie om voetdrukprofielen te meten bij kinderen, met als doel een betrouwbare en privacy vriendelijke thuismetingsoplossing te ontwikkelen. In dit hoofdstuk wordt de werking van FSR's uiteengezet, worden praktische aspecten zoals beschikbaarheid en kosten besproken, en wordt geëvalueerd in hoeverre deze technologie geschikt is voor het beoogde gebruik.



Technische Werking



Een FSR is opgebouwd uit twee flexibele lagen waartussen zich een drukgevoelig materiaal bevindt. Wanneer er druk wordt uitgeoefend op de sensor, verandert de afstand tussen de geleidende deeltjes in dit materiaal, wat resulteert in een verandering van de elektrische weerstand [1]. Hoe groter de uitgeoefende kracht, hoe lager de weerstand wordt.

De sensoruitgang wordt doorgaans uitgelezen via een spanningsdelers configuratie, waarbij de FSR samen met een vaste weerstand een spanningsdeling vormt die door een analoge ingang van een microcontroller kan worden gemeten [2]. FSR's zijn vooral ontworpen voor het detecteren van relatieve veranderingen in kracht, en minder geschikt voor het uitvoeren van precieze krachtmetingen, vanwege hun inherent niet-lineaire karakter [1].

Beschikbaarheid en Kosten

FSR's zijn breed verkrijgbaar via grote elektronicadistributeurs zoals SparkFun, Adafruit, en Digi-Key. Ze zijn beschikbaar in verschillende vormen en maten, van kleine ronde sensoren tot langere stroken, en worden veelvuldig gebruikt in educatieve projecten, interactieve installaties en lichte industriële toepassingen [3].

De kosten van een individuele FSR liggen gemiddeld tussen de €5 en €10, afhankelijk van de afmetingen en leverancier. Voor een toepassing waarin een volledige voetafdruk gemeten

moet worden met een acceptabele resolutie, zouden tientallen FSR's nodig zijn. Dit zou de materiaalkosten voor enkel de sensoren snel kunnen laten oplopen tot boven de €400. Bovendien verhogen de benodigde extra componenten, zoals multiplexers en bedrading, de totale systeemkosten verder.

Prestaties en Beperkingen

Een belangrijk voordeel van FSR's is hun eenvoudige integratie in elektronische systemen. Door hun mechanische flexibiliteit kunnen zij eenvoudig in matten of oppervlakken worden geïntegreerd, en de uitlezing via analoge ingangen vergt minimale externe elektronica. Bovendien zijn FSR's relatief robuust in omstandigheden met lichte tot matige mechanische belasting [2].

Toch zijn er ook duidelijke beperkingen. De niet-lineaire respons van FSR's maakt het lastig om exacte krachtwaarden betrouwbaar te meten [1]. Voor toepassingen waarin nauwkeurige en consistente drukmetingen over langere tijd nodig zijn, zoals in een medische context, vormt dit een belangrijk nadeel. Daarnaast vereisen voetafdrukmetingen een hoge ruimtelijke resolutie om subtiele houdingsverschillen te kunnen detecteren. Hiervoor zouden een groot aantal FSR's nodig zijn, wat niet alleen de kosten verhoogt, maar ook de systeemcomplexiteit aanzienlijk doet toenemen.

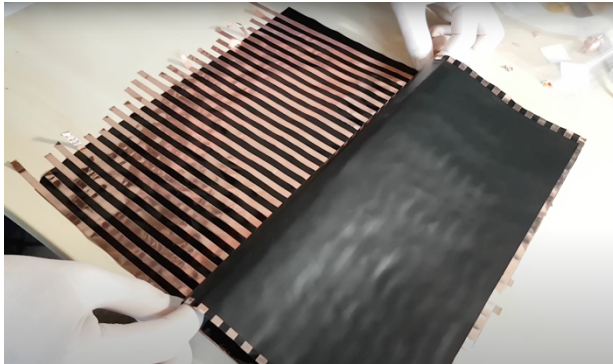
Een laatste beperking is de gevoeligheid voor mechanische slijtage: langdurige belasting of herhaalde drukken kunnen de prestaties van FSR's verminderen, wat gevolgen kan hebben voor de betrouwbaarheid van de metingen over langere gebruikperiodes.

Toepasbaarheid binnen het Project

Hoewel Force Sensitive Resistors in theorie in staat zijn om drukpunten onder een voet te detecteren, zijn zij minder geschikt voor het realiseren van een volledige voetafdrukmeting binnen dit project. De kosten en complexiteit die gepaard gaan met het opschalen naar een matrix van voldoende resolutie, gecombineerd met de beperkte nauwkeurigheid en slijtagegevoeligheid, maken FSR's minder aantrekkelijk als structurele oplossing. Voor eenvoudige drukdetectietoepassingen blijven FSR's echter een praktische en robuuste keuze.

