

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO MÁY TẠO HỔ TRỒNG RỪNG

Nguyễn Văn Minh¹, Tô Quốc Huy^{1*}, Đoàn Văn Thu¹, Nguyễn Trọng Tuấn², Cao Chí Công²,
Nguyễn Văn Giáp², Bùi Việt Đức³, Nông Văn Nam³, Phạm Đình Mạnh⁴

¹*Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam*

²*Viện Nghiên cứu Công nghiệp rừng*

³*Học viện Nông nghiệp Việt Nam*

⁴*Trường Đại học Thành Đông*

TÓM TẮT

Trong trồng rừng, làm đất là khâu tốn nhiều công lao động, chi phí lớn, nếu thực hiện bằng các công cụ thủ công khó đảm bảo chất lượng và tính thời vụ. Máy tạo hố trồng rừng được nghiên cứu thiết kế, chế tạo với các tính năng kỹ thuật phù hợp với đặc điểm đất đai và điều kiện sản xuất lâm nghiệp. Thiết bị làm việc theo nguyên lý của máy khoan, khi liên hợp với máy kéo công suất từ 40 - 60 hp, tính năng kéo bám, ổn định tốt làm việc khá hiệu quả trên đất trồng rừng có độ dốc đến 25%. Năng suất liên hợp máy kéo Yanmar F535D với khoan tạo hố đạt từ 120 - 132 hố/giờ với đất có thành phần cơ giới nặng, độ chặt trên 30 kg/cm² và từ 129 - 146 hố/giờ với đất có thành phần cơ giới trung bình, độ chặt từ 20 - 25 kg/cm²; đường kính hố từ 43 - 48 cm, chiều sâu từ 45 - 50 cm, độ tơi xốp đất trong hố khoan đạt trên 50%, hoàn toàn đáp ứng yêu cầu kỹ thuật làm đất trồng rừng. Máy được thiết kế sử dụng vật liệu thông dụng, chế tạo được ở trong nước với giá thành thấp, đây là những lợi thế để trang bị, sử dụng hiệu quả cho các cơ sở sản xuất lâm nghiệp ở nước ta.

Từ khóa: Canh tác trên đất dốc lâm nghiệp, máy tạo hố trồng rừng, thiết bị cơ giới làm đất trồng rừng.

RESEARCH RESULTS ON THE DESIGN AND MANUFACTURE OF TRACTOR - MOUNTED HOLE DIGGER FOR FOREST PLANTING

Nguyen Van Minh¹, To Quoc Huy^{1*}, Doan Van Thu¹, Nguyen Trong Tuan², Cao Chi Cong²,
Nguyen Van Giap², Bui Viet Duc³, Nong Van Nam³, Pham Dinh Manh⁴

¹*Vietnamese Academy of Forest Sciences*

²*Research Institute of Forest Industry*

³*Vietnam National University of Agriculture*

⁴*Thanh Dong University*

ABSTRACT

In afforestation, soil preparation is a labor - intensive and costly process. When being done manually, it is difficult to ensure quality and timeliness. A holedigging machine for forest planting was researched, designed, and manufactured with technical features suited to soil characteristics and forestry production conditions. The equipment operates on the principle of a drilling machine, and when combined with tractors of from 40 to 60 hp, it demonstrates good traction and stability, working effectively on reforestation sites with slopes up to 25%. The productivity of the Yanmar F535D tractor combined with the drilling device reached from 120 to 132 holes per hour for heavy soils with compaction above 30 kilograms per square centimetre, and from 129 to 146 holes per hour for medium - textured soils with compaction from 20 to 25 kilograms per square centimetre. The hole diameter ranged from 43 to 48 cm, depth from 45 to 50 cm, and soil looseness in the hole exceeded 50%, fully meeting the technical requirements for afforestation soil preparation. The machine was designed using common materials, entirely manufacturable domestically at low cost. These advantages make it highly suitable for equipping and effectively applying in forestry production units in Vietnam.

Keywords: Afforestation on sloping land, tractor post hole digger, mechanized afforestation soil preparation equipment.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Làm đất trồng rừng là công việc nặng nhọc, tốn nhiều năng lượng, theo định mức trồng rừng trên đất đồi núi, khâu tạo hố trồng rừng (cuốc, lấp hố thủ công) chi phí tới 33,7 công lao động/ha, chiếm 42,6% tổng số công lao động trồng rừng năm thứ nhất (Thông tư số 21/2023/TT-BNNPTNT). Mặc dù vậy, công việc này chủ yếu vẫn đang thực hiện thủ công, do thiếu thiết bị cơ giới có tính chuyên dụng phù hợp với điều kiện đất đai và sản xuất lâm nghiệp của Việt Nam. Một số mẫu máy khoan hố trồng rừng của nước ngoài cũng đã được trang bị, sử dụng để làm đất trồng rừng. Tuy nhiên, các thiết bị này chỉ làm việc hiệu quả trên lập địa đất có độ chặt dưới 30 kg/cm², độ dốc dưới 15%, như vùng Tây Nguyên và Đông Nam Bộ. Đối với lập địa đất trồng trọt thoái hóa, hoặc đất đã qua nhiều chu kỳ trồng rừng, độ chặt trên 30 kg/cm² và có nhiều đá lẫn như vùng Đông Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ, các mẫu máy khoan hố này làm việc rất kém hiệu quả, mũi khoan thường xuyên bị gãy và không tạo được hố đất theo yêu cầu kỹ thuật trồng rừng (Đoàn Văn Thu, 2021).

Nghiên cứu thiết kế, chế tạo máy tạo hố trồng rừng, tạo được thiết bị cơ giới có các tính năng kỹ thuật phù hợp với tính chất đất đai và điều kiện sử dụng ở Việt Nam, góp phần đẩy nhanh cơ giới hóa sản xuất, nâng cao năng suất, chất lượng và hiệu quả kinh doanh rừng trồng.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp thiết kế, chế tạo

2.1.1. Yêu cầu của thiết bị thiết kế, chế tạo

- Thiết bị phải có khả năng tạo được hố trên đất lâm nghiệp có thành phần cơ giới nặng, độ chặt đến 35 kg/cm², theo các yêu cầu kỹ thuật làm đất trồng rừng: mật độ từ 1.100 - 2.500 hố/ha tùy theo mục đích và kỹ thuật trồng rừng; đường kính hố ≥ 40 cm; chiều sâu hố ≥ 40 cm; lượng đất trong hố sau khi tạo khoảng 2/3 hố; độ tơi xốp của đất $\geq 45\%$.

- Năng suất đạt 1.000 hố/ca (tương ứng với 125 hố/giờ).
 - Liên hợp máy phải có khả năng di chuyển làm việc hiệu quả trên đất trồng rừng có độ dốc đến 25%.

2.1.2. Các bước thiết kế và chế tạo thiết bị

- Từ kết quả phân tích đặc điểm địa hình, tính chất cơ lý của đất dốc lâm nghiệp; các yêu cầu của kỹ thuật làm đất trồng rừng, phân tích đánh giá lựa chọn nguyên lý làm việc và kết cấu cơ bản của thiết bị. Đánh giá phân tích nguyên lý làm việc và kết cấu cơ bản của các thiết bị tạo hố trồng cây, trồng rừng ở trong và ngoài nước như: tạo hố theo nguyên lý cắt đất dạng búa, tạo hố theo nguyên lý của máy xúc, tạo hố theo nguyên lý máy khoan...

- Mô phỏng thiết bị trên máy tính theo không gian 3 chiều bằng phần mềm Inventor, xác định kết cấu cơ bản, phương án kết nối liên hợp với máy kéo và các thông số kỹ thuật của thiết bị.

