

Một số kết quả tính toán và thiết kế cơ khí xe lăn điện kiểu đứng

Some results of calculation and mechanical design of electric standing wheelchair

Đặng Ngọc Sỹ^{a,b}, Võ Minh Long^{a,b*}, Vũ Dương^{a,b}, Đinh Hữu Quang^{a,b}, Nguyễn Hữu Chiến^{a,b},
Nguyễn Duy Linh^{a,b}, Hồ Ngọc Huy^{a,b}
Dang Ngoc Sy^{a,b}, Vo Minh Long^{a,b*}, Vu Duong^{a,b}, Dinh Huu Quang^{a,b}, Nguyen Huu Chien^{a,b},
Nguyen Duy Linh^{a,b}, Ho Ngoc Huy^{a,b}

^aTrung tâm Cơ khí, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^aCenter of Mechanical Engineering, Duy Tan University, 550000, Danang, Vietnam

^aInstitute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam

^aViện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

(Ngày nhận bài: 04/10/2023, ngày phản biện: 10/10/2023, ngày chấp nhận đăng: 02/11/2023)

Tóm tắt

Xe lăn là một thiết bị y tế quan trọng hỗ trợ cho những người gặp khó khăn khi di chuyển trong sinh hoạt cuộc sống hằng ngày. Các thiết kế về xe lăn ngày càng được cải tiến để mang đến nhiều tiện ích hơn cho người dùng và xe lăn đứng là một dòng xe lăn tiêu biểu. Xe lăn đứng giúp người sử dụng di chuyển ở tư thế thẳng đứng, giúp ích nhiều trong sinh hoạt cá nhân và công việc, ngoài ra còn hỗ trợ người bị suy giảm chức năng di chuyển hồi phục nhanh hơn, bớt đi cảm giác tự ti để hòa nhập với cộng đồng.

Nhóm nghiên cứu đã tính toán và thiết kế cơ khí được kiểu xe lăn điện đứng với kích thước dài x rộng x cao là 95 x 50 x 1450cm, nặng 50kg, có cơ cấu nâng được trọng lượng 100kg, di chuyển trên địa hình bằng phẳng và độ dốc lớn nhất là 6°, tốc độ di chuyển lớn nhất 5km/h. Người sử dụng có thể vận hành xe ở 2 tư thế ngồi và đứng. Xe lăn được thiết kế phù hợp thể trạng người Việt Nam, có thể điều chỉnh độ cao bàn đạp chân để sử dụng cho nhiều người với chiều cao khác nhau. Xe lăn có thể được sử dụng tại các bệnh viện, trung tâm phục hồi chức năng, viện dưỡng lão hay tại nhà. Bài báo trình bày thiết kế cơ khí xe lăn và các tính toán như công suất động cơ, lực đẩy cần thiết của xilanh, độ dốc an toàn để xe lăn không bị lật khi lên xuống dốc.

Từ khóa: xe lăn; người gặp khó khăn di chuyển; xe lăn điện đứng.

Abstract

A wheelchair is an important medical device that provides support for individuals facing mobility challenges, both in terms of movement and various activities. Wheelchair designs have been continually improved to offer more convenience to users, and standing wheelchairs are a prominent type. Standing wheelchairs enable users to move in an upright position, which greatly assists in personal activities and work. Additionally, it can help individuals with reduced mobility function in recovering more quickly and reducing feelings of self-consciousness, facilitating their integration into the community.

The research team has calculated and designed a standing electric wheelchair with dimensions of 95 x 50 x 1450 cm (length x width x height), weighing 50kg, can lift a weight of 100kg, move on flat terrain, and even slopes up to 6° degrees with maximum speed of 5 km/h. The research team has calculated and designed a mechanical structure for an electric standing wheelchair that can lift a weight of 100kg, move on flat terrain, and even slopes up to 6° degrees. Users can

*Tác giả liên hệ: Võ Minh Long

Email: longvo91@gmail.com

operate the wheelchair in both sitting and standing positions. The wheelchair is designed to be suitable for the physique of Vietnamese individuals, with height-adjustable footrest to accommodate people of varying heights. This wheelchair can be used in hospitals, rehabilitation centers, nursing homes, or at home. The report presents the mechanical design of the wheelchair and some results of calculation such as motor power, required cylinder thrust, and the safe slope angle to prevent tipping when going up or down inclines.