In de context van een betrouwbare, kosteneffectieve en langdurige thuismetingsoplossing zoals gewenst door het Sofia Kinderziekenhuis, lijken alternatieve technologieën zoals Velostat beter aan te sluiten bij de gestelde eisen.

Velostat



Velostat is een drukgevoelig kunststof materiaal dat breed wordt ingezet in toepassingen waarbij eenvoudige en flexibele drukdetectie vereist is. In het kader van dit project wordt Velostat onderzocht als een alternatieve technologie voor het meten van voetafdrukken bij kinderen, met als doel een betrouwbare, kosteneffectieve en

privacy vriendelijke oplossing voor thuismetingen te ontwikkelen. In dit hoofdstuk wordt de technische werking van Velostat toegelicht, gevolgd door een bespreking van de beschikbaarheid, kosten, prestaties en beperkingen. Tot slot wordt geëvalueerd in hoeverre Velostat geschikt is voor de beoogde toepassing.

Technische Werking

Velostat, geproduceerd door 3M, is een dunne polyolefinefilm die is geïmpregneerd met geleidende koolstofdeeltjes. Het unieke aan Velostat is dat de elektrische weerstand ervan afneemt naarmate de druk op het materiaal toeneemt [4]. Hierdoor kan Velostat worden gebruikt als basis voor drukgevoelige oppervlakken.

Een typische toepassing van Velostat is het creëren van een druksensormatrix, waarbij het materiaal tussen twee lagen van geleidende sporen (bijvoorbeeld kopertape) wordt geplaatst. De sporen worden loodrecht op elkaar aangebracht: de bovenlaag in horizontale banen en de onderlaag in verticale banen. Op elk kruispunt van rijen en kolommen verandert de weerstand afhankelijk van de lokale druk [5]. Door systematisch de rijen en kolommen uit te lezen via een multiplexing schema, kan een tweedimensionale drukkaart worden opgebouwd.

De uitlezing van een Velostat-matrix vereist geen complexe elektronica; een eenvoudige spanningsdeler per meetpunt volstaat om de relatieve druk te bepalen. Voor grotere matrices kan gebruik worden gemaakt van multiplexers om het aantal benodigde aansluitingen te beperken [6].

Beschikbaarheid en Kosten

Velostat is goed verkrijgbaar bij makers platforms zoals Adafruit, evenals via online elektronikawinkels en hobbyistwebsites zoals Digi-Key en Tinkersoup. Het materiaal wordt meestal verkocht in vellen van 30×30 cm of op rol. De gemiddelde kostprijs voor een Velostat vel van 30×30 cm bedraagt tussen de €8 en €15, afhankelijk van leverancier en formaat [6].

Gezien het feit dat één enkel vel kan worden gebruikt om een volledig voetafdrukmeetveld te creëren, is Velostat aanzienlijk goedkoper dan alternatieven zoals Force Sensitive Resistors. Naast het basismateriaal zijn extra componenten zoals kopertape, multiplexers en bedrading vereist, maar de totale kosten blijven relatief laag.

Prestaties en Beperkingen

Velostat biedt een aantal belangrijke voordelen voor toepassingen waarin drukverdeling moet worden gemeten. Het materiaal is dun, flexibel en eenvoudig te verwerken, waardoor het zich goed leent voor gebruik in bijvoorbeeld draagbare sensormatten. Door de mogelijkheid om een matrixopstelling te realiseren, kunnen relatief veel drukpunten worden gemonitord met een beperkt aantal elektrische aansluitingen [4].

Op het gebied van duurzaamheid toont recent onderzoek aan dat Velostat gedurende een periode van 210 dagen consistente prestaties levert onder herhaalde druktoepassing, na een initiële stabilisatiefase [7]. Hoewel deze resultaten positief zijn, moet worden opgemerkt dat deze testperiode aanzienlijk korter is dan de gewenste levensduur voor toepassingen die jarenlange betrouwbaarheid vereisen. Verdere langdurige praktijktesten zouden nodig zijn om de geschiktheid van Velostat voor meerjarig gebruik definitief te kunnen bevestigen.

