



Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”  
Факультет прикладної математики  
Кафедра системного програмування та спеціалізованих комп’ютерних  
систем

**Лабораторна робота №9**  
*з дисципліни «Комп’ютерні мережі»*

**«Аналіз процесів в об’єднаній комп’ютерній  
мережі при передачі поштового повідомлення з  
використанням симулятора мережі передачі даних  
Cisco Packet Tracer»**

Виконав  
студент 4-го курсу  
групи KB-11  
Терентьєв Іван Дмитрович

Перевірив: \_\_\_\_\_

## ***Мета роботи***

Засвоєння принципів взаємодії мережевих пристроїв при передачі поштового повідомлення від відправника до отримувача в об'єднаній комп'ютерній мережі з використанням програми симуляції комп'ютерних мереж Cisco Packet Tracer.

## ***План виконання лабораторної роботи***

1. Побудова топології мережі, налаштування мережевих пристроїв
2. Налаштування поштових серверів та серверів служби DNS
3. Відправка поштового повідомлення по протоколу SMTP на сервер
4. Отримання поштового повідомлення по протоколу POP3 від сервера
5. Дослідження прикладних поштових протоколів в режимі симуляції
6. Виконання індивідуального завдання

## ***Завдання***

1. Побудуйте тестову мережу, приклад якої наведений на рисунку 9.1. Виконайте необхідні налаштування мережевим пристроям: комп'ютерам та маршрутизаторам.
2. Дослідіть роботу прикладних протоколів SMTP і POP3 та їхню взаємодію з мережевими протоколами TCP, UDP і ARP.
3. Самостійно дослідіть в режимі симуляції передачу поштового повідомлення від користувача user1 до користувача user3. Зверніть увагу на процес пересилки поштового повідомлення у поштову скриньку користувача user3. Чим ця пересилка відрізняється від пересилки поштового повідомлення від користувача user1 до користувача user2?
4. У звіті надайте пояснення причин утворення пакетів різних протоколів.

## ***Теоретичні відомості***

Електронна пошта (E-mail) – це одна з основних служб Інтернету, яка дозволяє користувачам обмінюватися повідомленнями. Вона функціонує на основі клієнт-серверної моделі та використовує кілька основних протоколів для надсилання та отримання повідомлень.

### **Протоколи електронної пошти**

Для роботи поштових сервісів використовуються такі основні протоколи:

- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – використовується для надсилання електронної пошти з поштового клієнта на сервер або між поштовими серверами. Працює через порт 25 (або 587/465 для захищеного з'єднання).
- POP3 (Post Office Protocol 3) – використовується для отримання електронної пошти з поштового сервера на клієнт. Працює через порт 110 (або 995 для захищеного з'єднання).
- IMAP (Internet Message Access Protocol) – альтернативний протокол отримання електронної пошти, що дозволяє працювати з листами без завантаження їх на пристрій. Працює через порт 143 (або 993 для захищеного з'єднання).

### **DNS-запити при надсиланні пошти**

Перед передачею електронного листа поштовий клієнт виконує DNS-запит, щоб знайти IP-адресу поштового сервера отримувача. Для цього використовується запис MX (Mail Exchange) у DNS, який вказує, який сервер обробляє пошту для відповідного домену.

### **Процес надсилання та отримання електронного листа**

1. Користувач відправляє лист через поштовий клієнт.
2. Клієнт виконує DNS-запит, щоб знайти IP-адресу поштового сервера отримувача.
3. Встановлюється TCP-з'єднання між клієнтом і поштовим сервером за допомогою SMTP.
4. Лист передається поштовому серверу відправника.
5. Якщо отримувач знаходиться на іншому домені, сервер виконує DNS-запит для визначення IP-адреси сервера отримувача.
6. Встановлюється нове TCP-з'єднання між серверами, і лист передається на сервер отримувача.
7. Користувач отримує повідомлення через POP3 або IMAP.