Keywords: wheelchair; individuals facing mobility challenges; electric standing wheelchair.

1. Giới thiệu

1.1 Tìm hiểu về xe lăn điện

Bằng chứng chiếc xe lăn đầu tiên trên thế giới được tìm thấy ở Trung Quốc, trên bức tranh được vẽ vào năm 525. Đến năm 1933, 2 kỹ sư cơ khí Harry C. Jennings Sr. và Herbert Everest đã sáng chế ra nguyên bản của những chiếc xe lăn ngày nay [1].

Với sự phát triển của lĩnh vực điện tử, những chiếc xe lăn được trang bị động cơ điện và pin ra đời. Người sử dụng có thể điều khiển xe tiến tới mà không cần dùng sức đẩy của tay. Năm 2014, chiếc xe lăn điện điều khiển bằng giọng nói của 2 nhà khoa học đến từ Đại học MIT là Matt Walter và Sachi Hemachandra được xem là sự phát triển vượt bậc trong tiến trình cải tiến xe lăn điện. Người sử dụng có thể cài đặt hệ thống bản đồ và các câu lệnh, xe lăn sẽ hiểu được và di chuyển tới vị trí mà họ mong muốn. Cùng với sự phát triển của công nghệ AI, những nghiên cứu gần đây hướng tới kết nối xe lăn với smartphone, người dùng có thể điều khiển trực tiếp trên điện thoại, hay qua giọng nói, cử chỉ, hơi thở và cả bằng sóng não.

Trên thị trường, những chiếc xe lăn ngày nay không những được cải tiến nhiều về công nghệ, mà tính thẩm mỹ cũng được chú trọng, giúp cho người sử dụng được thoải mái, không có cảm giác tự ti. Chiếc xe lăn điện Model C2 của hãng Whill, xe có trọng lượng khoảng 55kg, tốc độ tối đa 8km/h, có thể đi được trên đường dốc 10°, điều khiển chuyển động bằng núm xoay (Hình 1). Hay chiếc xe lăn điện H3S của hãng Airwheel: xe có trọng lượng nhẹ chỉ khoảng 30kg, tốc độ tối đa là 6km/h và có thể leo lên dốc 9°, được điều

khiển chuyển động và gập gọn từ xa bằng smartphone.



Hình 1. Xe lăn điện Whill Model C2 [2]

Người lớn tuổi, người sau khi bị tai nạn, đột quỵ hay sau cuộc phẫu thuật lớn sẽ có những hạn chế về vận động. Để thuận tiện trong sinh hoạt, họ thường sử dụng xe lăn để trợ giúp quá trình di chuyển. Tuy nhiên việc ngồi trên xe lăn một thời gian dài có thể gây ra viêm bàng quang, lưu thông máu không tốt và các bệnh về xương cơ. Xe lăn điện đứng giúp hạn chế những vấn đề sức khỏe trên và cũng hỗ trợ bệnh nhân trong quá trình tập luyện phục hồi khả năng vận động [3].

Xe lăn điện đứng gồm các bộ phận chính như sau: đế, khung chính, ghế ngồi, động cơ, pin và bộ điều khiển. Đế được lắp 4 bánh xe, 2 bánh chủ động lắp đặt động cơ và 2 bánh đa hướng. Khung chính nối liền với đế tạo ra một kết cấu cân bằng khi di chuyển. Ghế ngồi được gắn trên khung chính có thể điều chỉnh gập. Các động cơ điện hỗ trợ chuyển động của 2 bánh trước và gập lên xuống của ghế ngồi thông qua bộ điều khiển được gắn trên xe lăn.

