

Sử dụng UDEC dự báo sập lở khi đào hầm qua phay

> GS.TS NGUYỄN QUANG PHÍCH*, PGS.TS NGUYỄN VĂN MẠNH**,
TS NGUYỄN QUANG MINH**, TS NGUYỄN NGỌC HUỆ***, TS. TỪ ĐỒNG XUÂN*

Cho đến nay, đào hầm qua phay (đứt gãy, đới phá hủy) thường xảy ra sập lở đất đá. Nguyên nhân một phần là do không dự báo trước được mức độ sập lở nên vẫn để sập lở xảy ra, rồi tiến hành xử lý theo thực tế ở hiện trường. Sự cố này không chỉ gây tổn thất về kinh tế, đôi khi cả thiết bị và con người và còn làm chậm tiến độ thi công, do vậy cần phải được dự báo trước trong giai đoạn thiết kế. Bài viết giới thiệu kết quả phân tích dự báo sự cố sập lở bằng phương pháp phần tử rời rạc với khối đá và phay được mô hình hóa cấu thành từ hệ các phần tử rời rạc hay các khối nứt.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cho đến nay, nhiều công trình ngầm thủy điện và hầm giao thông đã được xây dựng ở nước ta. Do điều kiện địa chất luôn phức tạp và đa dạng, nên nhiều sự cố đã xảy ra ở các dạng khác nhau như: sạt trượt đá, sập lở hay trượt lở [1,2] gây nhiều thiệt hại về kinh tế, thậm chí cả thiết bị thi công và con người và làm chậm tiến độ thi công. Các biện pháp xử lý sau đó thường là củng cố gương đào, khoan phun lấp đầy và khoan phụt gia cố.

Với các chủ trương và kế hoạch xây dựng các tuyến đường bộ và đường sắt cao tốc, nhiều đường hầm sẽ được xây dựng [3,4]. Để có thể góp phần hạn chế các sự cố sập hầm, hạn chế thiệt hại về kinh tế, đảm bảo tiến độ thi công, trong bài này giới thiệu kết quả mô phỏng số hiện tượng sập lở khi đào hầm qua phay bằng phương pháp phần tử rời rạc [5,6]. Từ các kết quả dự báo, có thể áp dụng phương pháp khoan phun, kết hợp kết cấu neo, cọc để tạo vùng gia cố trước trong phay hay đới phá hủy trong phạm vi dự báo sập lở hoặc phương pháp neo tiến trước (hay vượt trước), kết hợp khung thép và bê tông phun, tạo nên kết công chống bảo vệ, để đảm bảo khi đào tránh được sập lở. Việc thiết kế các kết cấu gia cố hay chống trước khi đào có thể tham khảo trong các tài liệu [7,8,9,10,11,12].

(*)Đại học Văn Lang; (**)Đại học Mô Địa chất;
(***)Đại học Thủ Dầu Một

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ RỜI RẠC UDEC

UDEC (Universal Distinct Element Code) là một chương trình số thuộc nhóm các chương trình phần tử rời rạc. UDEC cho phép mô hình hóa khá đa dạng các đặc điểm cơ học của khối đá là tập hợp từ các khối nứt, với cấu trúc địa chất đặc trưng là các mặt phân cách, các khe nứt [5,6], cụ thể:

- Các khối nứt có thể là cứng tuyệt đối hoặc biến dạng được;
- Các định luật vật liệu (mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng) bất kỳ đối với cả khối nứt và mặt phân cách, các khe nứt;
- Thích ứng giải các bài toán động lực;
- Liên kết bài toán thủy, khí, nhiệt động học với cơ học và kể cả các quá trình không dừng;
- Liên kết với phương pháp phần tử biên (BEM Boundary Element Method) để mô phỏng chính xác hơn điều kiện biên;
- Khởi tạo tự động các hệ khe nứt ngẫu nhiên.

Khối đá được mô phỏng là tập hợp của các khối nứt rời rạc (phần tử riêng rẽ). Các mặt phân cách, các khe nứt, được coi là các mặt liên kết, tiếp xúc giữa các phần tử riêng rẽ, nghĩa là đặc điểm không liên tục được lập luận ở dạng các điều kiện biên.