### **Використання ARP у поштовій мережі**

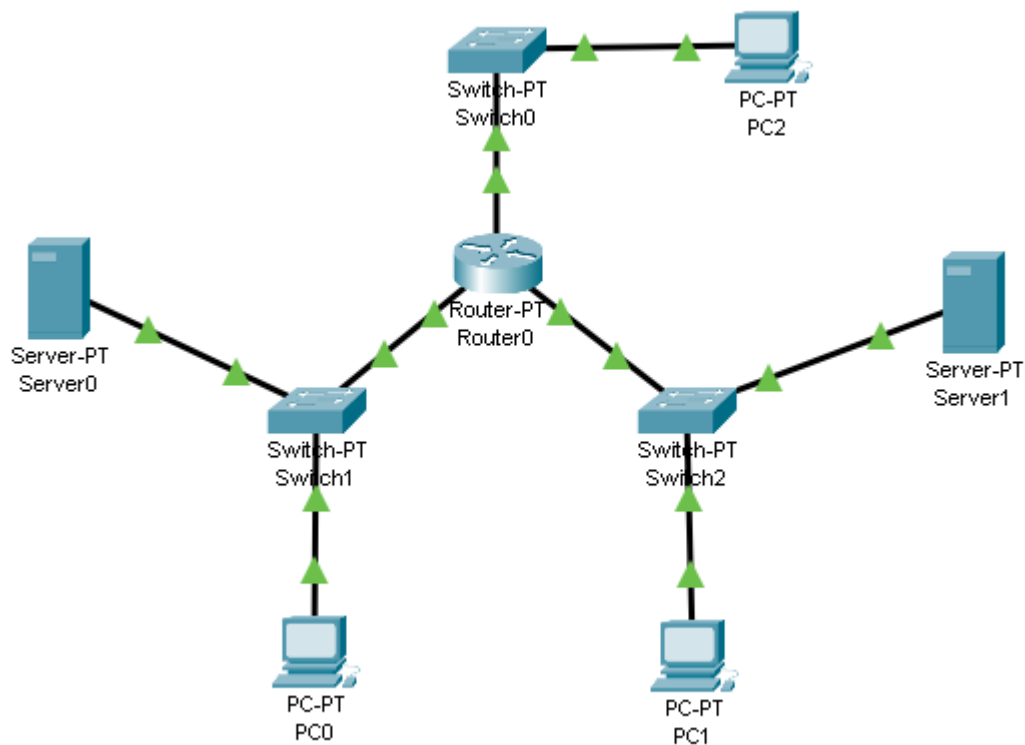
Перед передачею будь-якого IP-пакета пристрій виконує ARP-запит (Address Resolution Protocol) для отримання MAC-адреси пристрою-призначення в межах локальної мережі.

## *Хід роботи*

Побудуємо мережу за заданою топологією(на рис. 1) та налаштуємо маршрутизатор Router0, перемикачі Switch0, Switch1, Switch2, сервери Server0, Server1 та комп'ютери PC0, PC1, PC2. Встановимо їх IP-адреси, маски мережі, IP-адреси DNS-сервера, шлюзи, виконаємо налаштування інтерфейсів маршрутизатора. Налаштуємо та ввімкнемо DNS-сервери(162.115.1.100 та 161.114.0.100) та поштові сервери(scs.kpi.ua та kpi.ua). Додаємо трьох користувачів, а саме:

- PC0 – [user1@scs.kpi.ua](mailto:user1@scs.kpi.ua)
- PC1 – [user2@kpi.ua](mailto:user2@kpi.ua)
- PC2 – [user3@scs.kpi.ua](mailto:user3@scs.kpi.ua)

Конфігуруємо пошту на поштових серверах та клієнтах.



*Рис. 1 – Побудована топологія мережі*

Розглянемо пакети різних протоколів під час відправки та отримання листа від [user1@scs.kpi.ua](mailto:user1@scs.kpi.ua) до [user3@scs.kpi.ua](mailto:user3@scs.kpi.ua). Почнемо з DNS-запиту, що зображений на рис. 2. Можна відповідно побачити, що комп'ютер відправника запитує IP-адресу поштового сервера (scs.kpi.ua) для встановлення з'єднання.

