

Bài dự thi

I. Thông tin chung về nhóm

- **Tên đội thi:** Sensix
- **Mục tiêu của nhóm:** Là một nhóm, Sensix cam kết phát triển các giải pháp thông minh như Feelix, đôi giày sử dụng chất lỏng MR thích ứng, có khả năng đọc dữ liệu sinh cơ học từ bàn chân và phản ứng động để hỗ trợ phát triển cơ bắp và sức khỏe khớp. Tên nhóm thể hiện sứ mệnh: kết nối khoảng cách giữa cơ thể và công nghệ thông qua thiết kế trực quan, dựa trên dữ liệu.
- **Giáo viên phụ trách:** Châu Tấn Tài - 0378959061 - ttchau2530@gmail.com
- **Đơn vị đăng ký:** Vinschool Central Park
- **Tỉnh-Thành Phố:** Thành phố Hồ Chí Minh

II. **Đề tài/Giải pháp:** Giày Feelix, dùng chất lỏng MR để hỗ trợ khớp gối và bàn chân.

III. **Thành viên nhóm:**

STT	Họ và tên	Trường	Lớp	Vai trò
1	Nguyễn Bửu Nghi	TH Vinschool Central Park	11B3	Phụ trách phần cứng
2	Lý Nguyễn Bạch Dương	TH Vinschool Central Park	11B4	Phụ trách phần mềm

IV. **Ý nghĩa tên đội thi:** ‘Sensix’ được chọn để phản ánh cốt lõi công việc của chúng tôi — cảm biến thông minh và đổi mới lấy con người làm trung tâm. Tên kết hợp giữa “sense” (cảm nhận) và hậu tố công nghệ “-ix” để thể hiện sự tập trung vào tích hợp cảm biến tiên tiến và các hệ thống phản hồi.

Phần 1 - Đề tài dự thi

“Feelix – Giày thông minh sử dụng công nghệ chất lỏng MR giúp những người có vấn đề về khớp hoặc cơ chân yếu.”

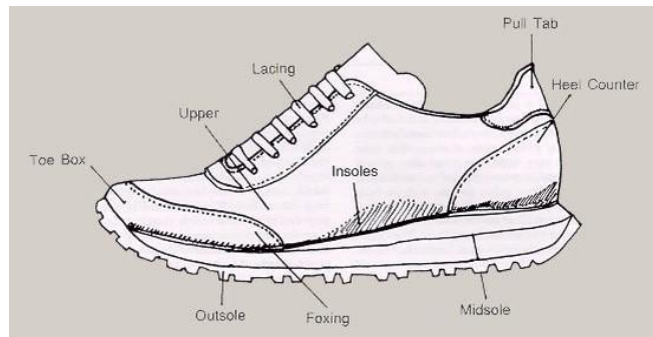
Phần 2 - Lý do chọn chủ đề

Cơ thể của chúng ta hoạt động như một chuỗi vận động từ đầu đến chân, trong đó bàn chân đóng vai trò là nền tảng hỗ trợ tư thế và chuyển động. Tuy nhiên, các vấn đề về bàn chân thường bị bỏ qua trong cả đánh giá lâm sàng và chăm sóc cá nhân hàng ngày. Nhiều người coi đau chân hoặc các vấn đề cấu trúc như bàn chân bẹt, quá mức xoay lòng bàn chân (over pronation), hoặc lệch gót chân là bình thường.

Một bằng chứng cho thấy sự phổ biến của các vấn đề về bàn chân là một nghiên cứu sức khỏe lớn với 12.136 người trưởng thành tại Việt Nam năm 2015. Kết quả cho thấy 1 trong 40 người trưởng thành bị đau chân, trong khi 1 trong 30 người bị đau mắt cá chân. Các cơ chân nội tại đóng vai trò quan trọng trong việc nâng đỡ vòm chân, cân bằng, hấp thụ sốc và đẩy trong quá trình đi bộ và chạy. Một nền tảng yếu ở bàn chân buộc cơ thể phải bù đắp ở các khớp cao hơn, dẫn đến chuỗi các vấn đề theo thời gian, bao gồm đau đầu gối, lệch hông, căng thẳng khớp mấn tính,... Các cơ bị yếu hoặc phát triển không đầy đủ theo thời gian có liên quan trực tiếp đến việc sử dụng giày hiện đại có đệm quá nhiều và hỗ trợ quá mức.

