

NGHIÊN CỨU HOẠCH ĐỊNH TUYẾN PHÂN PHỐI MÁY HỖ TRỢ THỞ OXI CHO CÁC BỆNH VIỆN: NGHIÊN CỨU MÔ PHÒNG DỰA TRÊN VRPTW TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

A CASE STUDY OF ROUTING OXYGEN CONCENTRATOR FOR HOSPITAL: A VRPTW-BASED PLANNING AND SIMULATION STUDY AT HO CHI MINH CITY

Lê Thị Yến Vy

Khoa Kỹ thuật và Quản lý Công nghiệp, Trường Đại học Quốc tế,
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Email: levy.vt294@gmail.com

TÓM TẮT

Máy hỗ trợ thở oxy là một trong những sản phẩm cơ khí đóng vai trò quan trọng trong trang thiết bị y tế tại các bệnh viện, kho phân phối máy hỗ trợ thở oxy giữ vai trò then chốt để giao đúng hạn và sử dụng hiệu quả nguồn lực khan hiếm. Chương trình phân phối máy hỗ trợ thở cho các bệnh viện thuộc khu vực Thành phố Hồ Chí Minh được mô hình hóa dưới dạng Bài toán Định tuyến Xe có ràng buộc tải (VRP) với nhu cầu hằng ngày và một kho trung tâm. Việc điều phối thủ công qua điện thoại dễ dẫn đến giao trễ, sử dụng xe không đồng đều và phát sinh quãng đường dư thừa.

Bài báo xây dựng mô hình Mixed Integer Linear Programming (MILP) gọn để tạo tuyến khả thi tối thiểu hóa quãng đường, cùng một luồng dữ liệu đơn giản chuyển danh sách trạm (địa chỉ/tọa độ và nhu cầu) thành ma trận khoảng cách. Tuyến tối ưu được xuất lên bản đồ web nhẹ, hỗ trợ triển khai hiện trường và giám sát. Trên ca thực tế với một xe và nhóm trạm thuộc Quận 5, Quận 10, mô hình giải trong vài giây trên máy tính phổ thông, cho tuyến ngắn và rõ ràng hơn so với lập kế hoạch cảm tính, đồng thời trực quan hóa giúp điều hành.

Kết quả cho thấy tính khả thi của quy trình “tối ưu hoá và trực quan hoá” cho phân phối máy hỗ trợ thở oxy trong tình huống khan hiếm và khẩn cấp. Hướng phát triển gồm mở rộng sang cửa sổ thời gian (VRPTW), đa xe, thời gian di chuyển theo mạng đường thực, và tái hoạch định động từ dữ liệu tồn kho gần thời gian thực.

Từ khóa: VRPTW; MILP; VRP; Máy hỗ trợ thở oxy; Bệnh viện.

ABSTRACT

Oxygen ventilator is one of the mechanical products that plays an important role in medical equipment in hospitals, oxygen ventilator distribution warehouse plays a role then lock to timely transaction and efficient use of scarce energy resources. The Time Attendance Machine support distributor for hospitals in Ho Chi Minh City area is modeled as a Vehicle Routing Problem with load function (VRP) required for regular day and central warehouse. Manual control via phone

easily leads to silly learning, uneven vehicle utilization and generation of redundant road bowl.

The paper builds a compact Mixed Integer Linear Programming (MILP) model to create the minimum route, along with a simple data flow that converts the list of points (address/to speed and demand) into matrix distances. The optimized route is exported to a lightweight web map, supporting field development and monitoring. In a real case with a vehicle and a group of stations in District 5 and District 10, the model solved in seconds on a general computer the information, giving a shorter and clearer than the intuitive planning, and directly transforming it to help the operation.

The results show the feasibility of the “optimization and direct” process for the ventilator dispenser in the situation of scarcity and emergency. Development directions include expansion to time windows (VRPTW), multiple vehicles, real-time network transfer times and dynamic sustainability from data that exists in near real time.

Keywords: VRPTW; MILP; VRP; Oxygen ventilator; Hospital.

1. TỔNG QUAN

Trong bối cảnh phân phối máy hỗ trợ thở oxy thời dịch, hoạch định tuyến là mắt xích kết nối kế hoạch cung-cầu với vận hành giao nhận hàng ngày. Trường hợp Máy hỗ trợ thở tại Thành phố Hồ Chí Minh có một kho trung tâm cấp máy hỗ trợ thở oxy cho mạng lưới trạm bệnh viện ở nội đô, nhu cầu biến động theo ngày và thời gian phục vụ tại điểm nhận. Nếu điều phối thủ công dựa vào điện thoại và kinh nghiệm, hệ thống dễ phát sinh giao trễ, quãng đường dư thừa và sử dụng phương tiện không đồng đều. Để khắc phục, nghiên cứu tiếp cận bài toán dưới dạng VRP có ràng buộc tải: mỗi trạm có nhu cầu, thời gian phục vụ; xe xuất phát từ một kho, mục tiêu là tối thiểu hóa tổng quãng đường đi kèm các ràng buộc luồng và năng lực.