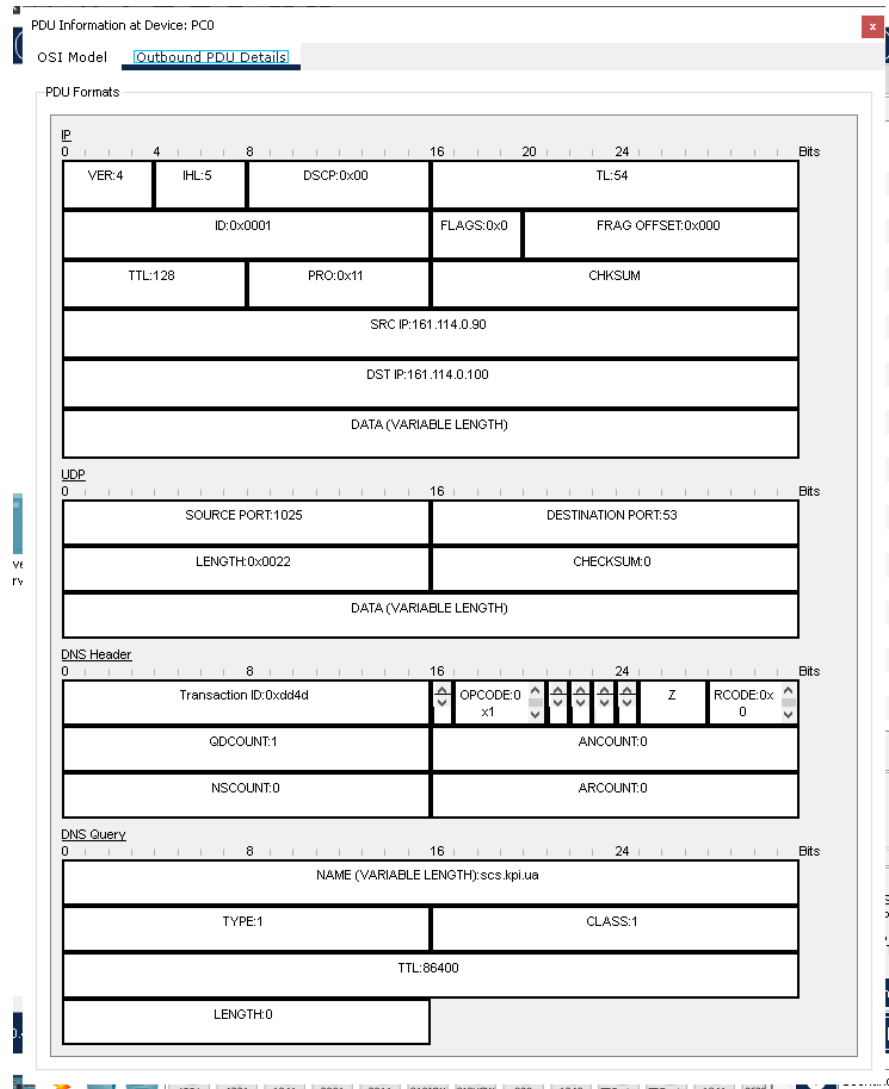


Рис. 2 – DNS-запит перед передачею листа

На рис. 3 відповідно можна розглянути вміст пакету TCP з прапором SYN, де відповідно клієнт ініціює TCP-з'єднання з сервером через порт 25 для передачі електронного листа.