- Xác định các thông số động học, động lực học và kết cấu của thiết bị theo lý thuyết tính toán thiết kế máy.

- Tính toán thiết kế hệ thống truyền động cơ học, thủy lực cho thiết bị trên cơ sở lý thuyết cơ học, động lực học thủy lực và mạch truyền động thủy lực.

- Lập bản vẽ thiết kế chi tiết, tổng thể của thiết bị bằng phần mềm Solidworks.

- Xác định và phân tích trường ứng suất, biến dạng, độ mòn, mỏi và phá hủy của chi tiết cần chế tạo nhờ phần mềm ANSYS liên kết với các phần mềm thiết kế hình học 2D và 3D; kiểm tra độ bền, chạy thử trên mô hình xác định các thông số tối ưu, chọn vật liệu và công nghệ chế tạo.

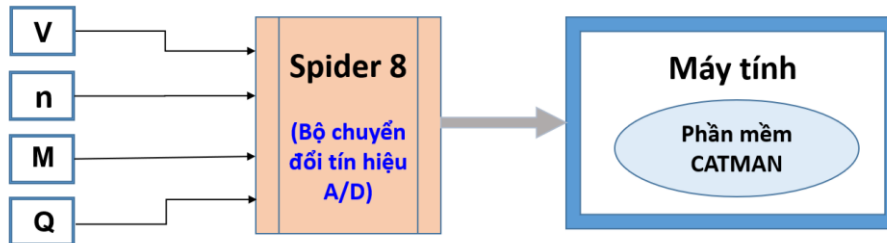
- Chế tạo, lắp ráp và chạy thử Liên hợp máy tạo hố trồng rừng được thực hiện tại Xưởng Gia công cơ khí thuộc Công ty TNHH Dịch vụ và Thương mại Đại An, khu công nghiệp Yên Mỹ II, tỉnh Hưng Yên. Các chi tiết máy được gia công chế tạo và lắp ráp theo đúng hồ sơ,

bản vẽ thiết kế chế tạo đã được nhóm nghiên cứu xây dựng.

2.2. Phương pháp khảo nghiệm máy

Khảo nghiệm thiết bị tạo hồ trồng rừng liên hợp với máy kéo theo phương pháp khảo nghiệm máy nông nghiệp. Dàn thí nghiệm được thiết lập, kết nối với hệ thống thiết bị đo hiện đại, sử

dụng thiết bị đo đa kênh Spider 8 plus với các cảm biến xác định các chỉ tiêu, thông số kỹ thuật khảo nghiệm: Vận tốc máy kéo (V; m/s); vận tốc quay trục thu công suất PTO chuyển qua hộp giảm tốc (n; vòng/phút); mô men cản trên trục trục khoan (M; N.m); chi phí nhiên liệu (Q; kg/h). (Đoàn Văn Thu, 2021) sơ đồ kết nối như trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ kết nối cảm biến với thiết bị đo đa kênh Spider 8 và máy tính

Khảo nghiệm được thực hiện tại hiện trường trồng rừng vùng Đông Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ (Trung tâm KHLN Đông Bắc Bộ, Phú Thọ; Trung tâm KHLN Bắc Trung Bộ, Quảng Trị). Điều kiện lập địa khảo nghiệm:

- Trên 02 loại đất trồng rừng tiêu biểu: đất có thành phần cơ giới trung bình, độ chặt từ 20 - 25 kg/cm²; đất có thành phần cơ giới nặng, độ chặt trên 30kg/cm² và có đá lẫn;
- Mỗi dạng lập địa thực hiện khảo nghiệm với 3 cấp độ dốc: Dưới 15%, từ 15 đến 20% và từ 20 đến 25%. Mỗi thí nghiệm tối thiểu 01 ca máy.

Các chỉ tiêu, thông số xác định gồm: tính ổn định, an toàn của Liên hợp máy tạo hồ; mô men cản trục khoan hồ M (N/m), tốc độ trục khoan n_k (vòng/phút); công suất thực tế N (kW/h); kích thước hồ: D, H (cm); năng suất tạo hồ (hố/giờ); chi phí nhiên liệu giờ (kg/giờ).

- Xác định mô men cản của trục khoan bằng phương pháp điện trở biến dạng, cảm biến điện trở biến dạng (tenzo) được dán trực tiếp vào trục khoan, thu tín hiệu bằng bộ thu phát không dây kết nối thiết bị Spider 8 và máy tính. Xử lý số liệu bằng phần mềm Catman, lấy giá trị trung bình trong các lần thí nghiệm như hình 2.



Hình 2. Hệ thống đo xác định mô men cản trên trục khoan

- Sử dụng thiết bị đo lưu lượng nhiên liệu Datron (là đầu đo tiêu chuẩn do Cộng hòa Liên bang Đức sản xuất), có ký hiệu là: ĐFL - 1 để sử dụng đo chi phí nhiên liệu trong thí nghiệm (hình 3).



Hình 3. Thiết bị đo lưu lượng tiêu hao nhiên liệu Datron

- Sử dụng thiết bị đo độ chặt của đất SC - 900, đo trực tiếp trên vị trí tại hiện trường, lấy giá trị trung bình tại khu vực tổ chức thí nghiệm.
- Phương pháp xác định độ tơi xốp của đất theo TCVN 11399:2016 chất lượng đất - phương pháp xác định khối lượng riêng và độ xốp.
- Xử lý số liệu thí nghiệm trên phần mềm Catman và Excel, kết quả lấy giá trị trung bình để phân tích, đánh giá khả năng làm việc của liên hợp máy tạo hố trồng rừng.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Nghiên cứu thiết kế máy tạo hố trồng rừng

3.1.1. Xác định nguyên lý làm việc, kết cấu cơ bản máy tạo hố trồng rừng

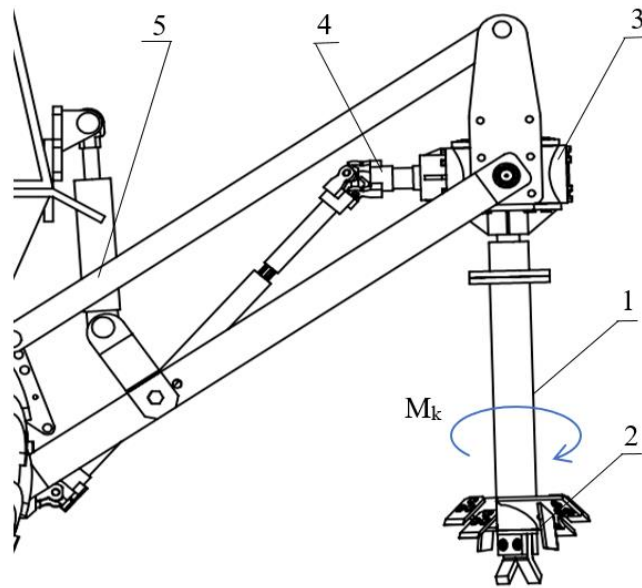
Việc tạo hố trồng rừng trên thế giới sử dụng nhiều nguyên lý khác nhau, tùy theo mục đích trồng rừng, yêu cầu kỹ thuật làm đất và điều kiện làm việc. Một số nguyên lý làm việc cơ bản của các máy tạo hố trồng cây có thể kể đến là:

- Máy tạo hố theo nguyên lý cắt đất dạng búa (Bembenek *et al.*, 2003), sử dụng động năng của lưỡi cắt dạng búa tạo xung lực làm lưỡi cắt cắm

sâu vào đất, cắt và đẩy thối đất theo chiều chuyển động, quá trình được thực hiện cho đến khi tạo được hố theo yêu cầu. Nhược điểm của nguyên lý này là, độ rung thiết bị lớn do va đập, hầu hết đất bị tung ra khỏi hố.