1.2. Mục tiêu nghiên cứu

Tính toán và thiết kế sản phẩm xe lăn điện đứng cho người bị suy giảm chức năng di chuyển. Sản phẩm đáp ứng được các tiêu chí như sau:

- An toàn trong quá trình sử dụng: không bị nghiêng, lật khi di chuyển trên địa hình bằng phẳng và độ dốc lớn nhất là 6^0 , được trang bị dây đeo an toàn.
- Tốc độ di chuyển tối đa là 5km/h.
- Tổng trọng lượng xe khoảng 50kg.
- Phù hợp với chiều cao và khối lượng người Việt Nam.
- Chịu được trọng lượng người tối đa 100kg.
- Có giá thành phù hợp với điều kiện kinh tế ở Việt Nam.

Thiết kế có tính mô đun hóa cao, dễ dàng bảo trì cũng như thay thế linh kiện.

2. Phương pháp nghiên cứu

- Dựa trên việc thu thập số liệu đã được công bố, tổng hợp kích thước sinh trắc học của người Việt Nam để có dữ liệu tính toán và thiết kế.

- Áp dụng điều kiện cân bằng lực, tính toán, thiết kế kết cấu cơ khí để xe lăn cân bằng khi di chuyển trên đường bằng và khi lên xuống dốc.

- Áp dụng điều kiện cân bằng lực, công thức tính công suất và moment động cơ, tính toán, lựa chọn động cơ di chuyển và xi lanh điện nâng ghế.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Sinh trắc học người Việt Nam

Theo kết quả Tổng điều tra Dinh dưỡng Toàn quốc năm 2019-2020, chiều cao trung bình ở nhóm thanh niên nam 18 tuổi đạt 168.1cm, nữ đạt 156.2cm [4]. Dựa theo chiều cao tiêu chuẩn của tổ chức Y tế Thế giới [5], ta ước tính chiều cao trung bình của người Việt ở các nhóm tuổi như Bảng 1:

Bảng 1. Chiều cao trung bình người Việt Nam theo độ tuổi

Tuổi	Chiều cao (cm)	
	Nam	Nữ
12	141.5	142.2
13	148.6	149.9

14	156.2	151.6
15	162.5	152.9
16	165.8	155.7
17	167.6	155.7
18	168.1	156.2
19	168.9	156.2

Trong giải phẫu và nghệ thuật tạo hình, thì phần đầu (tính từ đỉnh đầu đến cằm) là đơn vị so sánh tỉ lệ toàn thân thông dụng nhất [6]. Đàn ông và phụ nữ ở tuổi trưởng thành (trên 18 tuổi) toàn thân đo được 7.5 đầu, trong đó chiều cao từ khớp hông đến gót chân là 4 đầu. Thiếu niên từ 12 đến 17 tuổi toàn thân đo được 7 đầu, trong đó chiều cao từ khớp hông đến gót chân là 3.5 đầu (Bảng 2). Dựa vào chiều cao này để thiết kế chiều cao của ghế, điểm cao nhất của ghế khi người đứng ngang bằng với khớp hông.

Bảng 2. Chiều cao từ khớp hông đến gót chân

Tuổi	Chiều cao (cm)	
	Nam	Nữ
12	70.8	71.2
13	74.4	75
14	78.2	75.8
15	81.2	76.4
16	83	77.8
17	83.8	77.8
18	89.6	83.4
19	90	83.4