Daarbij blijft het belangrijk te realiseren dat Velostat voornamelijk geschikt is voor het detecteren van relatieve drukverdelingen en minder voor nauwkeurige absolute krachtmetingen, vanwege de niet-lineaire elektrische respons [6]. Bij grotere matrixformaten kan bovendien crosstalk tussen rijen en kolommen optreden, wat door middel van zorgvuldig elektrisch ontwerp en softwarematige correcties kan worden beperkt [5].

Toepasbaarheid binnen het Project

Velostat blijkt, gezien zijn lage kosten, eenvoudige integratie en hoge flexibiliteit, een zeer geschikte keuze voor het meten van voetafdrukken binnen dit project. De mogelijkheid om een drukgevoelig veld op te bouwen met een resolutie die voldoende is om de belangrijkste drukpunten onder een voet te onderscheiden, sluit goed aan bij de doelstellingen. De relatieve drukverdeling die met Velostat kan worden verkregen, is voldoende om het postuur van een patiënt te kunnen beoordelen zonder dat gebruik hoeft te worden gemaakt van visuele middelen zoals camera's.

Hoewel er enkele beperkingen zijn op het gebied van absolute nauwkeurigheid en langdurige belasting, wegen de voordelen ruimschoots op tegen de nadelen in de context van dit specifieke project.

Piezoelektrische Sensoren

Piezoelektrische sensoren zijn apparaten die mechanische spanningen omzetten in elektrische signalen. Ze worden veelvuldig toegepast in situaties waarin het detecteren van trillingen, drukveranderingen of impact vereist is. In dit hoofdstuk wordt de technische werking van deze sensoren besproken, evenals hun beschikbaarheid, kosten, prestaties, beperkingen en toepasbaarheid binnen het project.

Technische Werking

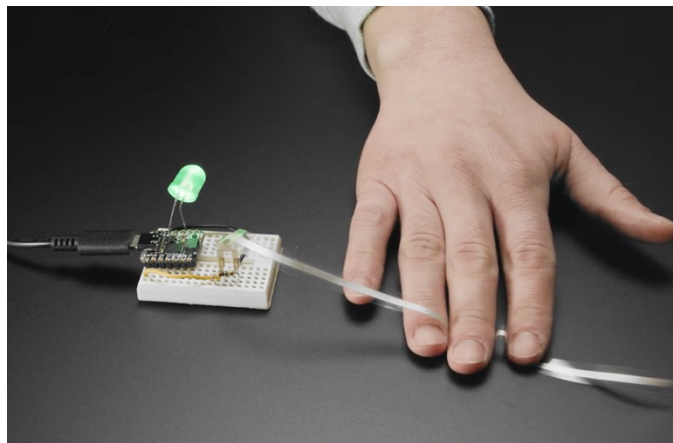
Het piezoelektrische effect houdt in dat bepaalde materialen, zoals kwarts of keramische verbindingen, een elektrische lading genereren wanneer ze worden vervormd door mechanische krachten. Deze gegenereerde lading is evenredig aan de toegepaste kracht en kan worden gemeten als een spanningssignaal. Het effect is echter voornamelijk geschikt voor het detecteren van dynamische veranderingen, aangezien de opgewekte lading bij constante belasting na verloop van tijd afneemt vanwege interne lekstromen en de hoge uitgangsimpedantie van de sensor [8].

Een typische piezoelektrische sensor bestaat uit een dunne film of keramisch element dat tussen twee elektroden is geplaatst. Wanneer druk wordt uitgeoefend, verandert de structuur van het materiaal, wat resulteert in een spanningsverschil tussen de elektroden. Dit spanningssignaal kan vervolgens worden versterkt en verwerkt voor verdere analyse.

Beschikbaarheid en Kosten

Piezoelektrische sensoren zijn breed beschikbaar via diverse leveranciers. Een voorbeeld is de Piezo Vibration Sensor van SparkFun, die eenvoudig kan worden aangesloten op microcontrollers zoals de Arduino [9]. De kosten voor dergelijke sensoren variëren, maar eenvoudige modellen zijn doorgaans verkrijgbaar voor prijzen tussen de €2 en €5 per stuk.

Voor toepassingen die een grotere gevoeligheid of specifieke vormfactor vereisen, zijn er ook geavanceerdere piezoelektrische sensoren beschikbaar, zoals de Piezoelectric Ribbon Sensor van Adafruit [10]. Deze sensoren zijn flexibeler en kunnen worden aangepast aan specifieke toepassingen, maar zijn doorgaans duurder.



Prestaties en Beperkingen

Piezoelektrische sensoren bieden uitstekende prestaties bij het detecteren van snelle drukveranderingen en trillingen. Ze hebben een hoge gevoeligheid en kunnen kleine mechanische veranderingen nauwkeurig registreren. Echter, bij langdurige of statische belasting neemt het uitgangssignaal af, wat ze minder geschikt maakt voor het meten van constante druktoepassingen [8].