Các lực liên kết và dịch chuyển tại các mặt tiếp xúc của tập hợp các khối nứt chịu nén được xác định bằng một loạt phép tính theo trình tự chuyển động của khối nứt. Chuyển động của khối nứt hình thành do lan truyền các vận động hỗn loạn trong hệ thống khối nứt, gây ra bởi các lực tác dụng cũng như tự trọng. Đây là một quá trình động lực học. Tốc độ lan truyền phụ thuộc vào tính chất vật lý của hệ thống các phần tử rời rạc được khảo sát.

Biểu hiện động lực học được thực hiện bằng thuật toán tính từng bước theo thời gian. Các bước tính có số gia thời gian hữu hạn với giả thiết rằng tốc độ và gia tốc là không đổi trong mỗi bước tính. Với giả thiết bước tính có số gia thời gian đủ nhỏ nên trong một bước tính không có sự lan truyền chuyển động hỗn loạn từ một phần tử sang phần tử lân cận.

Sơ đồ tính toán tương tự như khi sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn dạng tường minh cho môi trường liên tục.

Số gia thời gian được sử dụng cho cả các vị trí tiếp xúc và các khối nút.

Việc tính toán thực hiện có tính luân chuyển sử dụng mối quan hệ giữa lực và chuyển vị ở mọi điểm tiếp xúc và định luật 2 Newton cho các khối nút. Quan hệ giữa lực và chuyển vị được sử dụng để xác định lực tiếp xúc khi đã biết (hay đã xác định) dịch chuyển. Định luật 2 Newton cho biết chuyển động của khối nút gây ra bởi các lực tác dụng vào chúng đã biết hay đã xác định. Trường hợp coi khối nút là các vật thể biến dạng, chuyển động sẽ được tính tại các điểm nút của các phần tử tam giác biến dạng hữu hạn, chia trong các khối nút. Từ đó, bằng các định luật vật liệu đặc trưng cho đá sẽ nhận được quy luật phân bố ứng suất trong khối nút.

Chuyển động của từng khối nút được xác định bởi giá trị và hướng của lực và mô men toàn phần tác dụng lên khối nút. Ví dụ, trong trường hợp chuyển động một chiều của một khối lượng m chịu tác dụng của một lực biến đổi F(t). Định luật 2 Newton viết ở dạng:

$$\frac{d\dot{u}}{dt} = \frac{F}{m} \quad (1)$$

với \dot{u} là tốc độ, t là thời gian.

Sơ đồ sai phân trung tâm cho số hạng bên trái của (1) tại thời điểm t có thể biểu thị ở dạng:

$$\frac{\dot{u}^{(t+\Delta t/2)} - \dot{u}^{(t-\Delta t/2)}}{\Delta t} \quad (2)$$

Đưa (2) vào (1) và sắp xếp lại nhận được:

$$\dot{u}^{(t+\Delta t/2)} - \dot{u}^{(t-\Delta t/2)} = \frac{F^{(t)}}{m} \Delta t \quad (3)$$

Như vậy với tốc độ đã có trước tại thời điểm bằng 1/2 số gia thời gian có thể xác định được dịch chuyển theo biểu thức:

$$u^{(t+\Delta t)} = u^{(t)} + \dot{u}^{(t+\Delta t/2)} \Delta t \quad (4)$$

Vì lực tác dụng liên quan với dịch chuyển, nên lực tác dụng và dịch chuyển được tính đồng thời cho cùng một thời điểm. Trường hợp bài toán hai chiều, khối nút chịu tác dụng của các lực khác nhau và tự trọng, phương trình tốc độ dịch chuyển có dạng:

$$\begin{aligned} \dot{u}_i^{(t+\Delta t/2)} - \dot{u}_i^{(t-\Delta t/2)} &= \left(\sum \frac{F^{(t)}}{m} + g_i \right) \Delta t \\ \dot{\theta}^{(t+\Delta t/2)} - \dot{\theta}^{(t-\Delta t/2)} &= \left(\frac{\sum M^{(t)}}{I} \right) \Delta t \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó $\dot{\theta}$: Tốc độ góc của khối so với trọng tâm; I: mô men quán tính của một khối nút; $\sum M$: Mô men tổng cộng tác dụng lên khối nút; u_i : Các tốc độ dịch chuyển thành phần; g_i : Các thành phần của gia tốc trọng trường; Chỉ số i thể hiện thành phần của đại lượng vật lý trong tọa độ Đề các.