- Tạo hố theo nguyên lý của máy xúc, sử dụng gầu múc có gắn các lưỡi cắt, hoặc máy xúc với gầu múc gắn các lưỡi cắt đặc biệt (Wilco ripping tine and slash rake), tạo ra những hố đất tơi xốp có đường kính từ 0,8 - 1,0 m, sâu trên 0,7 m để trồng cây. Phương pháp này tốn nhiều năng lượng, cần máy động lực có công suất lớn, chỉ phù hợp với phương thức tạo hố trồng cây phân tán (McNabb, *et al.*, 2019).

- Tạo hố theo nguyên lý máy khoan, sử dụng mũi khoan có các dạng kết cấu khác nhau, dẫn động bằng cơ học hoặc thủy lực khoan tạo hố theo yêu cầu kỹ thuật trồng rừng. Nguyên lý này có chi phí năng lượng thấp, tuy nhiên với điều kiện đất có thành phần cơ giới nặng, độ chặt cao và có gốc cây, đá lẫn, bộ phận làm việc cần có kết cấu phù hợp. Từ những phân tích trên, căn cứ vào đặc điểm của đất trồng rừng và yêu cầu kỹ thuật tạo hố trồng cây, nghiên cứu lựa chọn nguyên lý làm việc của thiết bị tạo hố trồng rừng theo nguyên lý máy khoan.



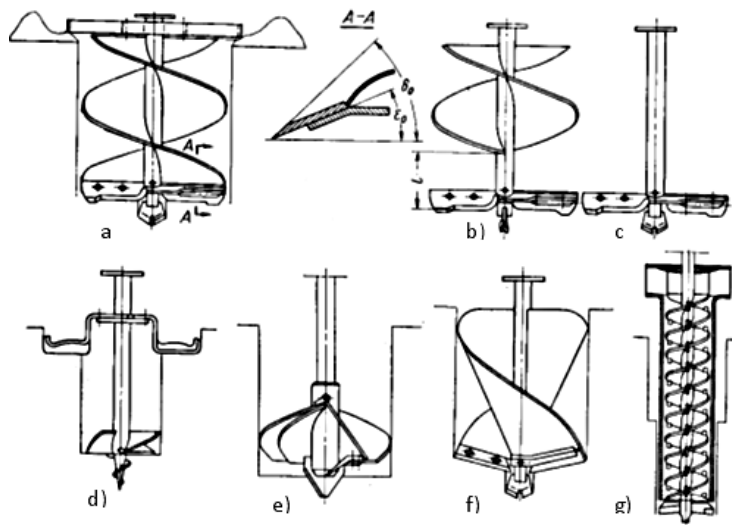
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý làm việc và kết cấu cơ bản máy tạo hồ trồng rừng

1. Trục khoan; 2. Lưỡi cắt đất; 3. Hộp số; 4. Trục các đăng; 5. Cơ cấu treo

- *Kết cấu cơ bản bộ phận khoan tạo hồ (mũi khoan)*

Hiện nay, trên thế giới sử dụng máy khoan hồ với nhiều dạng kết cấu khác nhau tùy theo mục

đích sử dụng và điều kiện làm việc, có thể phân loại theo các đặc điểm như trên hình 5.



Hình 5. Các dạng mũi khoan hồ phổ biến

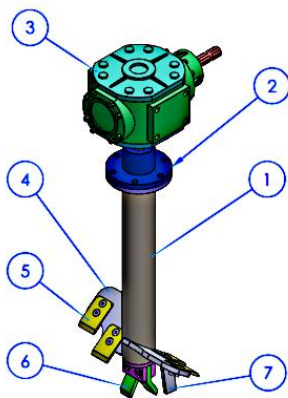
Kết cấu bộ phận khoan tạo hồ gồm các chi tiết chính: trục khoan, mũi định tâm, lưỡi cắt, làm tơi, nâng chuyển đất.

Mỗi dạng kết cấu đều có những công dụng riêng theo yêu cầu và điều kiện làm việc: các mũi khoan (hình 5. a, e, g), khi làm việc các

lưỡi sẽ cắt và đưa toàn bộ lượng đất ra khỏi hồ; các mũi khoan (hình 5. c, d), cắt và làm tơi đất ngay trong hồ; mũi khoan (hình 5. b), cắt làm tơi và chỉ đưa một phần đất ra khỏi hồ, lượng đất được làm tơi còn lại trong hồ tỷ lệ với khoảng cách l.

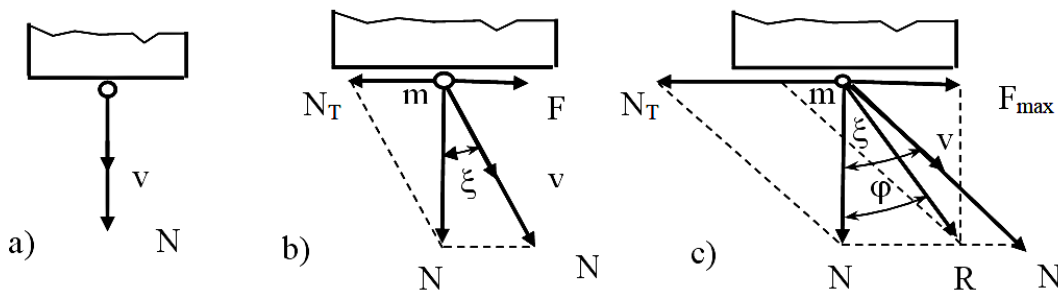
Ngoài ra, số lượng lưỡi cắt của mũi khoan cũng ảnh hưởng đến chi phí năng lượng và độ ổn định khi làm việc. Khi tăng số lưỡi cắt thì khả năng ổn định tâm của mũi khoan tăng lên, đặc biệt là đối với mũi khoan ngắn, tuy nhiên chi phí năng lượng khoan cũng tăng. Khi khoan hố có tỷ lệ chiều sâu và đường kính lớn ($H_1/D_0 < 2$) nên chọn khoan có hai lưỡi cắt, còn với $H_1/D_0 > 2$ nên sử dụng khoan với bốn lưỡi cắt (Bembenek et al., 2003).

Trên cơ sở phân tích đánh giá đặc điểm cấu tạo, nguyên lý làm việc, nghiên cứu chọn dạng mũi khoan 4 lưỡi cắt, kết hợp lưỡi phá đá và mũi định tâm để tạo hố trồng rừng, dạng mũi khoan này thích hợp với đất có thành phần cơ giới nặng, độ chặt cao và có đá lẫn của lâm nghiệp. Kết cấu cơ bản bộ phận khoan tạo hố được mô tả như trên hình 6.



Hình 6. Kết cấu cơ bản bộ phận khoan tạo hố

1. Trục khoan; 2. Bích liên kết; 3. Hộp số;
4. Đế lắp lưỡi cắt chính; 5. Lưỡi cắt chính;
6. Mũi khoan định tâm; 7. Lưỡi phá đá.



Hình 7. Các chế độ cắt của cạnh sắc

- a. Cắt chặt bỏ; b. Cắt có chuyển động dọc; c. Cắt có trượt.