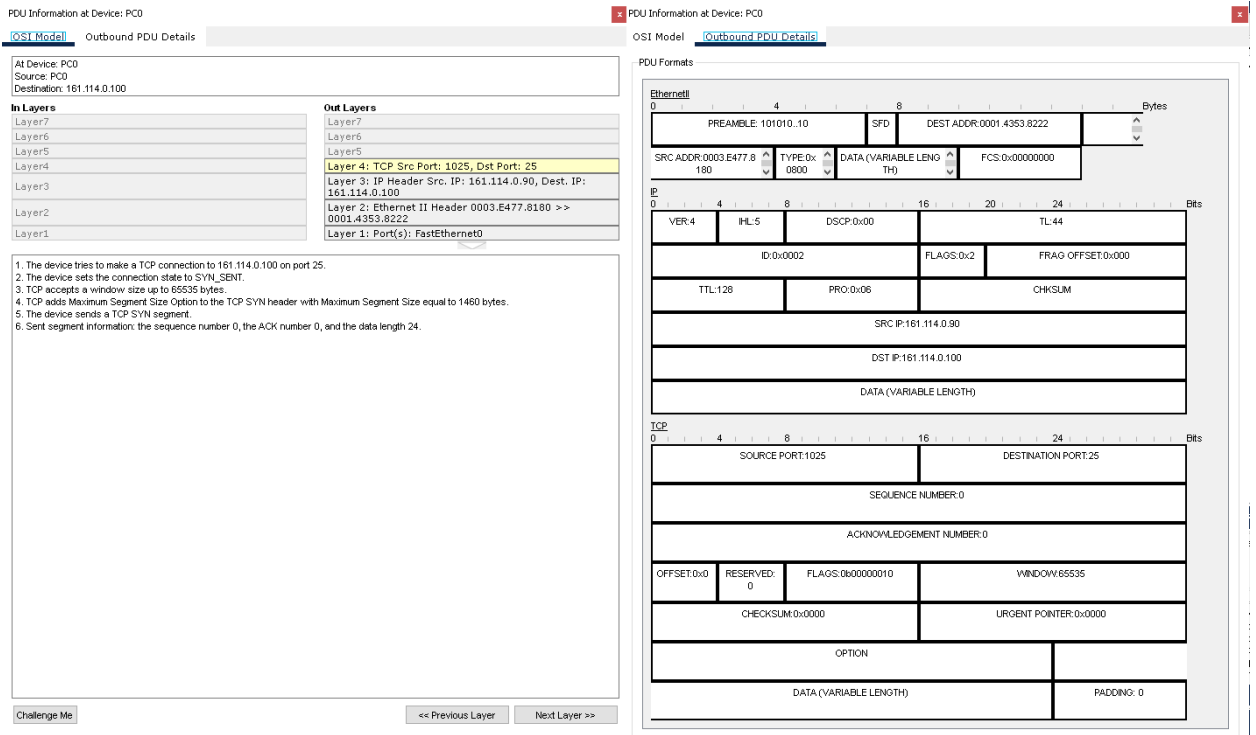


Рис. 3 – Встановлення TCP-з'єднання для SMTP

Далі відповідно розглянемо пакет SMTP на рис. 4. Клієнт надсилає електронний лист на поштовий сервер, який обробляє повідомлення через SMTP.