Thực tế vận hành cho thấy nhiều hạn chế của cách làm cũ: tồn kho trạm theo dõi bằng Excel/Drive nên thiếu đồng bộ, tuyến đường được cắt theo phản ứng khi trạm báo thiếu máy hỗ trợ thở oxy, chưa tối ưu hành trình nhiều điểm. Một số đợt phải huy động nhiều xe tải nhỏ để phục vụ ít trạm, làm tăng chi phí và rủi ro kẹt xe giờ cao điểm. Hơn nữa, việc không có

mốc giao cố định khiến điều độ phân tán, khó gom nhu cầu theo lộ trình hợp lý. Những vấn đề này đặt ra nhu cầu chuẩn hóa quy trình lập kế hoạch dựa trên tối ưu hóa, đồng thời trực quan hóa kết quả để hỗ trợ triển khai hiện trường.

Nghiên cứu xây dựng mô hình MILP cho VRP nhằm tạo tuyến khả thi, rút ngắn tổng quãng đường, với dữ liệu đầu vào gồm tọa độ, nhu cầu và thời gian phục vụ. Ma trận khoảng cách được tính tự động từ tọa độ; lời giải được xuất lên bản đồ web để đội vận hành dễ theo dõi lộ trình. Thiết kế vận hành áp dụng hai mốc cắt lệnh trong ngày (08:00 và 16:00) để gom đơn và tái lập lịch nhanh khi dữ liệu cập nhật. Kết quả thí điểm cho thấy thời gian tính toán ngắn, tuyến rõ ràng và giảm chi phí so với điều phối cảm tính; đồng thời làm nền cho mở rộng đa xe, tích hợp thời gian di chuyển theo mạng đường và tái hoạch định động.



Hình 1. Sơ đồ mô tả về quy trình vận chuyển của kho máy hỗ trợ thở oxy.

2. ĐỀ XUẤT NGUYÊN LÝ HOẠCH ĐỊNH TUYẾN CỦA VRPTW

2.1. Nguyên lý làm việc

VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) mô tả việc tổ chức lộ trình giao nhận từ một kho đến nhiều điểm phục vụ, khi mỗi điểm có nhu cầu, thời gian phục vụ tại chỗ và một khoảng thời gian cho phép đến – phục vụ. Xe có thể đến sớm và chờ đến lúc cửa sổ mở, nhưng không được phục vụ trễ sau thời điểm đóng [1]. Đồng thời phải tôn trọng giới hạn tải của phương tiện và quy định ca làm việc/tổng thời gian hành trình.

Dữ liệu đầu vào điển hình gồm: danh sách điểm phục vụ với nhu cầu và cửa sổ thời gian, thời gian phục vụ tại điểm, thông tin đội xe (sức chứa, khung giờ làm việc), cùng ma trận thời gian/ khoảng cách giữa các điểm và kho (từ tọa độ hoặc mạng đường). Mục tiêu phổ biến là tối thiểu hóa tổng quãng đường hoặc tổng thời gian di chuyển, đồng thời bảo đảm tất cả các điểm được phục vụ đúng cửa sổ [4].

Nguyên lý vận hành thực hiện theo chu trình: [2] (1) gom nhu cầu theo đợt cắt lệnh trong ngày để có tập đơn ổn định; (2) tạo ma trận thời gian/ khoảng cách; (3) kiểm tra khả thi sơ bộ theo cửa sổ thời gian và tải xe; (4) lập kế hoạch tuyến cho đội xe, sắp xếp thứ tự thăm các điểm sao cho khi cộng dồn di chuyển và thời gian phục vụ, thời điểm đến mỗi điểm vẫn nằm trong cửa sổ cho phép; (5) xuất kế hoạch dưới dạng danh sách lộ trình kèm ETA từng điểm và trực quan hóa trên bản đồ để dễ triển khai; (6) khi dữ liệu cập nhật (nhu cầu thay đổi, phát sinh điểm mới), lập lại quy trình cho đợt kế tiếp. Cách tiếp cận này giúp cân bằng giữa tính đúng hạn (tuân thủ cửa sổ) và hiệu quả vận hành (giảm quãng đường/chi phí), phù hợp cho các tình huống giao nhận y tế cần phản ứng nhanh.