3.1.2. Xác định các thông số kết cấu, động học và động lực học bộ phận khoan tạo hố

- **Kết cấu bộ phận khoan tạo hố:**

- Đường kính của mũi khoan (D): xác định theo đường kính hố ($D_0 = 400$ mm) theo yêu cầu, $D = (0,95 - 0,98) D_0$, vậy đường kính D chọn = 400 mm.

- Chiều dài mũi khoan (H_k): tính từ lưỡi cắt đến hết chiều dài trục khoan, được xác định theo yêu cầu độ sâu của hố khoan, chọn $H_k = 745$ mm để đảm bảo độ sâu hố từ 400 - 500 mm.

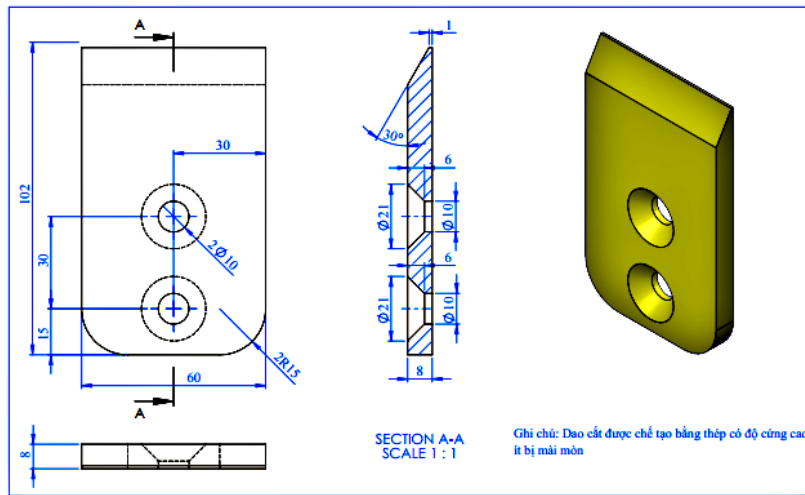
- Lưỡi cắt chính: Lưỡi cắt được lắp với trục khoan nhờ để lắp dao, lưỡi cắt được đặt nghiêng so với mặt phẳng vuông góc với trục khoan, gọi là góc cắt trước γ_0 .

Góc cắt trước γ_0 có ảnh hưởng đến khả năng ăn sâu vào đất của lưỡi khoan và khả năng đưa đất lên khỏi hố, giá trị γ_0 và vận tốc khoan n_k ảnh hưởng lớn đến công suất và năng suất máy khoan, với máy khoan đất thông thường $\gamma_0 = 15 - 20^\circ$. Thiết kế chọn $\gamma_0 = 20^\circ$ cho mũi khoan làm việc trên đất có độ chặt từ 25 - 30 kg/cm² và $\gamma_0 = 23^\circ$ cho mũi khoan làm việc trên đất có độ chặt > 30 kg/cm² (McKyes, E, 1985).

Góc cắt trượt của cạnh sắc (ξ): Chế độ cắt của lưỡi phụ thuộc vào góc giữa phương vận tốc và phương pháp tuyến của cạnh sắc, các chế độ cắt của lưỡi cắt phụ thuộc vào ξ được mô tả như trên hình 7.

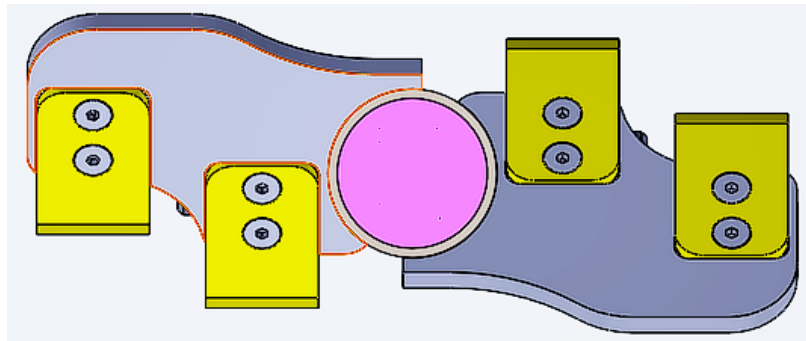
Điều kiện cắt có trượt là khi ξ lớn hơn góc ma sát φ (giữa lưỡi cắt và đất), để giảm chi phí năng lượng chọn góc $\xi = 30 - 40^\circ$.

Kết cấu lưỡi cắt chính được thiết kế như trên hình 8.



Hình 8. Kết cấu lưỡi cắt chính

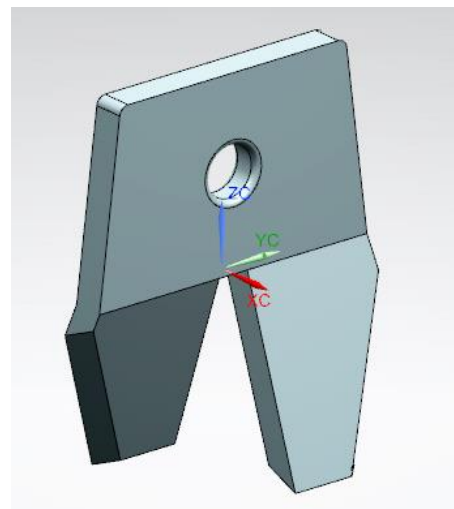
Các lưỡi cắt được bố trí so le trên để lắp như trên hình 9, với góc nghiêng γ_0 và ξ đã chọn.



Hình 9. Hình chiếu của lưỡi cắt trên mặt phẳng vuông góc với trục khoan

Việc thiết kế và bố trí các lưỡi cắt so le cho phép giảm kích thước lưỡi cắt, giảm lực ma sát, phân bố lực cân đều hơn, từ đó tăng độ ổn định của mũi khoan trong quá trình làm việc. Ngoài ra, kết cấu này còn tăng khả năng phá vỡ liên kết đất, nhờ các góc nhọn của lưỡi cắt tác động như những mũi đục “hiệu ứng mũi đục” khi làm việc ở điều kiện đất cứng và có đá lẫn.

- Mũi khoan định tâm: có dạng một “ngôi bút” (hình 10), với hai nhánh xẻ sang hai bên. Đường kính mũi tâm được chọn theo công thức $D_{mũi} = D_0/4$. Với hố đất có đường kính 400 mm, chọn đường kính mũi tâm $D_{mũi} = 100$ mm.



Hình 10. Mũi khoan định tâm

Góc cắt sau của mũi định tâm được chọn trong khoảng 5 - 10⁰ để nâng cao khả năng cắt đất, đồng thời giảm lực cản ma sát của đất với lưỡi cắt. Khoảng cách giữa đầu mũi khoan ở tâm đến cạnh sắc của lưỡi cắt chính theo chiều trục khoan H₂ (hình 11) được chọn trong giới hạn: 0,9 D_{mũi} < H₂ < 1,5 D_{mũi}, chọn H₂ = 130 mm.

Mũi khoan định tâm được ghép nối với trục khoan bằng mối ghép then và chốt hãm, đảm bảo định vị, truyền mô men xoắn cao và dễ dàng thay thế khi bị mài mòn trong quá trình sử dụng.