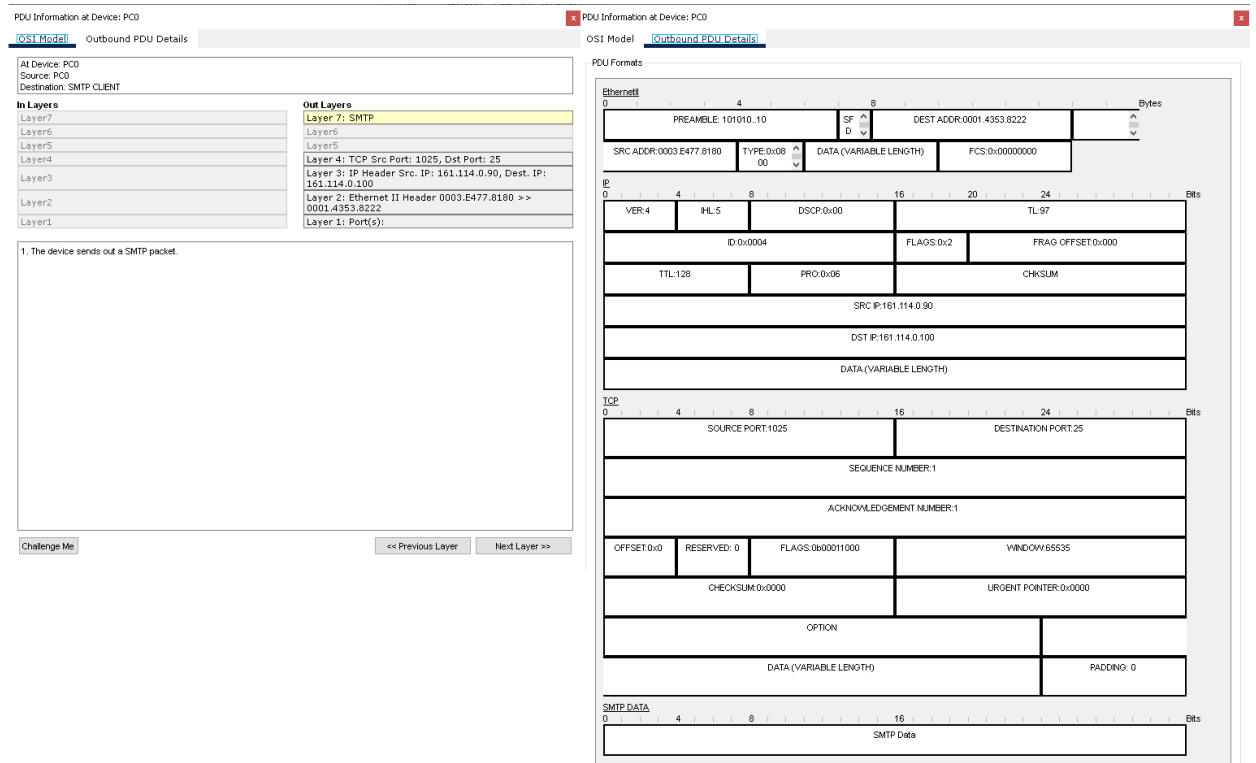
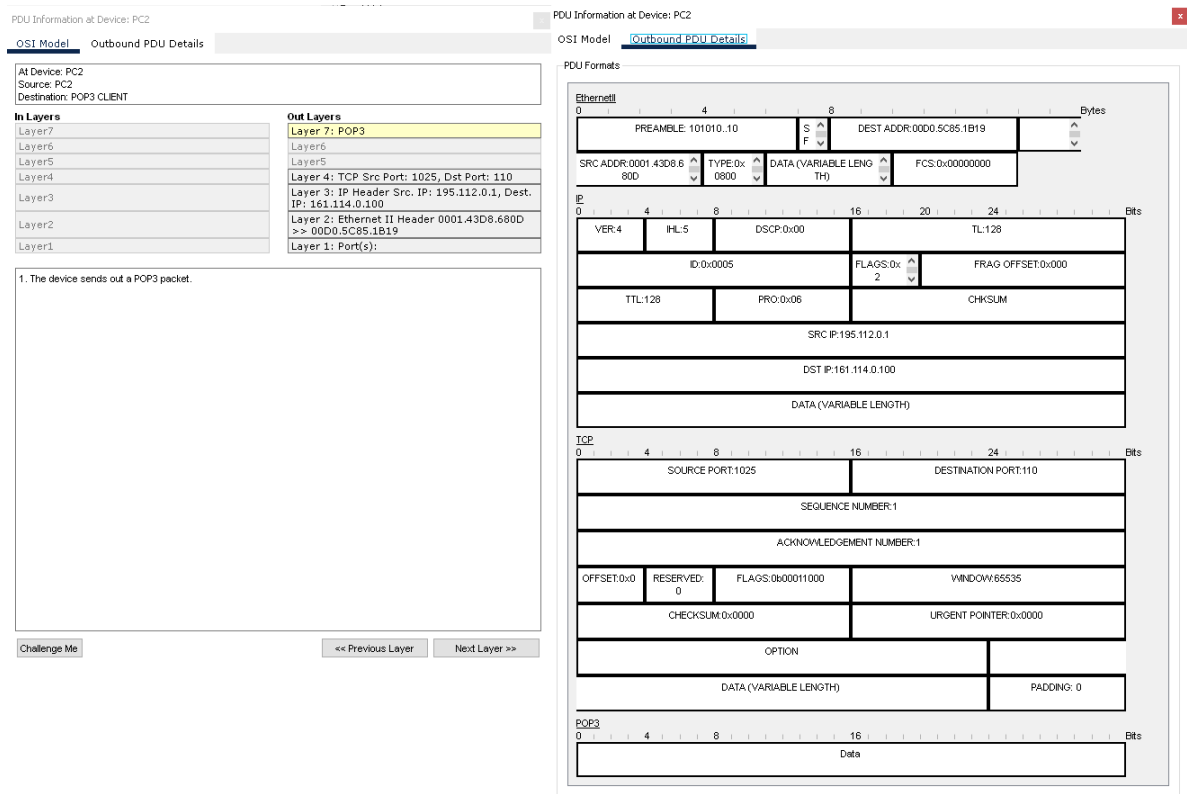