Hình 2. Sơ đồ miêu tả về nguyên lý làm việc của VRPTW

2.2. Các thông số cơ bản của hoạch định tuyến của VRPTW

Để làm rõ đặc điểm của hai cách tiếp cận, nghiên cứu trình bày các thông số cơ bản khi áp dụng mô hình MILP cho VRPTW và (nếu cần mở rộng) khung heuristics dùng cho vận hành hằng ngày [3].

Trong khi đó, heuristics (khung tham chiếu khi cần mở rộng quy mô/đáp ứng tái hoạch định nhanh) sử dụng các tham số đầu vào tương tự: danh sách điểm với nhu cầu và cửa sổ thời gian, ma trận thời gian/khoảng cách, thời gian phục vụ và thông tin đội xe. Nguyên tắc vận hành điển hình là kiến tạo tuyến theo ưu tiên động: ở mỗi bước, lập “tập ứng viên khả thi” thỏa đồng thời ba điều kiện (còn tải, đến kịp trước b_i , chi phí di chuyển thấp), chèn điểm kế tiếp vào vị trí hợp lệ nhất, rồi tinh chỉnh cục bộ để rút ngắn hành trình nhưng vẫn tuân thủ cửa sổ. Cơ chế này giảm đáng kể độ phức tạp tính toán, cho phép sinh tuyến khả thi rất nhanh phục vụ các đợt cắt lệnh trong ngày; phần MILP vẫn đóng vai trò chuẩn tham chiếu và kiểm chứng chất lượng khi so sánh.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của bài toán VRPTW

k	Đại diện cho phương tiện là xe tải
i, j	Những điểm đầu
C	Sức chứa của xe k
s_i	Thời gian phục vụ của khách hàng i
c_{ij}	Khoảng cách di chuyển từ đỉnh i đến đỉnh j
t_{ij}	Thời gian di chuyển từ đỉnh i đến đỉnh j
d_i	Nhu cầu của khách hàng i
$[a_i, b_i]$	Khoảng thời gian khách hàng i cần được phục vụ
M	Hằng số lớn
E	Thời gian khởi hành sớm nhất có thể từ kho
L	Thời gian đến muộn nhất có thể
X_{ijk}	Bằng 1 nếu cung (i, j) được xe k sử dụng; và bằng 0 nếu ngược lại
T_{ik}	Thời điểm xe k bắt đầu phục vụ khách hàng i ; 0 nếu xe không đến đón khách hàng i

3. MÔ PHỎNG

3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng

Bài toán VRPTW được mô hình hóa và giải bằng CPLEX với mục tiêu tối thiểu hóa tổng quãng đường dưới các ràng buộc thăm một lần, bảo toàn luồng depot-trạm-depot, không

vượt tải và tuân thủ cửa sổ thời gian (đến sớm chờ, không phục vụ trễ). Dữ liệu đầu vào (danh sách trạm, nhu cầu, thời gian phục vụ, cửa sổ, ma trận khoảng cách/thời gian) được chuẩn hóa trong Excel và nạp vào mô hình; vận hành theo hai mốc cut-off 08:00 và 16:00 để gom nhu cầu và chạy tối ưu theo đợt. Kết quả trả về là chuỗi ghé thăm kèm ETA/ETD cho triển khai hiện trường [3].