Từ tốc độ mới xác định ở phương trình (5), sẽ xác định được vị trí mới của khối nút:

$$\begin{aligned} X_i^{(t+\Delta t)} &= x_i^{(t)} + \dot{u}_i^{(t+\Delta t/2)} \Delta t \\ \theta^{t+\Delta t} &= \theta^{(t)} + \dot{\theta}^{(t+\Delta t/2)} \Delta t \end{aligned} \quad (6)$$

với θ : Góc quay quanh trọng tâm khối nút; x_i : Tọa độ của trọng tâm của khối nút.

Biểu hiện của mặt phân cách (khe nứt) được mô phỏng bởi các mối quan hệ khác nhau. Chẳng hạn theo phương pháp tuyến quan hệ giữa ứng suất và dịch chuyển được giả định là tuyến tính theo biểu thức:

$$\Delta \sigma u = -k_n \Delta u_n \quad (7)$$

với: $\Delta \sigma_n$: Số gia ứng suất pháp tuyến hiệu dụng; Δu_n : Số gia dịch chuyển pháp tuyến; k_n : Hệ số độ cứng pháp tuyến trên mặt khe nứt.

Khả năng chịu kéo σ_k được coi là giới hạn, do vậy, khi ứng suất tác dụng vượt quá độ bền kéo $\sigma_n < \sigma_k$ thì ngầm định $\sigma_n = 0$.

Tương ứng như vậy đối với tác dụng trượt. Chẳng hạn giả thiết khả năng chống trượt là cố định, sử dụng hệ số điều khiển k_s (độ cứng tiếp tuyến) đối với ứng suất tiếp τ_s cho phép được xác định qua lực dính kết đơn vị c và góc ma sát φ .

Khi đó, nếu:

$$|\tau_s| \leq c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi = \tau_{\max} \quad \text{thì: } \Delta \tau_s = -k_s u_s^e \quad (8)$$

hoặc khi:

$$|\tau_s| \geq \tau_{\max} \quad \text{thì: } \tau_s = \operatorname{signum}(\Delta u_s) \tau_{\max} \quad (9)$$

với Δu_s^e : thành phần đàn hồi của số gia biến dạng trượt;

Δu_s : Số gia biến dạng trượt toàn phần.

Biến dạng của các khối nút được mô phỏng tùy thuộc vào giả thiết coi khối nút là cứng tuyệt đối hay có thể biến dạng. Khi coi là cứng tuyệt đối thì hình dạng và kích thước khối nút là không đổi. Giả thiết này sử dụng khi dịch chuyển của hệ thống được xác định chính bởi các mặt phân cách. Trường hợp các khối nút là vật thể biến dạng, các khối được chia ra thành các phần tử tam giác sai phân hữu hạn.

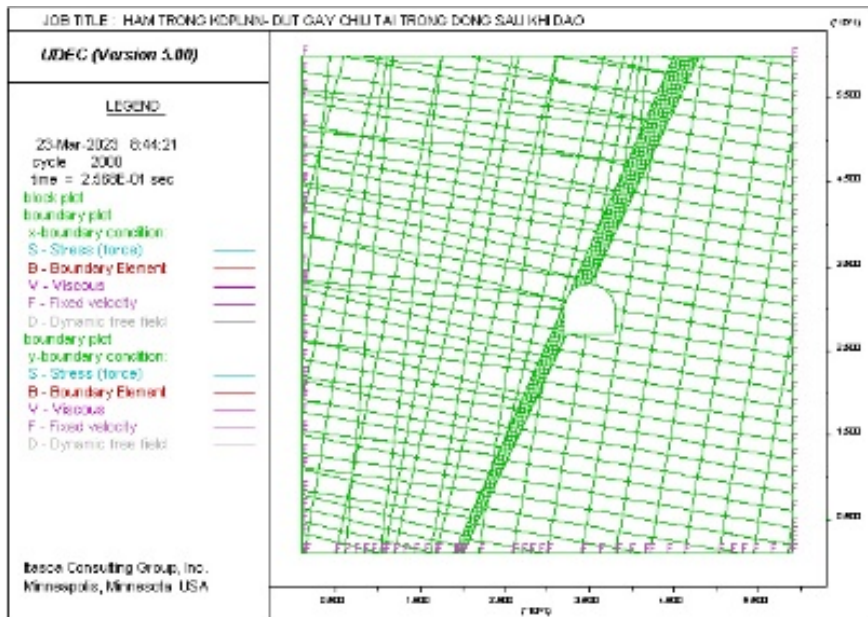
Các đỉnh của các phần tử là điểm nút và phương trình chuyển động cho mỗi nút có dạng sau:

$$\ddot{u}_i = \frac{\int_s \sigma_{ij} n_j d_s + F_i}{m} + g_i \quad (10)$$

với s: Mặt chứa khối m giới hạn bởi các nút; n_j : Phương pháp tuyến của s; F_i : Tổng hợp tất cả ngoại lực tại các nút; g_i : Gia tốc trọng trường.

Nếu vật thể ở trạng thái cân bằng, tổng hợp lực của các nút bằng 0, ngược lại các nút sẽ dịch chuyển theo định luật 2 Newton ở dạng sai phân hữu hạn:

$$\ddot{u}_i^{(t+\Delta t/2)} - \ddot{u}_i^{(t-\Delta t/2)} = \sum F_i^{(t)} \frac{\Delta t}{m} \quad (11)$$



Hình 1. Sơ đồ bài toán mô phỏng hãm đào qua phay.

Tại mỗi bước tính theo thời gian, biến dạng thẳng và xoay được xác định theo dịch chuyển của các nút ở dạng quen biết.

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\dot{u}_{i,j} + \dot{u}_{j,i} \right) \quad (12)$$

$$\theta_{ij} = \frac{1}{2} \left(\dot{u}_{i,j} - \dot{u}_{j,i} \right)$$

Định luật vật liệu cho các khối biến dạng được sử dụng ở dạng số gia và các định luật phi tuyến đều được xét đến đơn giản. Ví dụ khi coi các khối là đàn hồi:

$$\Delta \sigma_{ij}^e = \lambda \Delta \varepsilon_{ij} \delta_{ij} + 2\mu \Delta \varepsilon_{ij} \quad (13)$$

với λ, μ : Các hằng số Lamé; $\Delta \sigma_{ij}^e$: Số gia đàn hồi của tenxơ ứng suất; $\Delta \varepsilon_{ij}$: Số gia của tenxơ biến dạng.

3. MÔ HÌNH KHẢO SÁT VÀ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong ví dụ mô phỏng khối đá có phay (hay đứt gãy, đới phá hủy) gồm ba vùng cấu thành từ các hệ khe nứt có góc cắm -10° và 80° (Hình 1).

Các đặc điểm hình học của các hệ khe nứt tại các vùng được tổng hợp trong Bảng 1. Các tính chất cơ học của các khối nứt và các mặt khe nứt (hệ số độ cứng pháp tuyến k_n và độ cứng tiếp tuyến k_s) được tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 1. Các tham số hình học của các hệ khe nứt.

Các tham số vật liệu	Vùng trái	Phay	Vùng phải
Góc cắm (độ)	$-10^\circ \pm 5^\circ$ và $80^\circ \pm 5^\circ$	-10° và 80°	-10° và 80°
Khoảng giữa các khe nứt (m)	1,5 và 2,5	0,5 và 0,5	2,0 và 4,0

Trên Hình 2 giới thiệu một vài hình ảnh về kết quả mô phỏng, lựa chọn từ các kết quả nhận được trong quá trình tình lập của bài toán. Sự phân bố của trạng thái ứng suất

được thể hiện qua hai thành phần ứng suất chính σ_1 và σ_2 (bởi hai gạch chéo màu đỏ, thể hiện cường độ và phương tác dụng). Trạng thái dịch chuyển thể hiện qua các véc tơ dịch chuyển u (cường độ thể hiện bởi màu của các véc tơ, hướng dịch chuyển theo chiều mũi tên). Quá trình sập lở xảy ra theo thời gian, tương ứng với các bước tính lập. Trạng thái cuối cùng cho phép xác định được biên của vùng sập lở.