Phần 3 - Phương pháp tìm hiểu vấn đề: Qua các nghiên cứu và tài liệu online

Các lựa chọn hiện có trên thị trường

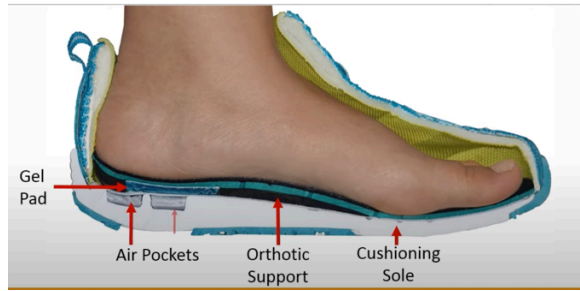


- **Giày hiện đại:** Mặc dù được thiết kế cho thời trang, thoải mái và tiện lợi, giày hiện đại thường bỏ qua sinh học tự nhiên của bàn chân và gây ra nhiều vấn đề. Đầu tiên là gót giày nâng cao (heel drop) cao từ 8 đến 10 mm. Thứ hai là hộp ngón chân bị hạn chế, buộc bàn chân phải co duỗi theo hình dạng giày. Cuối cùng, đế trong quá đệm khiến các cơ chân không được phát triển đúng cách.



- **Giày tối giản (minimalist):** Được phát triển để khắc phục nhược điểm của giày hiện đại, loại giày này không có đệm và không có gót nâng, giúp bàn chân nhạy cảm hơn với mặt đất để cơ phát triển. Về cơ bản, đây là sự đối lập hoàn toàn với giày hiện đại. Tuy nhiên, việc chuyển đổi đột ngột từ một cực này sang cực kia sẽ gây ra nhiều

vấn đề hơn lợi ích; giống như việc bắt người mới tập nâng tạ nâng 150 pounds. Sự thiếu khả năng thích nghi này là hạn chế mà nhóm Sensix muốn khắc phục.



- **Giày chỉnh hình (orthopedic):** Được thiết kế đặc biệt để hỗ trợ bàn chân và chỉnh sửa các vấn đề cấu trúc, thường được sử dụng cho người bị bàn chân bẹt hoặc viêm khớp. Mặc dù cung cấp sự hỗ trợ cần thiết và giảm đau, một hạn chế chính là sự cứng nhắc của giày. Không giống như giày thường, giày chỉnh hình thường có đế cứng và vật liệu chắc để ổn định bàn chân, điều này có thể hạn chế chuyển động tự nhiên và bước đi trong thời gian dài. Thiếu sự linh hoạt này có thể cản trở các hoạt động đòi hỏi sự nhanh nhẹn hoặc chuyển động nhanh và có thể khiến người dùng không muốn mang thường xuyên, đặc biệt là những người năng động hoặc muốn tự do vận động hơn. Trong người lớn, nghiên cứu của Chiu và Wang (2007) cho thấy đế chỉnh hình làm giảm sự xoay lòng bàn chân và gập mu chân trong các hoạt động động như nhảy, phản ánh sự hạn chế chuyển động khớp tự nhiên.

Phần 4 – Ý tưởng và giải pháp để hoàn thành mô hình sản phẩm

A/ Giới thiệu giày Feelix

Để làm cho giày dép trở nên linh hoạt hơn, nhóm Sensix đã tạo ra Feelix. Feelix giải quyết một vấn đề quan trọng trong thiết kế giày bằng cách cung cấp khả năng thích ứng theo thời gian thực để hỗ trợ phát triển tự nhiên của bàn chân đồng thời bảo vệ khớp và cơ. Giày truyền thống dựa vào mức độ đệm hoặc hỗ trợ cố định, có thể làm yếu bàn chân theo thời gian hoặc không cung cấp đủ bảo vệ trong quá trình luyện tập cơ. Feelix sử dụng các buồng chứa chất lỏng magnetorheological (MR) được điều khiển bởi cảm biến và vi xử lý nhúng để điều chỉnh độ cứng dưới lòng bàn chân theo chuyển động người dùng. Điều này cho phép giày phản ứng với các pha khác nhau của bước đi và áp lực chân, cung cấp hỗ trợ chỉ khi cần thiết và giảm dần khi cơ chân khỏe lên. Bằng cách thích ứng theo tiến trình người dùng, Feelix giúp chuyển đổi an toàn, cá nhân hóa hướng tới bàn chân khỏe mạnh hơn mà không gây nguy cơ chấn thương do quá tải hoặc mất cân bằng.