Рис. 4 – Передача повідомлення по SMTP

Як тільки завершилось TCP з'єднання між клієнтом та сервером після надсилання листа. Був виконаний запит на отримання пошти від серверу з іншого клієнту, що

відповідно призвело до створення POP3 пакету, який можна розглянути на рис. 5. Користувач отримує електронний лист з поштового сервера за допомогою протоколу POP3 (порт 110).



Тобто, передача повідомлення починається з DNS-запиту, який дозволяє відправнику визначити IP-адресу поштового сервера отримувача. Далі встановлюється TCP-з'єднання між клієнтом та сервером, що дозволяє передавати дані по SMTP. Якщо сервер отримувача знаходиться в іншому домені, використовується додатковий DNS-запит для визначення маршруту та пересилки повідомлення між серверами.

Отримання повідомлення здійснюється через POP3, що також потребує встановлення TCP-з'єднання між клієнтом та сервером. Перед передачею будь-якого пакета в локальній мережі використовується ARP-запит, який дозволяє отримати MAC-адресу пристрою-призначення.

Розглянемо, як у підсумку виглядало відправлення листа від [user1@scs.kpi.ua](mailto:user1@scs.kpi.ua) до [user3@scs.kpi.ua](mailto:user3@scs.kpi.ua) на рис. 7. Послідовність процесів під час передачі листа: DNS-запит, встановлення TCP-з'єднання, SMTP-відправка та завершення сеансу.

1.998	--	PC0	DNS	<b>DNS-запит на сервер</b>
1.999	PC0	Switch1	DNS	
2.000	Switch1	Server0	DNS	
2.001	Server0	Switch1	DNS	
2.002	Switch1	PC0	DNS	
2.002	--	PC0	TCP	<b>Встановлення TCP з'єднання</b>
2.003	PC0	Switch1	TCP	
2.004	--	Switch1	TCP	
2.005	Switch1	Server0	TCP	
2.006	Server0	Switch1	TCP	
2.007	Switch1	PC0	TCP	<b>Відправка по SMTP</b>
2.007	--	PC0	SMTP	
2.008	PC0	Switch1	TCP	
2.008	--	PC0	SMTP	
2.009	PC0	Switch1	SMTP	
2.009	Switch1	Server0	TCP	<b>Завершення TCP з'єднання</b>
2.010	Switch1	Server0	SMTP	
2.011	Server0	Switch1	SMTP	
2.012	Switch1	PC0	SMTP	
2.012	--	PC0	TCP	
2.013	PC0	Switch1	TCP	
2.014	Switch1	Server0	TCP	
2.015	Server0	Switch1	TCP	
2.016	Switch1	PC0	TCP	
2.017	PC0	Switch1	TCP	
2.018	Switch1	Server0	TCP	

Рис. 7 – Відправка листа (User1 → User3)

Далі розглянемо як виглядало отримання листа з PC2([user3@scs.kpi.ua](mailto:user3@scs.kpi.ua)) на рис. 8. Процес отримання електронного листа: DNS-запит, TCP-з'єднання, отримання через POP3, завершення сеансу.