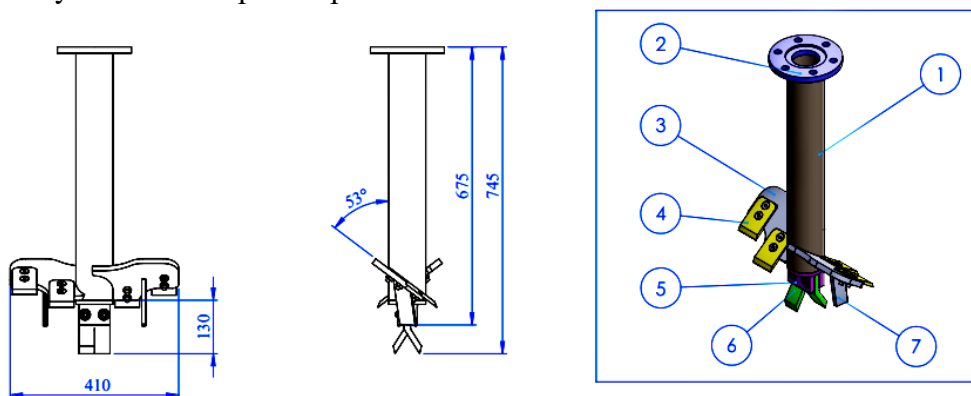
- Lưỡi phá đá: Do điều kiện đất lâm nghiệp có tỷ lệ đá lẫn khá cao (có nơi đến 10%) nên bộ phận làm việc của khoan được thiết kế có 2 lưỡi phá đá dưới mỗi tấm để lắp lưỡi cắt, lưỡi phá đá có dạng hình mũi đục dài từ 50 - 80 mm. Các thử nghiệm máy khoan có lắp lưỡi phá đá cho

thấy, khả năng cắt đất và tốc độ khoan tăng đáng kể, do đá lẫn được phá trước khi lưỡi cắt tác động cắt đất trong quá trình khoan.

- Trục khoan: Trục khoan được thiết kế có dạng hình trụ rỗng đảm bảo độ bền và khả năng ghép nối các bộ phận lưỡi cắt, mũi định tâm... Đường kính ngoài trục khoan D_t = 90 mm; chiều dài H_t = 600 mm.

- Để lắp lưỡi cắt chính: được chọn theo kết cấu và kiểm tra theo điều kiện bền uốn do mô men cản lên các lưỡi cắt gây ra.

Kết cấu bộ phận khoan tạo hố: Trên cơ sở cấu tạo các chi tiết, bộ phận được xác định, kết cấu bộ phận khoan tạo hố của máy tạo hố trồng rừng được thiết kế trên đồ họa và bản vẽ lắp như trên hình 11.



Hình 11. Kết cấu bộ phận khoan tạo hố trồng rừng

- 1. Trục khoan; 2. Bích liên kết; 3. Đế lắp lưỡi cắt; 4. Lưỡi cắt chính;
- 5. Đế lắp mũi khoan định tâm; 6. Mũi khoan định tâm; 7. Lưỡi phá đá.

Các thông số động học và động lực học chính:

- Vận tốc làm việc của trục khoan, n_k (vòng/phút): Vận tốc quay của trục khoan nằm trong khoảng 100 đến 350 vòng/phút; với các máy khoan đưa đất ra khỏi hố, n_k thường được chọn từ 250 đến 350 vòng/phút; các máy khoan không đưa đất ra khỏi hố n_k không quá 200 vòng/phút, và kết cấu không có phần cánh nâng đất. Đối với máy khoan hố trồng rừng ở điều kiện đất có thành phần cơ giới nặng, độ chặt cao, yêu cầu 2/3 lượng đất để lại trong hố, chọn vận tốc quay của trục khoan n_k = 200 vòng/phút. Vận tốc quay trục khoan và giá trị các góc cắt trước Y₀ của lưỡi cắt chính có thể được hiệu

chỉnh phù hợp với tính chất đất đai đặc thù của từng vùng, đảm bảo chất lượng làm việc và giảm chi phí năng lượng.

- Mô men cản và lực dọc trục trên trục khoan (M_c): được xác định theo công thức:

$$M_c = M_{mũi} + M_{lưỡi\ cắt} + M_{lưỡi\ phá\ đá} + M_{ms\ lưỡi} + M_{ms\ trục} \tag{1-1}$$

Trong đó:

- M_{mũi} - mô men cản mũi định tâm;
- M_{lưỡi\ cắt} - mô men cản của lưỡi cắt chính;
- M_{lưỡi\ phá\ đá} - mô men cản lưỡi phá đá;
- M_{ms\ lưỡi} - mô men cản do ma sát giữa đất và các lưỡi cắt;

$M_{ms\ trục}$ - mô men cản do ma sát giữa đất và bề mặt trục khoan.

+ Mô men cản trên mũi định tâm phụ thuộc vào đường kính mũi tâm và tính chất cơ lý của đất. Trên các loại đất có độ chặt trung bình trở lên, mô men cản $M_{mũi}$ có trị số trong khoảng 8 - 15 kg.m, hay 80 - 150N.m; với đất trồng rừng có độ chặt lớn, chọn $M_{mũi} = 150$ N.m.

+ Mô men cản trên lưỡi cắt được xác định theo công thức:

$$M_{lưỡi\ cắt} = 0,5.i. [k_1.s.\cos\theta + k_2.s.\sin(\gamma_0+\phi_1)]. (r_0^2 - r_{mũi}^2), [N.m] \quad (1-2)$$

Trong đó:

i- số lưỡi cắt;

k_1 - hệ số lực cản của đất đối với lưỡi cắt, với đất trồng rừng $k_1 = 180 - 240$ kN/m²;

k_2 - hệ số lực cản do biến dạng đất, $k_2 = 120 - 170$ kN/m²;

θ - góc nghiêng của phương lực cản của đất trên cạnh sắc trong mặt phẳng vuông góc với trục quay, $\theta = 55^0$;

s- lượng cung cấp, với các máy khoan hố, thường chọn $s = 0,01 - 0,10$ m;

γ_0 - góc cắt trước của lưỡi cắt, chọn $\gamma_0 = 20^0$;

ϕ_1 - góc ma sát giữa đất và thép, nằm trong khoảng 0,4 - 0,6, khi đó $\phi_1 = 22 - 31^0$, chọn giá trị trung bình $\phi_1 = 26^0$;

r_0 - bán kính hố khoan, $r_0 = 0,20$ m;

$r_{mũi}$ - bán kính mũi định tâm;

$r_{mũi} = 0,05$ m.

Thay các giá trị vào công thức (1 - 2), xác định được mô men cản trên lưỡi cắt của khoan, $M_{lưỡi\ cắt} = 184,3$ Nm

+ Mô men cản trên lưỡi phá đá, được tính theo công thức:

$$M_{lưỡi\ pd} = 0,5d_1.F_{pd} \quad (1-3)$$

Trong đó:

d_1 - là khoảng cách từ tâm trục khoan đến lưỡi phá đá, $d_1 = 250$ mm;

F_{pd} - là lực cản của đất, đá lẫn lên lưỡi phá đá, được tính theo công thức tính lực cản lưỡi xói hoặc cày ngầm,

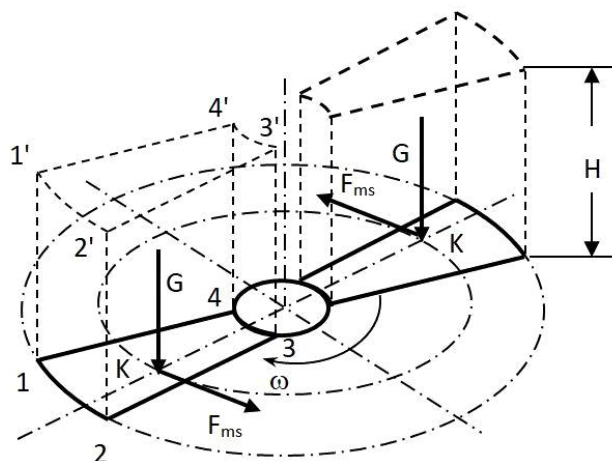
$$F_{pd} = k_1.n.s; \quad (1-4)$$

s - là diện tích tiết diện lưỡi phá đá tác động vào đất theo phương chuyển động, $s = 80 \times 20$ mm;

n - là số lưỡi phá đá (02).