B/ Về phần cứng

1. Đế ngoài – Lớp tiếp xúc mặt đất

- Độ dày: 3–6 mm
- Chất liệu: Cao su carbon cao (Vibram® XS Trek)

Đế ngoài cung cấp độ bền và độ bám trong khi tạo nền bảo vệ cho công nghệ giày. Vì giày hướng đến cảm giác tối giản, đế được giữ mỏng và linh hoạt, với chiều cao lớp chổng tối thiểu để giữ lại cảm nhận mặt đất — điều cần thiết cho sự phát triển cảm giác vị trí bàn chân (proprioception). Các rãnh uốn sâu và bề mặt rộng tăng sự ổn định cho người dùng có khớp nhạy cảm, đảm bảo bước đi vững chắc trong khi vẫn giữ cấu trúc nhẹ và phản hồi nhanh.

2. Lớp tản nhiệt và dẫn hướng từ trường

- Độ dày: 1–2 mm
- Chất liệu:
 - + Lớp tản nhiệt: Nhôm 6061-T6 hoặc tấm đồng
 - + Lớp dẫn từ trường: Sắt mềm (hợp kim Fe-Si) hoặc Mu-metal

Lớp này có hai chức năng quan trọng. Thứ nhất, nó tản nhiệt sinh ra từ cuộn điện từ dùng để kích hoạt chất lỏng MR, bảo vệ cả điện tử và chất lỏng khỏi hư hại do nhiệt. Thứ hai, nó dẫn hướng từ trường lên trên, đảm bảo năng lượng được truyền hiệu quả vào các buồng chứa chất lỏng phía trên. Lớp này được căn chỉnh chính xác với các buồng MR và rất quan trọng để giữ mức tiêu thụ điện thấp và hiệu suất ổn định — đặc biệt trong hoạt động kéo dài hoặc tác động mạnh.

3. Lớp chất lỏng MR và buồng chứa – Lõi hỗ trợ thích ứng

- Độ dày: 6–10 mm
- Chất liệu:
 - + Chất lỏng MR: MRF-132DG hoặc chất lỏng silicone có hạt Fe_3O_4 nano
 - + Vỏ buồng: TPU hoặc cao su silicone (ví dụ Dragon Skin™ 20)
 - + Cách nhiệt: Màng aerogel (ví dụ Pyrogel®) hoặc mút silicone tẽ bảo kín

Đây là phần cốt lõi chức năng của giày. Các buồng kín chứa chất lỏng MR được đặt dưới các vùng chịu áp lực chính — gót chân, mu chân giữa và mũi chân. Khi tiếp xúc với từ trường, chất lỏng chuyển từ trạng thái mềm sang cứng, điều chỉnh độ cứng của giày theo thời gian thực. Điều này rất cần thiết cho mục tiêu của giày:

- *Ban đầu, người dùng được hưởng lợi từ đệm và bảo vệ khớp nhiều hơn.*
- *Khi cơ chân khỏe hơn, hệ thống MR giảm độ cứng, cho phép tiếp xúc mặt đất tự nhiên hơn và kích thích cơ hoạt động — mô phỏng cảm giác tối giản.*

Để đảm bảo hiệu suất an toàn, các buồng MR được cách nhiệt khỏi nhiệt độ bên ngoài và được bảo vệ chống lắng đọng hoặc phân hủy chất lỏng. Cảm biến theo dõi áp lực và nhiệt độ, trong khi các chất phụ gia chống vón giữ cho chất lỏng MR ổn định lâu dài.

4. Lớp cuộn điện từ – Hệ thống kích hoạt từ trường

- Độ dày: 1.5–3 mm
- Chất liệu:
 - + Cuộn dây: Dây đồng tráng men AWG 36
 - + Nền cuộn: Mạch in polyimide linh hoạt (ví dụ Kapton®)

Mỗi cuộn dây nằm ngay dưới buồng chứa chất lỏng MR tương ứng và dùng để điều khiển thời gian và cường độ từ trường. Cuộn điện từ tạo ra từ trường lan tỏa ra ngoài. Việc đặt cuộn dây dưới buồng chứa chất lỏng MR đảm bảo từ trường đi thẳng lên qua chất lỏng, cần thiết để kích hoạt đúng cách. Hệ thống sử dụng tín hiệu điều chế độ rộng xung (PWM) công suất thấp để thay đổi cường độ từ trường linh hoạt, cho phép chuyển đổi dần dần giữa các mức đệm. Điều này cho phép giảm tải cảm giác tiếp đất chắc chắn cho người tiếp đất bằng gót hoặc mềm hơn khi đi chậm, thích ứng với từng bước chân để bảo vệ khớp và kích thích cơ an toàn.