Bảng 2. Mô hình VRPTW được lập trình khi giải bằng phần mềm CPLEX

No.	Equation	Constraint
1	$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ijk}$	Giảm thiểu tổng quãng đường di chuyển
2	$\sum_{k \in K} \sum_{j=1}^{n+1} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in D,$	Áp đặt rằng chỉ có một xe k rời khỏi khách hàng i và khách hàng i được ghé thăm đúng một lần.
3	$\sum_{j \in D} x_{o,i,k} = 1 \quad \forall k \in K,$	Nêu rằng mỗi xe được vận hành theo một lộ trình liên tục, bắt đầu từ một kho, ghé thăm khách hàng, sau đó quay trở lại kho.
4	$\sum_{i=0}^n x_{ijk} - \sum_{j=1}^{n+1} x_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in D$	
5	$\sum_{i \in D} x_{i,(n+1),k} = 1 \quad \forall k \in K$	
6	$\sum_{i \in D} (d_i \sum_{j=1}^{n+1} x_{ijk}) \leq c \quad \forall k \in K$	Đảm bảo rằng năng lực của xe phải được đúng giờ
7	$a_i \sum_{j=1}^{n+1} x_{ijk} \leq T_{ik} \leq b_i \sum_{j=1}^{n+1} x_{ijk} \quad \forall k \in K, \forall i \in D,$	Đảm bảo tính khả thi của lộ trình xe, tính khả thi này nằm trong khung thời gian của khách hàng và áp dụng bất cứ khi nào khách hàng i không được xe k ghé thăm trong một khoảng thời gian k nhất định.
8	$(T_{ik} + s_i + t_{ij} - T_{ji}) \leq (1 - x_{ijk}) * M \quad \forall k \in K, \forall i \in D, j \in V \setminus \{0\}$	Đảm bảo tính khả thi của lịch trình về mặt ràng buộc thời gian.
9	$(E + t_{oi} - T_{ik}) \leq (1 - x_{oik}) * M \quad \forall k \in K, \forall i \in D$	Biểu diễn biến thời gian cho nút đầu tiên mà xe đến.
10	$(T_{ik} - L) \leq (1 - x_{i,(n+1)k}) * M \quad \forall k \in K, \forall i \in D$	Xét đến thời gian giới hạn của xe, xe k phải đến khách hàng cuối cùng, người đến trước thời điểm L khi kết thúc hành trình.
11	$T_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall i \in V$	Cung cấp các yêu cầu không âm và nhị phân tương ứng. Đối với mỗi phương tiện k ∈ K
12	$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A$	

Sau khi có lộ trình, hệ thống tái sử dụng đúng “data matrix” đã cấp cho CPLEX cùng bảng tọa độ (kinh/vĩ độ) của depot và các trạm. Python nạp các tệp này, ghép thứ tự ghé thăm với lat–lon từng điểm, tính lũy kế quãng đường và ETA/ETD (Haversine/Euclid nội đô), đồng thời cập nhật tải còn lại sau mỗi điểm. Kết quả được chuẩn hóa thành CSV/GeoJSON (order, name, lat, lon, ETA, ETD, remaining_load).

Từ dữ liệu đã ghép, Python sinh polyline theo thứ tự lộ trình và marker có nhãn thứ tự/ETA; depot được tô màu khác biệt, có thể bật/tắt tuyến khi nhiều xe/đợt. Google Maps JavaScript API (hoặc Leaflet) được dùng để hiển thị trên trình duyệt và chia sẻ cho tài xế/điều phối. Chu trình lặp mỗi cut-off: cập nhật số liệu → CPLEX → xuất tuyến → vẽ bản đồ

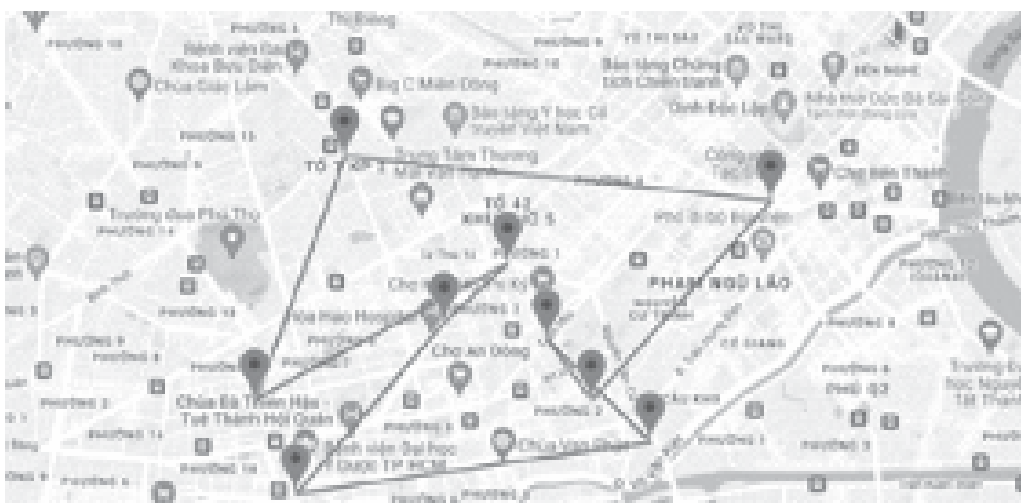
→ theo dõi và tái hoạch định nhanh.

$$(T_{ik} + s_i + t_{ij} - T_{jk}) \leq (1 - x_{ijk}) \cdot M \quad \forall k \in K, \forall i \in D, j \in V \setminus \{0\},$$

3.2. Phân tích kết quả mô phỏng

Bộ mô phỏng thí điểm một xe – chín trạm cho thấy mô hình VRPTW giải bằng CPLEX tạo được lộ trình tối ưu trong vài giây, thỏa tất cả cửa sổ thời gian và ràng buộc tải, đồng thời tổ chức tuyến liên tục từ kho đến các trạm rồi quay về. Kết quả được xuất dưới dạng chuỗi ghé thăm kèm ETA/ETD, phù hợp để triển khai ngay ở hiện trường; việc vận hành theo hai mốc cut-off 08:00 và 16:00 giúp gom nhu cầu theo đợt và kiểm soát luồng giao trong ngày. Tổng quãng đường và số xe sử dụng đều giảm so với trước khi áp dụng tối ưu hóa.