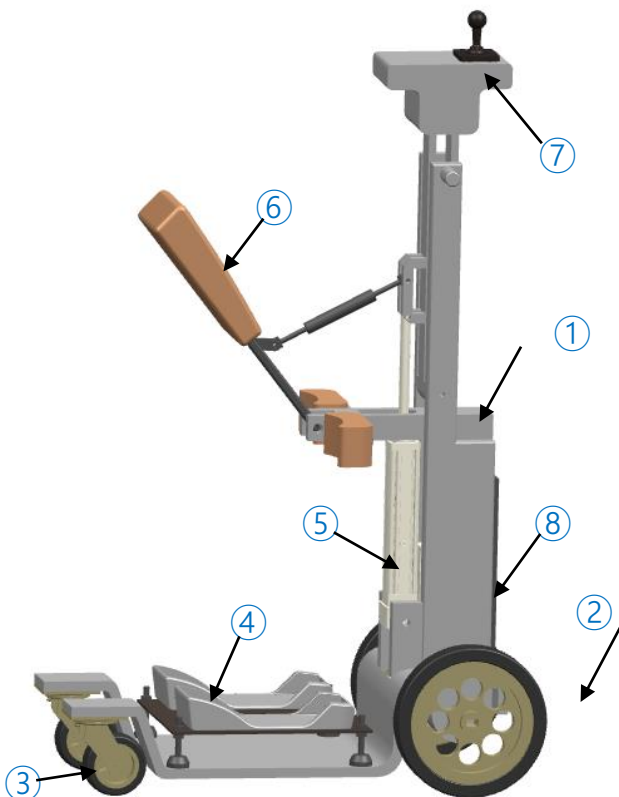
3.2. Thiết kế cơ khí

Xe lăn điện đứng được cấu tạo từ những bộ phận chính sau (Hình 2):

- ① Khung xe
- ② Cụm bánh xe chủ động
- ③ Bánh xe sau
- ④ Bộ đỡ chân
- ⑤ Xi lanh điện
- ⑥ Ghế ngồi, tựa
- ⑦ Đầu xe tích hợp bộ điều khiển
- ⑧ Ấc quy chì

Khung xe ① được làm từ thép, các chi tiết khác được gắn trên đó. Khung xe có khả năng chịu tải trọng người lên đến 100kg. Bánh xe chủ

động ② có vành làm bằng hợp kim nhôm, bọc vỏ cao su, đường kính 30cm, bề ngang 6cm, chịu tải trọng 70-80kg trên một bánh. Bánh xe sau ③ là bánh xe tự lùa, chịu được tải trọng 100kg mỗi bánh. Bộ đế chân ④ được thiết kế có thể điều chỉnh chiều cao phù hợp với người có chiều cao từ 1m40 đến 1m80. Xi lanh điện ⑤ có hành trình lớn nhất là 100mm, hành trình khi xi lanh làm việc là 62mm. Ghế ⑥ có thể nghiêng một góc tối đa là 4° so với phương ngang để người ngồi vào một cách dễ dàng. Khi nâng lên, người dùng tựa vào đó, hỗ trợ giảm bớt phần trọng lượng cơ thể lên đôi chân. Bộ điều khiển ⑦ gồm công tắc điều khiển đa hướng và các nút chức năng hỗ trợ. Ấc quy chì ⑧ được sử dụng loại ắc quy dành cho dòng xe máy điện có thông số 24V-20Ah, gồm 2 bình ắc quy 12V-20Ah mắc nối tiếp.



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo xe lăn điện đứng

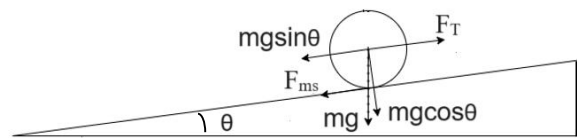
Xe lăn được điều khiển chuyển động tới và lui bởi hai động cơ ở hai bánh chủ động. Xe sử dụng hệ thống dẫn động bánh trước. Đôi hướng chuyển động bằng cách điều khiển chiều của hai

động cơ, thực hiện thông qua công tắc điều khiển đa hướng. Việc tăng giảm tốc độ do bộ biến trở tích hợp trên công tắc thực hiện. Với tốc độ di chuyển chậm chỉ dưới 5km/h, thiết kế phanh hãm bằng cách tạo ra ma sát vào bánh xe chủ động, điều này sẽ an toàn hơn ngay cả khi xe bị mất điện so với phanh xe bằng cách hãm dừng động cơ.