Daarnaast vereisen piezoelektrische sensoren vaak aanvullende elektronica voor signaalconditionering, zoals versterkers en filters, om het signaal geschikt te maken voor digitale verwerking. Dit kan de complexiteit en kosten van het systeem verhogen.

Toepasbaarheid binnen het Project

Gezien de eigenschappen van piezoelektrische sensoren zijn ze vooral geschikt voor toepassingen waarbij het detecteren van snelle drukveranderingen of trillingen van belang is. Voor het doel van dit project, namelijk het meten van voetafdrukken bij kinderen in een thuissituatie, is het essentieel om stabiele en langdurige drukmetingen te verkrijgen. Aangezien piezoelektrische sensoren minder geschikt zijn voor het meten van statische druk, zijn zij in dit geval niet de meest optimale keuze.

Conclusie

In dit onderzoek zijn drie technologieën geëvalueerd voor het meten van voetafdrukken: Force Sensitive Resistors (FSR's), Velostat en piezoelektrische sensoren. Elk van deze technieken biedt specifieke voordelen en kent eigen beperkingen.

Force Sensitive Resistors bieden een eenvoudige en relatief betrouwbare methode om drukveranderingen te detecteren, maar blijken minder geschikt voor het vastleggen van een volledige voetafdruk. De beperkte resolutie, hoge kosten bij opschaling en slijtagegevoeligheid maken FSR's minder aantrekkelijk voor de schaal en betrouwbaarheid die binnen dit project vereist zijn.

Piezoelektrische sensoren excelleren in het detecteren van snelle drukveranderingen en trillingen, maar presteren minder goed bij langdurige en statische druktoepassingen. Aangezien het project vraagt om het vastleggen van een stabiele drukverdeling over meerdere seconden, sluiten piezosensoren minder goed aan bij de functionele eisen.

Velostat biedt daarentegen een flexibele, kosteneffectieve en schaalbare oplossing voor drukdetectie over een oppervlak. Ondanks dat absolute drukmetingen beperkt nauwkeurig zijn en langdurige betrouwbaarheid nog verder onderzocht moet worden, maakt Velostat het mogelijk om op relatief eenvoudige wijze een druksensormatrix te creëren die voldoet aan de eisen voor dit project. De lage kosten, de eenvoudige integratie met microcontrollers en de mogelijkheid om een tweedimensionale drukverdeling vast te leggen wegen ruimschoots op tegen de nadelen.

Op basis van deze analyse is besloten om Velostat te selecteren als de technologie die verder zal worden ontwikkeld binnen dit project. De keuze voor Velostat stelt ons in staat om een betaalbare, flexibele en gebruiksvriendelijke thuismetingsoplossing te realiseren die voldoet aan de hoge eisen op het gebied van betrouwbaarheid, privacy en gebruiksgemak die het Sofia Kinderziekenhuis stelt.

Bibliografie

- [1] „FSR® 400 Series Datasheet,” Interlink Electronics, 2023. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1184367/0/0/1/34-00022.html>.
- [2] „Using an FSR,” Adafruit Industries, 2019. [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/overview> .
- [3] „Force Sensitive Resistor (FSR) Guide,” SparkFun Electronics, 2020. [Online]. Available: https://cdn.sparkfun.com/assets/e/3/b/3/8/force_sensing_resistor_guide.pdf.
- [4] „Pressure Sensors with Velostat,” Adafruit Industries, [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1361>.
- [5] „Velostat Homemade Pressure Sensor Mat,” Instructables, [Online]. Available: <https://www.instructables.com/Velostat-Homemade-Pressure-Sensor-Mat/> .
- [6] „DIY Pressure Sensor Tutorial,” Bela Platform, [Online]. Available: <https://learn.bela.io/tutorials/pure-data/sensors/diy-pressure-sensor/> .
- [7] A. Fatema, „Investigation of the Long-Term Reliability of a Velostat-Based Flexible Pressure Sensor Array for 210 Days,” ResearchGate, 2023.
- [8] „Signal Conditioning Piezoelectric Sensors,” Texas Instruments, 2004. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/an/sloa033a/sloa033a.pdf>.
- [9] „Piezo Vibration Sensor Hookup Guide,” SparkFun, [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/piezo-vibration-sensor-hookup-guide/all>.
- [10] „Piezoelectric Ribbon Sensor - 2 feet / 600mm long,” Adafruit Industries, [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/4931>.