Từ đó xác định được $M_{lưỡi\ pd} = 84$ Nm

+ Mô men cản do ma sát giữa mặt trên lưỡi cắt với khối đất, sơ đồ tính toán trên hình 12. Trọng lượng khối đất phía trên mỗi lưỡi cắt (1234 - 1'2'3'4') là G, khi lưỡi khoan ở vị trí sâu nhất, ứng với H = 500 mm, trọng lượng G sẽ có giá trị lớn nhất.



Hình 12. Sơ đồ xác định mô men ma sát mặt trên lưỡi cắt với khối đất

Lực ma sát giữa khối đất và mặt trên lưỡi cắt được xác định theo công thức:

$$F_{ms} = G \cdot f = V \cdot q \cdot f \quad (1-5)$$

Trong đó:

V - thể tích khối đất, q - trọng lượng riêng của đất, $q = 1,70 \text{ tấn/m}^3 = 17,0 \text{ kN/m}^3$;

f - hệ số ma sát giữa đất và thép, $f = 0,4 - 0,6$.

$$M_{ms \text{ lưỡi}} = F_{ms} \cdot d \quad (1-6)$$

d - là cánh tay đòn của ngẫu lực F_{ms} , trong trường hợp này $d = 2/3$ đường kính hố, vậy $d \sim 266 \text{ mm} = 0,266 \text{ m}$.

Thay các giá trị vào các công thức trên xác định được: $M_{ms \text{ lưỡi}} = 1922 \text{ N.m}$

+ Mô men ma sát giữa bề mặt trục khoan và đất trong lòng hố có thể xem là không đáng kể, do trục khoan đặt thẳng đứng trong khi khối đất hầu như không có chuyển động ngang trong hố.

Từ công thức (2 - 1), xác định được mô men cản trên trục khoan: $M_c = 2.340 \text{ N.m}$

- Công suất cần thiết trên trục máy khoan, N_k : Công suất cần thiết trên trục máy khoan được xác định theo công thức:

$$N_k = M_c \cdot n_k \cdot k_{at} / 97500 \text{ (kW)} \quad (1-7)$$

Với k_{at} - hệ số an toàn, lấy $k_{at} = 2,0$; n_k - số vòng quay của trục khoan, $n = 200$ vòng/phút; tính được công suất cần thiết trên trục khoan:

$$N_k = 9,6 \text{ kW}$$

Như vậy, máy khoan tạo hố trồng rừng có thể được kết nối liên hợp với các máy kéo có công suất của trục PTO $\geq 9,6 \text{ kW}$, máy kéo Yanmar F535D, MTZ 50... là hoàn toàn đáp ứng.

- Năng suất khoan, W_k (hố/giờ):

+ Số lượng hố khoan trong 01 phút (m_k) không kể thời gian di chuyển máy có thể tính theo công thức:

$$m_k = S/h = q \cdot n_k / h \text{ (ph)} \quad (1 - 8)$$

Trong đó:

q - là lượng cắt đất của lưỡi cắt chính, q được thiết kế tương ứng với góc trước lưỡi cắt, $q = 0,01 \text{ m}$;

n_k - tốc độ khoan, $n_k = 200$ vòng/phút;

h - chiều sâu hố khoan, $h = 0,50 \text{ m}$. Ta có $m_k = 4,0$ (hố/phút)

+ Năng suất theo giờ W_k tính theo công thức: $W_k = 60 \cdot \tau \cdot m_k$ (hố/giờ);

τ - là hệ số sử dụng thời gian (tính đến chi phí thời gian di chuyển và điều chỉnh vị trí...), với khoan hố τ lấy $= 0,75$. Vậy ta có $W_k = 180$ hố/giờ, đảm bảo yêu cầu.

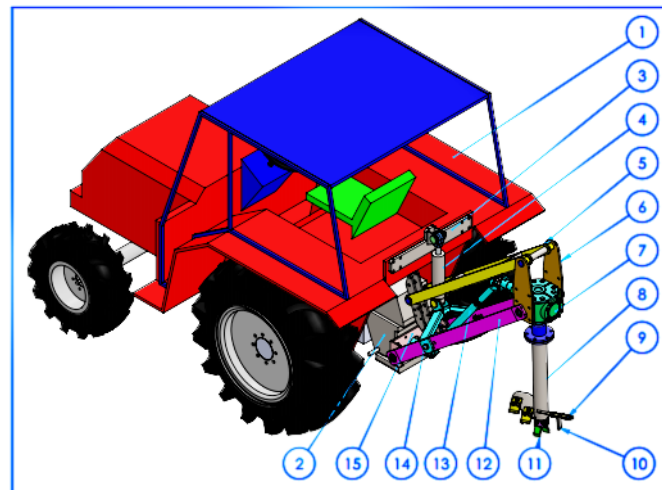
Với công suất và kết cấu được tính toán thiết kế, máy khoan tạo hố trồng rừng có thể liên hợp với máy kéo có công suất của trục PTO $\geq 9,6 \text{ kW}$, khả năng kéo bám, ổn định tốt, có thể làm việc ổn định trên đất trồng rừng độ dốc đến 25%. Nghiên cứu chọn máy kéo Yanmar F535D với hệ thống di động cải tiến là máy động lực liên hợp với máy khoan tạo hố trồng rừng.

3.1.3. Kết cấu cơ cấu treo, nâng hạ và truyền động

Khi liên hợp với máy kéo, máy khoan tạo hố có thể được lắp phía trước, bên cạnh hoặc lắp phía sau máy kéo. Trong nội dung nghiên cứu này nhóm tác giả giới thiệu kết quả của phương án lắp sau máy kéo như sau:

Máy khoan được kết nối liên hợp với máy kéo qua cơ cấu treo hình bình hành, cơ cấu này đảm bảo trục khoan luôn được giữ ổn định “thẳng đứng” khi nâng hạ trong quá trình khoan. Điều khiển nâng hạ máy khoan được thực hiện nhờ xi lanh thủy lực kết nối cơ cấu treo với khung máy kéo và hệ thống thủy lực của máy kéo.

Truyền động: Nguồn động lực truyền đến máy khoan được lấy từ trục thu công suất của máy kéo Yanmar F535D đã được cải tiến hệ thống di động. Trục PTO của máy kéo có 4 cấp tốc độ 540, 750, 950 và 1.050 vòng/phút (Tô Quốc Huy *et al.*, 2020) qua bộ truyền các răng kép tới hộp số (hộp giảm tốc 01 cấp bánh răng nón chuyển hướng, tỷ số truyền $i = 3$) và truyền cho trục máy khoan. Kết cấu hệ thống gồm: trục các đăng, hộp giảm tốc kết nối trực tiếp với trục khoan qua mặt bích, kết cấu cơ cấu treo, nâng hạ và truyền động cơ học như trên hình 13.