3.3. Tính toán động cơ [7, 8]

Khối lượng người chở được tối đa 100kg, khối lượng xe 50kg. Tổng khối lượng tối đa $m = 150\text{kg}$.

Động cơ cung cấp momen quay cho 2 bánh xe chủ động (trước) để cho xe chuyển động. Quá trình chuyển động này chịu ảnh hưởng bởi trọng lượng trên xe và ma sát giữa bánh xe và mặt đường.



Hình 4. Lực tác dụng lên bánh xe

Gọi F_T (N) là lực kéo, F_{ms} (N) là lực ma sát, P_{dc} (W) là công suất động cơ, T (N/m) là momen xoắn động cơ, θ ($^\circ$) là góc nghiêng mặt đường, v (m/s) là vận tốc của xe, a (m/s^2) là gia tốc xe, g (m/s^2) là gia tốc trọng trường, μ là hệ số ma sát lăn, R_b (m) là bán kính bánh xe chủ động, i là tỉ số truyền, η là hiệu suất; P'_{dc} (W) là công suất mỗi động cơ, k là hệ số vượt tải.

Lực tác dụng lên xe (Hình 3):

$$F_T - F_{ms} - mg\sin\theta = ma$$

$$F_T = ma + mg\cos\theta\mu + mg\sin\theta \quad (1)$$

Công suất của động cơ [6]:

$$P_{dc} = F_T v \quad (2)$$

Số vòng quay [6]:

$$n = \frac{60V}{2\pi R_b} \quad (3)$$

Momen xoắn động cơ [6]:

$$T = \frac{F_T R_b}{i\eta} \quad (4)$$

Bảng 3. Các thông số đầu vào

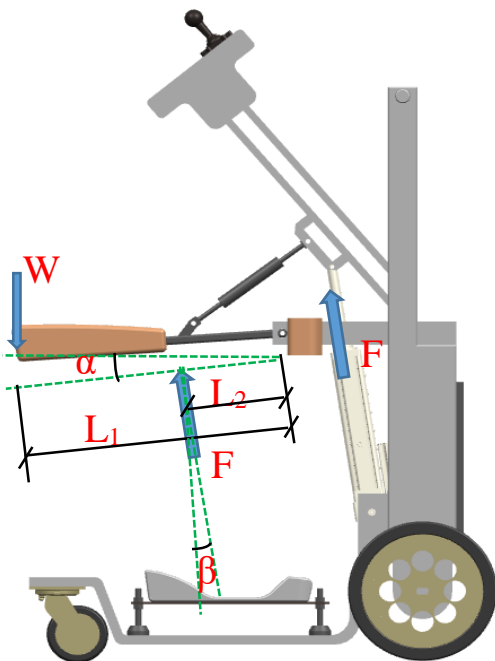
Đại lượng	Độ lớn	Đơn vị
m_{\max}	150	kg
R_b	0.15	m
θ	6	°
μ	0.04	
g	9.81	m/s^2
a	0.25	m/s^2
v_{\max}	1.25	m/s
i	1	
η	0.9	

Thay các giá trị trong Bảng 3 vào công thức (1), (2), (3), (4), tính ra công suất động cơ cần thiết $P_{dc} = 312$ (W), số vòng quay động cơ là $n = 80$ (vòng/phút), momen xoắn $T = 41.6$ (Nm). Xe sử dụng 2 động cơ, nên công suất thiết kế của mỗi động cơ:

$$P'_{dc} = \frac{P_{dc}}{2} k = \frac{312}{2} \times 1.5 = 234 \text{ (W)}$$

Các thông số yêu cầu cho động cơ: nguồn DC 24V, công suất 350 W, là loại có hộp giảm tốc với số vòng quay tối thiểu 80 vòng/phút.