5.985	--	PC2	DNS
5.986	PC2	Switch0	DNS
5.987	Switch0	Router0	DNS
5.988	Router0	Switch1	DNS
5.989	Switch1	Server0	DNS
5.990	Server0	Switch1	DNS
5.991	Switch1	Router0	DNS
5.992	Router0	Switch0	DNS
5.993	Switch0	PC2	DNS
<hr/>			
5.993	--	PC2	TCP
5.994	PC2	Switch0	TCP
5.995	Switch0	Router0	TCP
5.996	Router0	Switch1	TCP
5.997	Switch1	Server0	TCP
5.998	Server0	Switch1	TCP
5.999	--	Switch1	TCP
6.000	Switch1	Router0	TCP
6.001	Router0	Switch0	TCP
6.002	Switch0	PC2	TCP
<hr/>			
6.002	--	PC2	POP3
6.003	PC2	Switch0	TCP
6.003	--	PC2	POP3
6.004	PC2	Switch0	POP3
6.004	Switch0	Router0	TCP
6.005	Switch0	Router0	POP3
6.005	Router0	Switch1	TCP
6.006	Router0	Switch1	POP3
6.006	Switch1	Server0	TCP
6.007	Switch1	Server0	POP3
6.008	Server0	Switch1	POP3
6.009	Switch1	Router0	POP3
6.010	Router0	Switch0	POP3
6.011	Switch0	PC2	POP3
<hr/>			
6.011	--	PC2	TCP
6.012	PC2	Switch0	TCP
6.013	Switch0	Router0	TCP
6.014	Router0	Switch1	TCP
6.015	Switch1	Server0	TCP
6.016	Server0	Switch1	TCP
6.017	Switch1	Router0	TCP
6.018	Router0	Switch0	TCP
6.019	Switch0	PC2	TCP
6.020	PC2	Switch0	TCP
6.021	Switch0	Router0	TCP
6.022	Router0	Switch1	TCP
6.023	Switch1	Server0	TCP

**DNS-запит на сервер**

**Встановлення TCP  
з'єднання**

**Отримання пошти  
за допомогою POP3**

**Завершення TCP  
з'єднання**

*Рис. 8 – Отримання листа (User3 отримує від User1)*

У випадку наведеному раніше надсилання листа відбувається з пошти на пошту одного того ж самого доменного імені, а саме scs.kpi.ua. Розглянемо випадок коли надсилання листа відбувається з одного доменного імені на інше. Відповідно буде відправлення листа від [user1@scs.kpi.ua](#) до [user2@kpi.ua](#), що зображено на рис. 9.