0	2	3	4	1	6	9	8	7	5	10
Thanh Thai	Nguyen Trai	Le Hong Phong	Tran Phu	Nguyen Bieu	Hai Thuong Lan Ong	Ngo Gia Tu	Ly Thai To	Nguyen Chi Thanh	Bui Huu Nghia	Thanh Thai

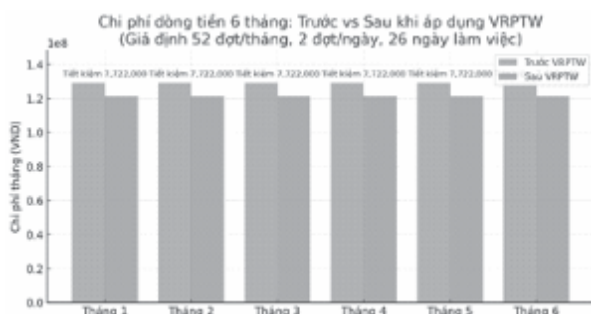


Hình 3. Hoạch định tuyến tọa độ tối ưu được thể hiện trên Google Maps



3.3. Khả năng ứng dụng vào thực tế

Hình 4 là kết quả mô tả chỉ số nên theo dõi theo đợt: tổng km, chi phí, % giao đúng của số, số điểm vi phạm. Với mức tiết kiệm trung bình ~148.500 VND/đợt, nếu chạy 2 đợt/ngày trong 300 ngày thì lợi ích khoảng 89,1 triệu VND/năm; quy đổi theo 6 tháng (giả định 52 đợt/tháng) tiết kiệm xấp xỉ 46,33 triệu VND. Khi cần mở rộng, bổ sung đa xe và thời gian di chuyển theo mạng đường (traffic API); trong điều kiện ngân sách hạn chế, có thể dùng vận tốc đô thị hiệu chỉnh và đệm phục vụ để giữ độ tin cậy ETA.



Hình 4. Chi phí dòng tiền 6 tháng trước và sau khi áp dụng VRPTW vào kho máy hỗ trợ thở oxy.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này cung cấp một khung hoạch định tuyến chặng cuối có thể triển khai ngay, gắn chặt giữa mô hình VRPTW-MILP và vận hành thực tế: dữ liệu chuẩn hóa → tối ưu → bản đồ hóa lộ trình. Nhờ chuẩn hóa cửa sổ thời gian và thiết kế cut-off theo đợt, hệ thống chuyển đổi điều phối từ “phản ứng” sang “chủ động”, minh bạch hóa kế hoạch, giảm mơ hồ phối hợp và tạo nền tảng cho giám sát – ra quyết định theo thời gian gần thực. Về học thuật, nghiên cứu chuẩn hóa bộ ký hiệu, quy trình dữ liệu và quy tắc vận hành, làm cơ sở tái lập và so sánh các biến thể mô hình. Về thực tiễn, giải pháp có chi phí tích hợp thấp, dễ mở

rộng sang đa xe, ưu tiên dịch vụ, và tích hợp thời gian mạng đường, qua đó tăng khả năng chống chịu của chuỗi cung ứng y tế trong bối cảnh khẩn cấp.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được hướng dẫn bởi thầy Phan Nguyễn Kỳ Phúc và sự giúp đỡ bộ phận hải quan và quản lý kho bãi nội địa Công ty Green Global Transport đã hỗ trợ cung cấp dữ liệu và đóng góp ý kiến trong quá trình nghiên cứu. Lời cảm ơn cũng xin được gửi đến các đồng nghiệp đã tham gia góp ý và giúp hoàn thiện bài báo này. ❖

Ngày nhận bài: **23/9/2025**

Ngày phản biện: **06/10/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Toth, P., et al., “*Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*”. Journal of SIAM (2014).
- [2]. Azi, N., et al., “*An exact algorithm for the vehicle routing problem with time windows*”. European Journal of Operational Research (2010).
- [3]. Le Thi Yen Vy, “*Vehicles routing problems: Ventilator distribution case study*”. International University – VNU HCMC, Thesis (2022)
- [4]. Solomon, M.M., “*Algorithms for vehicle routing and scheduling with time window constraints*”. European Journal of Operations Research (1987).