3.4. Tính toán xilanh điện

**Hình 4.** Lực đẩy của xilanh

Gọi W_1 (N) là trọng lượng của người; F (N) là lực đẩy xilanh; M_1 (kg) là khối lượng người; L_1 (mm) là cánh tay đòn của W ; L_2 (mm) là cánh tay đòn của F ; α (°) là góc nghiêng của ghế so với mặt phẳng ngang; β (°) là góc nghiêng của xilanh so với ghế.

Lực tác dụng lên ghế (Hình 4):

$$W_1 \cos \alpha L_1 - F \cos \beta L_2 = 0$$

$$F = \frac{M_1 g \cos \alpha L_1}{\cos \beta L_2} \quad (5)$$

Với $M_1 = 100$ kg; $\alpha = 4^\circ$; $\beta = 4.4^\circ$ (thông số thiết kế); $L_1 = 540$ mm; $L_2 = 200$ mm, từ (5):

$$F = 2650 \text{ N}$$

Các thông số yêu cầu cho xilanh điện: nguồn DC 24V, lực đẩy tối thiểu 3500N, có hành trình 100mm.

3.5. Cân bằng trên dốc

Gọi W_2 (N) là trọng lượng xe; M_2 (kg) là khối lượng cơ thể xe; h_1 (mm) là độ cao trọng tâm cơ thể người; h_2 (mm) là độ cao trọng tâm xe; l_1 (mm) là khoảng cách trọng tâm cơ thể người đến bánh xe sau; l_2 (mm) là khoảng cách trọng tâm xe đến bánh xe sau; a (mm) là chiều cao từ bàn để chân đến mặt đường; γ (°) là góc nghiêng của dốc (khi kiểm tra độ dốc cho phép).

Độ cao trọng tâm cơ thể bằng khoảng 56% độ cao của cơ thể một người [9]:

$h_1 = 0.56H$, với H (mm) là độ cao cơ thể người.

Trạng thái cân bằng của xe lăn (Hình 5):

$$W_1 \sin \gamma (h_1 + a) + W_2 \sin \gamma h_2 - W_1 \cos \gamma l_1 - W_2 \cos \gamma l_2 = 0$$

$$\sin \gamma [W_1 (h_1 + a) + W_2 h_2] = \cos \gamma (W_1 l_1 + W_2 l_2)$$

$$\gamma = \arctan \left(\frac{M_1 l_1 + M_2 l_2}{M_1 (0.56H + a) + M_2 h_2} \right) \quad (6)$$

Theo thang phân loại của Hiệp hội Đái đường các nước châu Á (IDI & WPRO), chỉ số cân nặng BMI (Body Mass Index) bình thường của người Việt Nam là từ 18.5 đến 22.9 [10]. Lấy chỉ số BMI trung bình là 20.7, ta tính được khối lượng

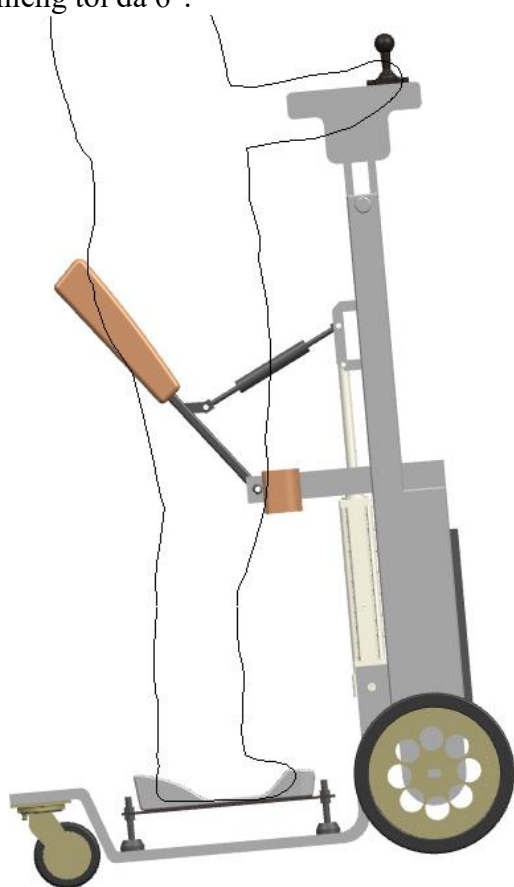
cơ thể M_1 (kg) tương ứng với chiều cao H (m) theo công thức sau:

$$M_1 = BMI * H^2 \quad (7)$$

Với $H = 1.650\text{m}$, $M_2 = 50\text{kg}$, $l_1 = 323\text{mm}$, $l_2 = 532.5\text{mm}$, $a = 132\text{mm}$, $h_2 = 438\text{mm}$, từ (6) và (7):

$$\gamma = 28.8^\circ > \theta = 6^\circ$$

Xe lăn cân bằng trên dốc với góc nghiêng của dốc nhỏ hơn 28.8° . Để đảm bảo an toàn cho người sử dụng xe lăn, khuyến cáo sử dụng xe lăn đi chuyển leo dốc và xuống dốc ở nơi có độ nghiêng tối đa 6° .



Hình 5. Phân tích lực trên dốc

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã tổng hợp về sinh trắc học người Việt Nam, kết quả cho thấy chiều cao trung bình của người Việt Nam từ độ tuổi 12 đến 19 là 141.5 – 168.9cm, chiều cao từ khớp hông

đến gót chân là 70.8 – 90 mm. Dựa trên kết quả về sinh trắc học, đã lựa chọn các thông số cơ bản, đề xuất nguyên lý và tính toán được một số bộ phận chính của xe lăn điện đứng. Kết quả tính toán cho thấy công suất động cơ 234W, tốc độ động cơ 80 vg/ph, lực đẩy xi lanh điện yêu cầu là 2650N dựa trên các yêu cầu như tải trọng chở của xe 100kg, vận tốc xe 5km/h, độ dốc mặt đường là 6° . Thiết kế sử dụng những chi tiết có sẵn trên thị trường để giảm giá thành và dễ dàng tìm kiếm thay thế.

Tuy vậy, nghiên cứu chỉ dừng lại ở việc tính chọn một số thông số chính của xe. Cần thiết phải tính toán kết cấu, vật liệu và hoàn thiện mô hình cơ khí, hệ thống điều khiển ở giai đoạn tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

- [1] Medical Equipment Distribution Inc. (2020). *The history of wheelchairs and their development*. MED+. <https://www.medplushealth.ca/blog/the-history-of-wheelchairs-and-their-development>
- [2] WHILL, Inc. <https://www.whill.com>
- [3] Sushant Merai, D. Shah, B. Trivedi, P. Joshi, S. Kushwah. (2022). *A study and design of standing wheelchair*. R. N. G. Patel Institute of Technology.
- [4] Bộ Y tế. (2021) *Kết quả Tổng điều tra Dinh dưỡng năm 2019-2020*. Bộ Y tế.
- [5] World Health Organization. (2007) *Height for age (5-19 years)*. World Health Organization.
- [6] Lương Xuân Nhị. (1999) *Giải phẫu tạo hình*. NXB Từ điển Bách Khoa.
- [7] Trịnh Chất, Lê Văn Uyển. (2006) *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí*. Nhà xuất bản Giáo dục.
- [8] Duong Vu, Maged Mikhail & Quy Le Thu. *Study on the Stability of a Wheeled Climbing Robot. Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development (MMMS2020)*. Springer Nature Publisher.
- [9] Paul Davidovits. (2018) *Physics in Biology and Medicine*. Academic Press.
- [10] Viện nghiên cứu Dinh dưỡng TP. Hồ Chí Minh: <https://www.viendinhduongtpHCM.org>.