Bảng 2. Các tham số cơ học của các khối nứt và các hệ khe nứt

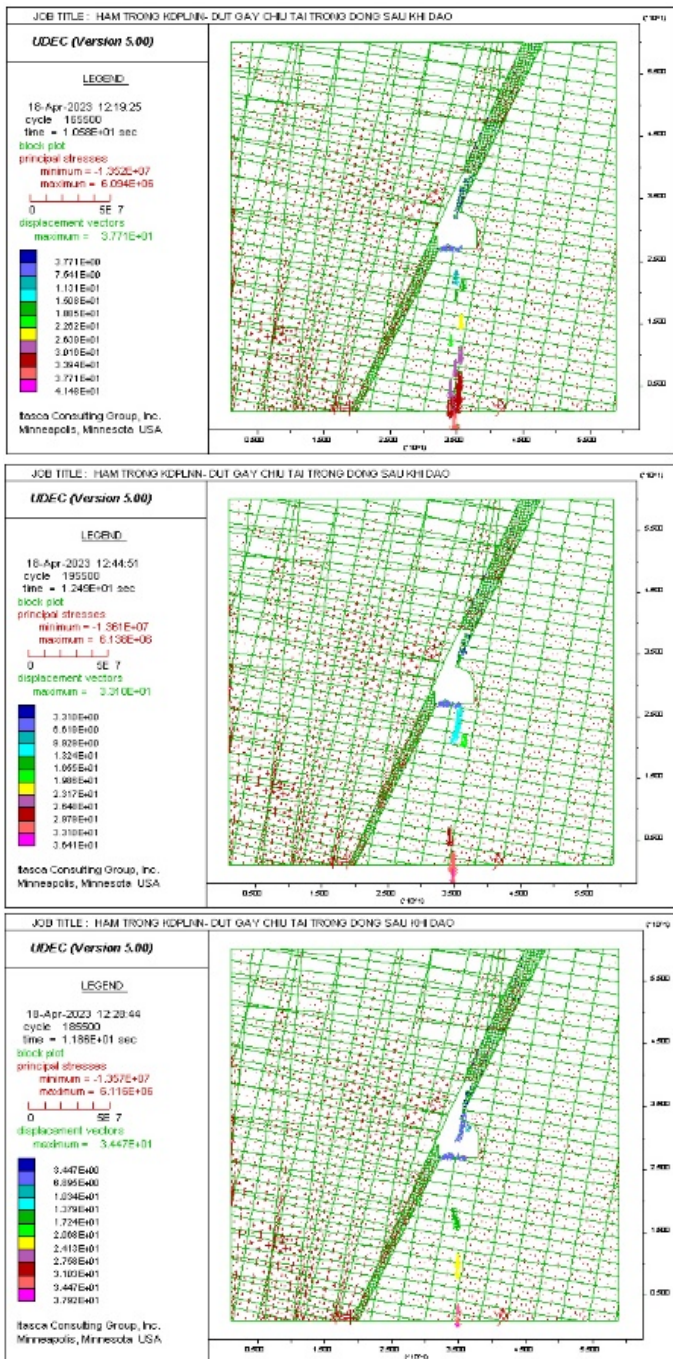
Các tham số vật liệu	Vùng trái	Phay	Vùng phải
Mật độ (g/cm^3)	2,5	2,4	2,65
Mô đun nén thể tích K (GPa)	16,667	0,116	16,667
Mô đun trượt G (GPa)	10,000	0,111	10,000
Góc ma sát trong φ (độ)	30	20	25
Lực dính đơn vị c (kPa)	1,0	0	0,6
Hệ số độ cứng pháp tuyến k_n (GPa/m)	2,0	$5 \cdot 10^{-2}$	2,2
Hệ số độ cứng tiếp tuyến k_s (GPa/m)	1,0	$4 \cdot 10^{-2}$	1,5
Góc ma sát trên mặt khe nứt φ_{kn} (độ)	40	20	25

4. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Kết quả nhận được cho phép rút ra nhận xét sau:

1) Với công cụ mô phỏng số hiện đại, cụ thể là phương pháp phần tử rời rạc, hoàn toàn có thể dự báo được mức độ dịch chuyển, phá hủy, sập lở có thể xảy ra khi thi công công trình ngầm qua phay;

2) Trên cơ sở dự báo bằng mô phỏng số có thể xác định định tính và định lượng về mức độ xảy ra sự cố, từ đó cho phép có thể đề xuất được giải pháp phòng và tránh hợp lý, không để xảy ra sập lở lớn rồi sau đó mới khắc phục.



Hình 2. Một vài hình ảnh về dự báo quá trình sập lở khi hầm đào qua phay.

Trong thực tế, nếu dự báo được mức độ sập lở có thể xảy ra, người thiết kế có thể lựa chọn các giải pháp chống giữ và gia cố khối đá trước khi đào như: cắm neo, cọc tiến trước kết hợp với khung thép, bê tông phun, hoặc trong trường hợp nghiêm trọng cần tiến hành khoan phụt trước khi đào để gia cố đới phá hủy, kết hợp với khoan cắm neo, cọc tiến trước, khung thép và bê tông phun.

Công cụ mô phỏng số thực sự hữu ích trong việc dự báo tai biến địa chất, do vậy cần được quy định bắt buộc

phải được áp dụng trong giai đoạn thiết kế. Và trong giai đoạn thiết kế cần thể hiện đầy đủ các kết quả tính toán, mô phỏng số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

[1] Nguyễn Quang Phích và nnk. Báo cáo tổng hợp kết quả khoa học công nghệ đề tài "Nghiên cứu ứng dụng và phát triển mô hình phân tích, dự báo tai biến địa chất - kỹ thuật đối với công trình ngầm, công trình khai thác mỏ ở Việt Nam", mã số: ĐT.NCCB-ĐHUD.2011-G/13. Hà Nội - 2015.

[2] Nguyễn Quang Phích và nnk. Tai biến địa chất - kỹ thuật trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 21, Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, 14/11/2014. Tr. 191-199.

[3]. Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), Bộ GTVT Việt Nam. Quy hoạch Tổng thể Đường bộ Cao tốc Bắc - Nam. Báo cáo cuối cùng. Tháng 5/2010.

[4] Cơ quan hợp tác quốc tế nhật bản (JICA), Tổng công ty Đường sắt Việt Nam (VNR). Nghiên cứu lập dự án cho các Dự án Đường sắt các tốc đoạn Hà Nội - Vinh và TP.HCM - Nha Trang. Tháng 3/2014.

[5] Itasca (2011). UDEC User's Guide (Version 5.0). Minneapolis:Itasca Consulting Group Inc. Third Edition March 2011.

[6] Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Văn Mạnh, Đỗ Ngọc Anh. Phương pháp số - Chương trình Plaxis 3D và UDEC. NXB Xây dựng. Hà Nội 2007.

[7] Knut F. Garshol. Pre-Excavation Grouting in Rock Tunneling. Copyright MBT International Underground Construction Group, Division of MBT (Switzerland) Ltd., 2003.

[8] BASF. Pre-Excavation Grouting in Tunneling. Copyright © BASF Construction Chemicals Europe Ltd., 2011 4th edition, December 2011.

[9] Neher, Kogler. Injektionstechnik im Tunnelbau. ETH Zürich 13.12.2012

[10] Norwegian Tunnelling Society. Norwegian tunnelling technology Publication No. 23. 2014.

[11] Nguyễn Quang Phích. Cơ học công trình ngầm. Đại học Mỏ - Địa chất 1999.

[12] Nguyễn Duy Giang và nnk. Nghiên cứu, đề xuất kết cấu chống gia cố hợp lý khi thi công đường hầm ô tô Nam Cường trên tuyến đường cao tốc Nội Bài - Lào Cai. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 21, Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, 14/11/2014. Tr 45-52.