5. Lớp cảm biến và mạch điện

- Độ dày: 1.5–2.5 mm
- Chất liệu:
- Bộ điều khiển: ESP32-PICO-D4
- Cảm biến:
 - + Áp lực: Interlink FSR hoặc Tekscan thin-film
 - + Chuyển động: Bosch BNO055 (IMU 9 trục)
 - + Nhiệt độ: Cảm biến LM35
 - + Nền mạch: FPC linh hoạt

Trên hệ thống MR là lớp điều khiển — “bộ não” của toàn bộ hoạt động. Lớp này gồm bảng mạch nhỏ hoặc mạch in linh hoạt chứa vi điều khiển, cảm biến chuyển động, cảm biến áp lực và cảm biến nhiệt độ. Để giảm kích thước và độ phức tạp dây nối, lớp này được thiết kế theo kiến trúc hệ thống trên chip (SoC) sử dụng chip ESP32-PICO-D4 — chip tích hợp nhiều chức năng trong một. Chip này nằm trên bảng mạch linh hoạt chính dưới vòm chân, nơi ít chịu tác động nhất. Lớp trung tâm này kết nối trực tiếp với các cuộn điện từ qua dây linh hoạt và quản lý phân phối điện từ pin.

Lớp điều khiển nhúng này sử dụng dữ liệu thời gian thực từ các cảm biến áp lực, chuyển động và nhiệt độ để phân tích dáng đi, hoạt động và mức độ cường độ của người dùng. Dựa trên dữ liệu, hệ thống kích hoạt hoặc tắt các buồng chứa chất lỏng MR để cung cấp hỗ trợ phù hợp. Ví dụ:

- Khi đi bộ lâu, giày có thể tăng độ cứng vùng mũi chân để hỗ trợ các cơ chân yếu dần.
- Khi đứng yên, giày có thể làm mềm vùng mu chân giữa để giảm mệt mỏi.

6. Đế giữa – Đệm thụ động và phân phối lực

- Độ dày: 4–8 mm (4 mm vùng mũi chân, đến 8 mm vùng gót)
- Chất liệu: EVA mật độ kép (Shore A 40–60)

Dù có hỗ trợ thích ứng, vẫn cần một lớp đệm thụ động cơ bản — đặc biệt với người có vấn đề về khớp. Lớp đệm này cung cấp:

- *Lớp đệm dự phòng an toàn khi hệ thống tắt nguồn*
- *Phân phối lực đều, đặc biệt dưới vòm và mũi chân*
- *Hỗ trợ chuyển dần tải trọng cho người phát triển cơ chân*

Nó cũng bảo vệ mạch và lớp MR bên dưới khỏi áp lực trực tiếp từ chân. Lớp đệm này mỏng hơn nhiều so với đế giữa 30 mm của giày truyền thống.

7. Lót giày – Giao diện với bàn chân

- Độ dày: 2–4 mm
- Chất liệu:
 - + Mút nhớ Ortholite®
 - + Vải than tre hoặc dệt kháng khuẩn

Lót giày đảm bảo sự thoải mái và vệ sinh cho bàn chân. Được thiết kế kiểm soát độ ẩm, phân phối áp lực và thoáng khí. Vì người dùng có thể chuyển từ lót dày đệm sang lót mỏng hơn, lớp này cung cấp cảm giác quen thuộc đồng thời giúp nhận biết mặt đất. Một số mẫu có thể có hướng dẫn vòm hoặc gờ bên trong để kích hoạt nhẹ nhàng các cơ chân nội tại khi đi bộ.

8. Thân giày và vỏ bảo vệ

- Pin: Cell Li-Po 500–800 mAh (3.7V)
- Chất liệu:
 - + Lưới dệt kỹ thuật + gia cố TPU
 - + Lớp lót hút ẩm
 - + Dây điện tích hợp ở vòm hoặc cổ gót

Phần thân giày không chỉ hỗ trợ bàn chân mà còn chứa các linh kiện điện tử nhúng. Thiết kế cung cấp sự ổn định vùng mu chân giữa và tự do cho ngón chân. Thoáng khí nhờ vật liệu lưới, trong khi xử lý kháng khuẩn giúp giữ vệ sinh. Ngoài ra, phần gia cố TPU ở gót và mu chân giữa tăng sự ổn định ngang, giúp người dùng chuyển dần sang trải nghiệm giày tối giản mà không mất an toàn hay thoải mái.