Hình 13. Kết cấu tổng thể máy tạo hồ trồng rừng lắp sau máy kéo Yanmar F535D

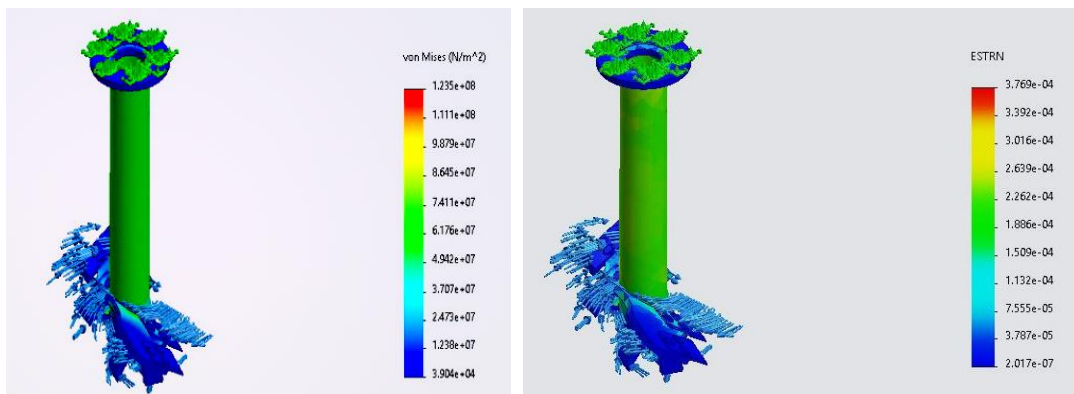
- 1. Máy kéo Yanmar F535D; 2. Giá lắp cơ cấu treo; 3. Giá lắp xi lanh nâng hạ;
- 4. Xi lanh nâng hạ; 5. Thanh treo trên; 6. Bích lắp hộp số; 7. Hộp số; 8. Trục khoan;
- 9. Giá và lưới cắt chính; 10. Lưỡi phá đá; 11. Mũi định tâm; 12. Thanh treo dưới;
- 13. Trục các đăng; 14. Thanh giằng ngang; 15. Giá lắp thanh treo trên.

Kiểm tra bền:

Các chi tiết, bộ phận thiết kế đều được tính toán kiểm tra bền, sử dụng phần mềm Solidworks 2022 thông qua chức năng Stress Analysis để xác định các ứng suất trên chi tiết và toàn bộ máy. Kết quả kiểm tra bền của bộ phận làm việc máy khoan cho thấy, hệ thống hoàn toàn đảm bảo độ bền khi làm việc, một số hình ảnh kết quả kiểm tra bền như trên hình 14, 15.

Kiểm tra bền trục khoan hố:

Cụm khoan được tính toán lực tác động bằng mô men cắt đất cứng, theo kết quả tính toán lý thuyết, mô men cắt đất cần thiết tại đầu ra mũi khoan là 2.095,8 Nm. Thực hiện kiểm tra bền sau khi đặt giá mô men là 2.095,8 Nm kết quả như hình 14 sau:



Hình 14. Kết quả kiểm tra ứng suất và biến dạng trục khoan hố

Kết quả mô phỏng kiểm tra độ bền của trục khoan cho thấy ứng suất von Mises lớn nhất phân bố tại vùng tiếp xúc giữa đầu dao cắt đất là 123,5 Mpa. Giá trị này thấp hơn đáng kể so với giới hạn bền của vật liệu chế tạo (thép hợp

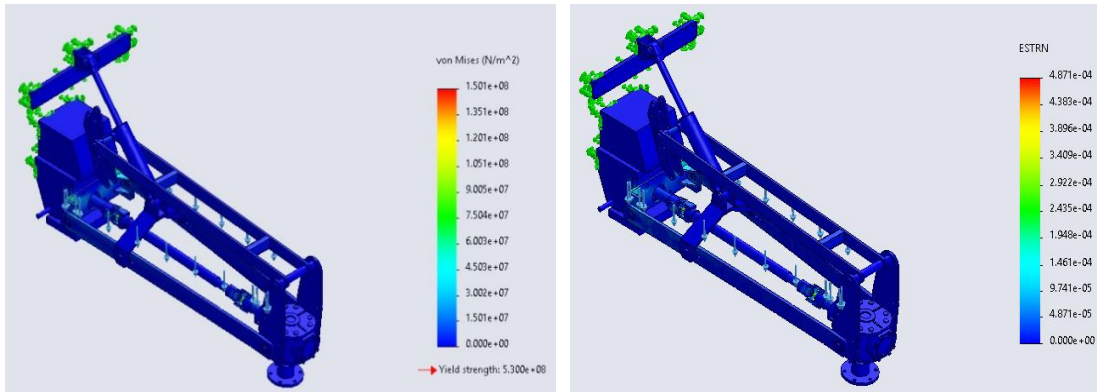
kim C35, σ cho phép là 530 Mpa), do đó đảm bảo độ bền khi làm việc. Biến dạng tương ứng phân bố đều trên bề mặt trục và mũi khoan, với giá trị lớn nhất khoảng $3,76 \times 10^{-4}$, đây là giá trị biến dạng nhỏ, kết cấu mũi và trục khoan có

độ cứng cao, đảm bảo ổn định hình học trong quá trình làm việc.

Kiểm tra bền hệ thống khung nâng hạ

Khung nâng hạ được tính toán lực tác động bằng tổng toàn bộ trọng lượng của các chi tiết và cụm

chi tiết, theo tính toán và chế tạo thực tế ta có trọng lượng lớn nhất là 1.600 N. Vậy ta kiểm tra bền đặt lực là 1.600 N, dưới đây là kết quả tính toán, kiểm tra (hình 15).



Hình 15. Kết quả kiểm tra ứng suất và biến dạng của cơ cấu nâng hạ

Đối với hệ thống nâng hạ khoan, kết quả kiểm tra cho thấy, ứng suất von Mises lớn nhất đạt khoảng 150 MPa, tập trung tại các vị trí liên kết giữa khung nâng và tay đòn. Giá trị này thấp hơn nhiều so với giới hạn chảy của vật liệu (530 MPa). Xét về độ biến dạng tổng có giá trị lớn nhất là $4,871 \times 10^{-4}$, phân bố đều tại các vùng chịu lực chính như điểm lắp xi lanh, thanh khung liên kết chịu uốn. Mức biến dạng rất nhỏ đảm bảo độ bền và ổn định trong quá trình nâng hạ và giữ trục khoan làm việc.

Máy tạo hố trồng rừng được thiết kế chế tạo liên hợp lắp sau máy kéo Yanmar F535D, truyền động cơ học, bộ phận khoan tạo hố gồm: 01 mẫu làm việc trên đất có thành phần cơ giới trung bình, độ chặt từ 20 - 25 kg/cm²; 01 mẫu làm việc trên đất có thành phần cơ giới nặng, độ chặt trên 30 kg/cm², có gốc cây và đá lẫn. Công suất máy khoan 9,6 kW, năng suất tính toán lý thuyết đạt 180 hố/giờ.

Kết quả tính toán thiết kế xác định được các thông số kỹ thuật chính của máy tạo hố trồng rừng được ghi trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật chính của máy khoan tạo hố trồng rừng

TT	Thông số, chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị tính	Trị số
1	Công suất máy khoan, N _k	kW	9,6
2	Năng suất, W _k	hố/giờ	180
3	Đường kính hố khoan, D ₀	mm	400
4	Độ sâu hố khoan, h	mm	400 - 500
5	Hệ thống truyền động cơ học	HT	01
6	Liên hợp với máy kéo: Cơ cấu treo hình bình hành lắp phía sau, nâng hạ thủy lực	HT	01
7	Tốc độ quay trục khoan, n _k	vòng/phút	180 - 250
8	Đường kính lưới cắt chính D ₁	mm	400
9	Đường kính trong trục khoan	mm	60
10	Đường kính ngoài trục khoan	mm	90
11	Chiều dài trục khoan	mm	600

Chế tạo, lắp ráp và chạy thử Liên hợp máy tạo hồ trồng rừng được thực hiện tại xưởng gia công cơ khí thuộc Công ty TNHH Dịch vụ và Thương Mại Đại An, Khu công nghiệp Yên Mỹ II, xã Yên Mỹ, tỉnh Hưng Yên. Thực hiện chế tạo các mẫu mũi

khoan phù hợp với từng loại đất để tạo hồ trồng rừng. Hình ảnh liên hợp máy tạo hồ trồng rừng sau khi chế tạo và liên hợp lắp sau máy kéo Yanmar F535D sau khi được khảo nghiệm trong điều kiện sản xuất, như trên hình 16.