C/ Về phần mềm & cách dữ liệu được sử dụng

Trong giày thông minh *Feelix*, *ESP32-PICO-D4* đóng vai trò là bộ xử lý trung tâm, chạy tất cả các chức năng phần mềm bao gồm đọc dữ liệu từ cảm biến nhiệt độ, cảm biến áp lực và IMU. Sử dụng dữ liệu này, *ESP32-PICO-D4* phân tích mẫu dáng đi, ước lượng kích hoạt cơ và điều khiển độ cứng của buồng chất lỏng MR. Nó sử dụng *Bluetooth Low Energy (BLE)* tích hợp để truyền dữ liệu không dây đến ứng dụng di động *Feelix*, cho phép phản hồi và ghi lại dữ liệu thời gian thực. *ESP32* cũng quản lý hệ thống nguồn bằng cách theo dõi mức pin qua chân ADC và vào chế độ ngủ để tiết kiệm năng lượng khi giày không hoạt động. Pin là cell *Li-Po 3.7V* cung cấp năng lượng cho vi điều khiển và cuộn điện từ MR, trong khi phần mềm kiểm soát chặt chẽ việc sử dụng điện để tối đa hóa thời gian sử dụng pin.

Các chỉ số chính đo lường bàn chân bao gồm:

1. Kích hoạt cơ

- Mục đích: Phản ánh mức độ hoạt động và hiệu quả của cơ chân khi đi bộ hoặc chạy.
- Đo lường:
 - + Áp lực tối đa vùng mũi chân khi đẩy (đẩy mạnh = cơ khỏe hơn)
 - + Sự nhất quán giữa các bước (mệt mỏi có thể gây áp lực không đều)

2. Đối xứng dáng đi

- Mục đích: Cho biết hai bàn chân có hoạt động cân bằng không. Dáng đi không đều có thể dẫn đến các vấn đề khớp lâu dài, mất cân bằng cơ hoặc chấn thương.
- Đo lường:
 - + So sánh thời gian bước giữa hai chân (từ tiếp xúc gót đến nhấc ngón)
 - + Phân bố lực (hai chân có áp lực tương đương không?)
 - + Góc chuyển động chân từ IMU (chân nào xoay lòng nhiều hơn?)
- Chênh lệch >10% sẽ được cảnh báo, ứng dụng cung cấp “Điểm đối xứng dáng đi” giúp người dùng cân bằng bước chân.

3. Chuyển động bàn chân

- Mục đích: Hiểu chuyển động bàn chân giúp phát hiện các mẫu bất thường như xoay lòng quá mức hoặc quay quá nhiều, có thể dẫn đến chấn thương.
- Đo lường:
 - + Góc nghiêng bàn chân: Phản ánh pronation hoặc supination
 - + Quay trong pha vung chân
 - + Mẫu gia tốc: Cho biết lực va chạm và thời điểm

4. Giám sát nhiệt độ

- Mục đích: Nhiệt độ ảnh hưởng đến hiệu suất chất lỏng MR. Nếu giày quá nóng hoặc lạnh, chất lỏng có thể không phản ứng đúng. Giám sát nhiệt độ giúp bảo vệ chất lỏng và người dùng.
- Đo lường:
 - + Cảm biến nhiệt nhỏ gần các buồng MR liên tục theo dõi nhiệt độ bên trong. Nếu vượt ngoài phạm vi tối ưu (dưới 15°C hoặc trên 40°C), hệ thống có thể:
 - + Điều chỉnh công suất cuộn điện từ
 - + Cảnh báo người dùng qua ứng dụng
 - + Đề nghị nghỉ ngơi nếu giày quá nóng

Phần 5 - Quy trình triển khai và tính khả thi của giải pháp

A/ Lịch trình triển khai:

- Tuần 1–2: Lập kế hoạch hệ thống

Thiết kế cấu trúc lớp và phác thảo kiến trúc phần mềm.

- Tuần 3–5: Phát triển điện tử & firmware

Lắp ráp PCB linh hoạt với ESP32, cuộn dây, cảm biến và pin. Phát triển firmware đọc cảm biến và điều khiển chất lỏng MR (PWM). Bắt đầu cấu trúc ứng dụng và ghép nối BLE.

- Tuần 6–7: Tích hợp cơ khí

Xây dựng giày hoàn chỉnh: đúc buồng MR trong TPU, quấn cuộn đồng, tích hợp điện tử và pin vào vòm hoặc gót. Hoàn thiện vỏ và thân giày.

- Tuần 8–9: Hoàn thiện ứng dụng & phần mềm

Hoàn thành ứng dụng với hiển thị dữ liệu chân thời gian thực, ghi lại phiên tập và cảnh báo. Tối ưu firmware tiết kiệm năng lượng và phân tích dáng đi chính xác.

- Tuần 10–11: Kiểm tra & hiệu chuẩn

Thử nghiệm giày trong các bài tập đi bộ, ngồi xổm và thăng bằng. Điều chỉnh ngưỡng cảm biến và xác minh chỉ số dáng đi. Sửa lỗi và cải thiện sự thoải mái.

- Tuần 12: Hoàn thiện

Chuẩn bị trình diễn hoặc chạy thử nhỏ với nguyên mẫu hoàn chỉnh.

B/ Biện pháp đảm bảo an toàn và độ tin cậy

- Trước khi tạo nguyên mẫu, kế hoạch sẽ được chuyên gia kỹ thuật uy tín kiểm tra để xác nhận tính khả thi và thực tiễn.

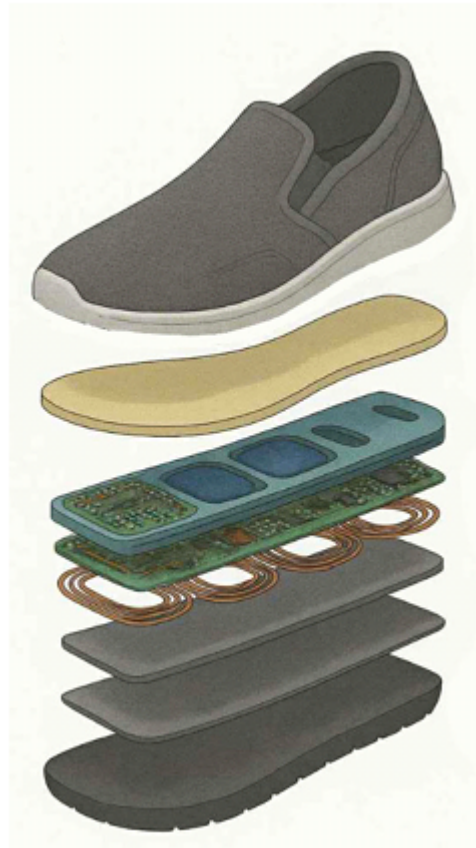
- Trong quá trình phát triển, mỗi thành viên đảm nhận vai trò phát triển phần mềm hoặc phần cứng. Cả phần mềm và phần cứng được chia thành các module, mỗi module phải hoàn thành trước khi sang module tiếp theo.

- Sau khi hoàn thành mỗi module, sẽ tiến hành kiểm tra module đó để đảm bảo độ tin cậy (kiểm tra mô-đun). Việc kiểm tra được theo dõi bởi toàn nhóm và chuyên gia để tăng độ chính xác.

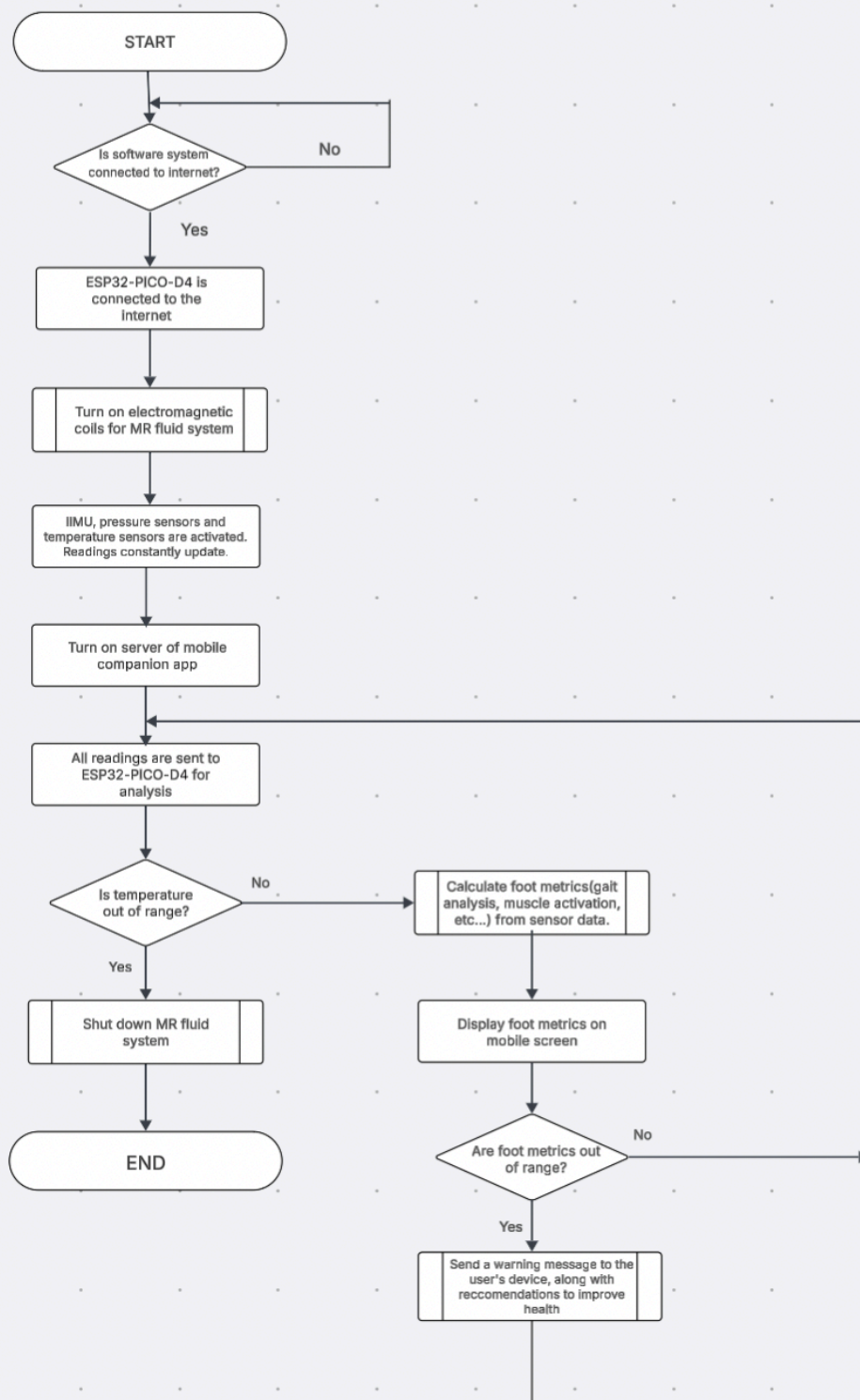
- Khi tất cả các module phần mềm và phần cứng hoàn thành, các module sẽ được kết hợp thành nguyên mẫu và được kiểm tra toàn diện.