Hình 16. Hình ảnh của máy tạo hồ trồng rừng sau khi chế tạo lắp ráp và thử nghiệm

3.2. Kết quả khảo nghiệm Liên hợp máy tạo hồ trồng rừng

Khảo nghiệm được thực hiện tháng 5, tháng 6 năm 2025, tại hiện trường trồng rừng của Trung tâm KHLN Đông Bắc Bộ, Phú Thọ; tháng 8 và đầu tháng 9 năm 2025 tại hiện trường trồng rừng của Trung tâm KHLN Bắc Trung Bộ, Quảng Trị.

Thực hiện trên 02 loại đất: đất có thành phần cơ giới nặng, độ chặt trên 30 kg/cm^2 , tỷ lệ đá có đá lẫn là 10%; đất có thành phần cơ giới trung bình, độ chặt từ $20 - 25 \text{ kg/cm}^2$. Mỗi loại đất khảo nghiệm với 3 cấp độ dốc: dưới 15%, từ 15 - 20% và từ 20 - 25%, mỗi thí nghiệm thực hiện từ 1,0 - 1,5 ca máy.



Hình 17. Liên hợp máy tạo hồ trồng rừng được khảo nghiệm tại Phú Thọ và Quảng Trị

Kết quả khảo nghiệm Liên hợp máy tạo hố trồng rừng trong điều kiện sản xuất, các thông số, chỉ tiêu làm việc được tổng hợp trong bảng 2.

Bảng 2. Tổng hợp các chỉ tiêu làm việc của máy tạo hố trồng rừng

TT	Cấp độ dốc (%)	Mô men cản trục khoan (Nm)	Tốc độ trục khoan (vòng/phút)	Năng suất (hố/giờ)	Chi phí nhiên liệu (kg/giờ)	Kích thước hố D x H (cm)	Độ tơi xốp trung bình (%)
A. Đất thành phần cơ giới nặng, độ chặt trên 30kg/cm ²							
1	Dưới 15%	220	210	132	6,25	45 x 50	56
2	15 - 20%	250	198	127	6,83	46 x 50	52
3	20 - 25%	385	190	120	8,16	47 x 45	50
B. Đất có thành phần cơ giới trung bình, độ chặt từ 20 - 25 kg/cm ²							
1	Dưới 15%	180	250	146	6,13	43 x 50	54
2	15 - 20%	200	235	138	6,32	45 x 48	55
3	20 - 25%	270	220	129	7,06	48 x 46	52

Nhận xét: Kết quả khảo nghiệm cho thấy, liên hợp máy tạo hố trồng rừng có kết cấu khá phù hợp với đặc điểm địa hình, tính chất đất trồng rừng; chất lượng thiết kế, chế tạo đạt yêu cầu, thiết bị làm việc ổn định, không bị hư hỏng khi làm việc trên đất có nhiều gốc cây, đá lẫn.

Năng suất trung bình đạt từ 129 - 146 hố/giờ đối với đất có thành phần cơ giới trung bình, và từ 120 - 132 hố/giờ đối với đất có thành phần cơ giới nặng, đạt yêu cầu đặt ra. Đối với địa hình có độ dốc trên 20%, độ chặt trên 30 kg/cm² năng suất giảm khá lớn, đặc biệt trên nền đất bị đá ong hóa hoặc có nhiều đá lẫn, năng suất chỉ đạt khoảng 120 hố/giờ. Các chỉ tiêu chất lượng hố khoan đảm bảo tốt theo yêu cầu kỹ thuật trồng rừng, đường kính, chiều sâu hố khoan đạt từ 45 - 50 cm, độ tơi xốp của đất trong hố khoan đạt trên 50%, lượng đất để lại khoảng 2/3 chiều sâu hố khoan.

IV. KẾT LUẬN

Máy tạo hố trồng rừng được thiết kế, chế tạo hoàn thiện, có thể liên hợp với máy kéo công suất 40 - 60 Hp, nhận truyền động từ trực trích công suất

của máy kéo qua cơ cấu các đăng, làm việc theo nguyên lý của máy khoan, công suất 9,6 kW.

Liên hợp máy kéo Yanmar F535D với khoan tạo hố có kết cấu hợp lý, di chuyển linh hoạt, làm việc ổn định trên đất trồng rừng có độ dốc đến 25%, năng suất đạt từ 120 - 132 hố/giờ với đất có thành phần cơ giới nặng, và từ 129 - 146 hố/giờ với đất có thành phần cơ giới trung bình, đáp ứng tốt yêu cầu kỹ thuật làm đất trồng rừng.

Lời cảm ơn: Bài viết này là một phần kết quả của Dự án sản xuất thử nghiệm “Hoàn thiện thiết kế và công nghệ chế tạo máy tạo hố trồng rừng, máy xử lý thực bì, vật liệu hữu cơ sau khai thác liên hợp với máy kéo phục vụ cơ giới hóa trồng, chăm sóc rừng trên đất dốc”. Xin chân thành cảm ơn các tổ chức, doanh nghiệp như: Bộ Nông nghiệp và Môi trường; Công ty TNHH Dịch vụ và Thương Mại Đại An; Công ty TNHH Thương mại và XNK Phó Hiến đã tài trợ kinh phí, hệ thống thiết bị,... Cảm ơn Trung tâm Khoa học Lâm nghiệp Đông Bắc Bộ; Trung tâm Khoa học Lâm nghiệp Bắc Trung Bộ và các hộ gia đình có đất trồng rừng đã chuẩn bị các hiện trường để thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2023. Thông tư số 21/2023/TT-BNN ngày 15/12/2023 quy định định mức kinh tế - kỹ thuật trong trồng rừng sản xuất. Hà Nội.
2. Tô Quốc Huy, Đoàn Văn Thu, Bùi Việt Đức, 2020. Kết quả nghiên cứu cải tiến hệ thống di động máy kéo làm việc trên đất nông, lâm nghiệp. Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp, số 5, 120 -1 32.
3. Đoàn Văn Thu, 2021. “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo một số thiết bị và máy công tác chuyên dụng liên hợp với máy kéo có khả năng kéo bám và ổn định cao phục vụ trồng và chăm sóc rừng” Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam.
4. Bembenek, M., Porankiewicz, B., 2003. The performance of impact cutting tools in soil tillage. Journal of Agricultural Engineering Research, 85(2), 153 - 160.
5. McNabb, K., Enebak, S., South, D., 2019. Site preparation for forestry plantations: principles and practices. Forest Science Review, 31(4), 299 - 314.
6. McKyes, E., 1985. Soil cutting and tillage. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Email tác giả liên hệ: quochuycnr@gmail.com

Ngày nhận bài: 13/09/2025

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 25/09/2025; 05/10/2025

Ngày duyệt đăng: 13/10/2025