C/ Kế hoạch dự án

a. Mô hình mẫu 3D mô tả cấu trúc của Felix



b. Lưu đồ thuật toán mô tả cách vận hành của Felix



D/ Tính khả thi của Felix và các vấn đề tiềm ẩn

- Giày Felix khả thi sử dụng các linh kiện và phương pháp sản xuất thương mại hiện có:
 - + Vi điều khiển ESP32-PICO-D4 cung cấp sức mạnh xử lý và BLE tích hợp.
 - + Ứng dụng di động sử dụng thư viện BLE chuẩn để hiển thị dữ liệu chân thời gian thực.
 - + Hệ thống chất lỏng MR phản ứng với cuộn điện từ, pin Li-Po nhỏ cung cấp nguồn.
 - + Vật liệu TPU, EVA và lưới PU nhẹ, bền và tương thích với các linh kiện thông minh.
- Giày đáp ứng nhu cầu thực tế: người có đau khớp hoặc cơ chân yếu thường gặp khó khăn khi chuyển sang giày tối giản. Felix bắc cầu khoảng cách đó với độ cứng để giữa thích ứng, giúp giảm nguy cơ chấn thương đồng thời thúc đẩy phát triển cơ. Với thiết kế và hiệu chuẩn cẩn thận, việc sản xuất và thử nghiệm giày Felix có thể hoàn thành trong chu kỳ R&D ngắn và mở rộng quy mô bằng công nghệ hiện tại.

Vấn đề tiềm ẩn 1: Hiệu suất chất lỏng MR có thể giảm trong nhiệt độ khắc nghiệt — đặc biệt dày hơn khi lạnh hoặc loãng khi nóng.
Giải pháp: Dù có lớp cách nhiệt aerogel, MR vẫn có thể bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ cao. Do đó, chúng tôi sẽ cảnh báo người dùng không sử dụng giày Felix trong thời tiết khắc nghiệt.

Vấn đề tiềm ẩn 2: Nén lặp lại có thể làm hỏng buồng chứa MR, gây rò rỉ.
Giải pháp: Để ngăn rò rỉ, chúng tôi sử dụng lớp TPU nhiều lớp và thiết kế chịu áp lực cao.

Vấn đề tiềm ẩn 3: Chất lỏng MR không phổ biến tại Việt Nam, có thể ảnh hưởng đến tiến độ dự án.
Giải pháp: Liên hệ nhà phân phối hoặc đại lý nhập khẩu chuyên về linh kiện điện tử hoặc vật liệu đặc biệt.

Phần 6 - Kế hoạch tài chính và triển khai thực hiện dự án Felix (cho mỗi đôi, VND):

Lớp	Thành phần	Vật liệu/bộ phận	Số lượng	Tổng giá tiền (VNĐ)
Đế ngoài	Bề mặt tiếp xúc	Cao su Vibram® XS Trek (hợp chất carbon cao)	300 g	300,000
Lớp tản nhiệt + từ trường	Tản nhiệt	Tấm nhôm 6061-T6 (1mm)	2 miếng cắt hình chân	80,000
	Dẫn hướng từ trường	Tấm MU-metal hoặc sắt mềm AISI 1008	2 miếng	180,000
Lớp cuộn điện từ	Dây cuộn	Dây đồng tráng men AWG 36	25 m	20,000
	Nền cuộn	Mạch in linh hoạt	2 tấm (cỡ A5)	

		Kapton		130,000
	Khắc mạch đồng (chi phí PCB)	Chi phí sản xuất PCB linh hoạt	2 layout chân	150,000
Buồng chứa MR	Chất lỏng MR	MRF-132DG	120 mL	720,000
	Vỏ buồng	Màng TPU (0.5mm)	2 miếng đúc	200,000
	Chất bịt kín	Cao su silicone Dragon Skin 10	100 g	100,000
	Cách nhiệt	Mút silicone hoặc màng aerogel	2 miếng hình chân	150,000
Lớp cảm biến & mạch	Vi điều khiển	ESP32-PICO-D4	1 bộ	120,000
	Cảm biến IMU	Bosch BNO055 (9 trục)	1 bộ	200,000
	Cảm biến áp lực	Interlink FSR 400	8 cảm biến	240,000
	Cảm biến nhiệt	LM35DZ	2 cảm biến	40,000
	PCB + linh kiện thụ động	Điện trở SMD và PCB hàn sẵn	1 bảng linh hoạt	300,000
Đế giữa (đệm thụ động)	Mút đệm	EVA nén đúc (mật độ kép)	2 miếng	150,000
Lót giày	Mút đệm	Ortholite X-40 PU foam (3mm)	2 miếng	80,000
	Vải phủ mặt	Lưới tre kháng khuẩn	2 lớp	20,000
Thân giày & vỏ	Vải dệt	Lưới polyester kỹ thuật	0.4 m ²	200,000
	Gia cố cấu trúc	Màng TPU dán nhiệt	0.2 m ²	50,000
	Pin	Li-Po 3.7V 800 mAh	1 bộ	150,000
	Dây điện + đầu nối	Dây đồng, đầu nối JST, công tắc	Bộ đầy đủ	100,000
Lắp ráp & nhân công	Tích hợp hệ thống	Lắp đặt thủ công các cuộn, mạch, chất lỏng	Mỗi đôi	1,200,000
Tổng vật liệu & nhân công	-	-	Mỗi đôi	6,080,000

Phần 7 - Phụ lục:

- Chuong NV, Pho DC, Thuy NTT, Nguyen DT, Luan NT, Minh LH, Khai LT, Linh NT, Kien NT. Pain incidence, assessment, and management in Vietnam: a cross-sectional study of 12,136 respondents. *J Pain Res.* 2019 Feb 25;12:769-777. doi: 10.2147/JPR.S184713. PMID: 30881090; PMCID: PMC6394241.

- Chen H, Sun D, Fang Y, Gao S, Zhang Q, Bíró I, Tafferner-Gulyás V, Gu Y. Effect of orthopedic insoles on lower limb motion kinematics and kinetics in adults with flat foot: a systematic review. *Front Bioeng Biotechnol.* 2024 Jul 9;12:1435554. doi: 10.3389/fbioe.2024.1435554. PMID: 39070160; PMCID: PMC11273083.

- Yang, T.-H., Son, H., Byeon, S., Gil, H., Hwang, I., Jo, G., Choi, S., Kim, S.-Y., & Kim, J. R. (2021). Magnetorheological Fluid Haptic Shoes for Walking in VR. *IEEE Transactions on Haptics*, 14(1), 83–94.

- Heo, Y. H., Byeon, S., Kim, T.-H., & Kim, S.-Y. (2020). Investigation of a Haptic Actuator Made with MagnetoRheological Fluids for Haptic Shoe Applications. *MDPI Sensors*, 20(1), Article 5.

- Zhang, P., Lee, K. H., & Lee, C. H. (2024). Enhancing Intelligent Shoes with Gait Analysis: A Review on IMU-Based Wearable Systems. *MDPI Sensors*, 24(24), Article 7880.