9.998	--	PC0	DNS	Запит клієнту до DNS серверу
9.999	PC0	Switch1	DNS	
10.000	Switch1	Server0	DNS	
10.001	Server0	Switch1	DNS	
10.002	Switch1	PC0	DNS	
10.002	--	PC0	TCP	Встановлення з'єднання TCP між клієнтом та сервером(scs.kpi.ua)
10.003	PC0	Switch1	TCP	
10.004	Switch1	Server0	TCP	
10.005	Server0	Switch1	TCP	
10.006	Switch1	PC0	TCP	
10.006	--	PC0	SMTP	Передача листа на сервер(scs.kpi.ua) по SMTP
10.007	PC0	Switch1	TCP	
10.007	--	PC0	SMTP	
10.008	PC0	Switch1	SMTP	
10.008	Switch1	Server0	TCP	
10.009	Switch1	Server0	SMTP	
10.009	--	Server0	DNS	
10.009	--	PC0	TCP	
10.010	Server0	Switch1	SMTP	
10.010	PC0	Switch1	TCP	
10.011	Switch1	PC0	SMTP	DNS-запит серверу(scs.kpi.ua) для пошуку kpi.ua
10.011	Switch1	Server0	TCP	
10.012	--	Server0	DNS	
10.012	--	Server0	DNS	
10.012	--	Server0	TCP	
10.012	Server0	Switch1	TCP	Встановлення з'єднання TCP між сервером(scs.kpi.ua) та сервером(kpi.ua)
10.012	--	Server0	TCP	
10.013	Server0	Switch1	TCP	
10.013	Switch1	PC0	TCP	
10.014	Switch1	Router0	TCP	
10.015	Router0	Switch2	TCP	
10.016	Switch2	Server1	TCP	
10.017	Server1	Switch2	TCP	
10.018	Switch2	Router0	TCP	
10.019	Router0	Switch1	TCP	
10.020	Switch1	Server0	TCP	Передача листа на сервер(kpi.ua) по SMTP
10.020	--	Server0	SMTP	
10.021	Server0	Switch1	TCP	
10.021	--	Server0	SMTP	
10.022	Server0	Switch1	SMTP	
10.022	Switch1	Router0	TCP	
10.023	Switch1	Router0	SMTP	
10.023	Router0	Switch2	TCP	
10.024	Router0	Switch2	SMTP	
10.024	Switch2	Server1	TCP	
10.025	Switch2	Server1	SMTP	Завершення TCP з'єднання
10.026	Server1	Switch2	SMTP	
10.027	Switch2	Router0	SMTP	
10.028	Router0	Switch1	SMTP	
10.029	Switch1	Server0	SMTP	
10.029	--	Server0	TCP	
10.030	Server0	Switch1	TCP	
10.031	Switch1	Router0	TCP	
10.032	Router0	Switch2	TCP	
10.033	Switch2	Server1	TCP	
10.034	Server1	Switch2	TCP	
10.035	Switch2	Router0	TCP	
10.036	Router0	Switch1	TCP	
10.037	Switch1	Server0	TCP	
10.038	Server0	Switch1	TCP	
10.039	Switch1	Router0	TCP	
10.040	Router0	Switch2	TCP	
10.041	Switch2	Server1	TCP	

Рис. 9 – Передача між доменами ( $user1@scs.kpi.ua \rightarrow user2@kpi.ua$ )

Відповідно між рис. 7 та рис. 9 можна побачити різницю в кроках надсилення листа. У випадку передачі між доменами, відбувається передача листа від одного поштового серверу до іншого за допомогою SMTP, з'являються додаткові DNS-запити та створюється додаткове TCP з'єднання. Розглянемо отримання листа, де, як можна побачити на рис. 10, майже відсутня різниця відносно рис. 8.

11.997	--	PC1	DNS	DNS-запит до серверу
11.998	PC1	Switch2	DNS	
11.999	Switch2	Server1	DNS	
12.000	Server1	Switch2	DNS	
12.001	Switch2	PC1	DNS	
12.001	--	PC1	TCP	Встановлення TCP з'єднання
12.002	PC1	Switch2	TCP	
12.003	Switch2	Server1	TCP	
12.004	Server1	Switch2	TCP	
12.005	Switch2	PC1	TCP	
12.005	--	PC1	POP3	Отримання листа за допомогою POP3
12.006	PC1	Switch2	TCP	
12.006	--	PC1	POP3	
12.007	PC1	Switch2	POP3	
12.007	Switch2	Server1	TCP	
12.008	Switch2	Server1	POP3	Завершення TCP з'єднання
12.009	Server1	Switch2	POP3	
12.010	Switch2	PC1	POP3	
12.010	--	PC1	TCP	
12.011	PC1	Switch2	TCP	
12.012	Switch2	Server1	TCP	
12.013	Server1	Switch2	TCP	
12.014	Switch2	PC1	TCP	
12.015	PC1	Switch2	TCP	
12.016	Switch2	Server1	TCP	

Рис. 10 – Отримання листа на [user2@kpi.ua](mailto:user2@kpi.ua)

При дослідженні процесу передавання електронної пошти було виявлено, що взаємодія між поштовими клієнтами та серверами залежить від домену одержувача. У випадку локального передавання ([user1@scs.kpi.ua](mailto:user1@scs.kpi.ua) → [user3@scs.kpi.ua](mailto:user3@scs.kpi.ua)) використовується спрощена комунікація, тоді як міждоменне передавання ([user1@scs.kpi.ua](mailto:user1@scs.kpi.ua) → [user2@kpi.ua](mailto:user2@kpi.ua)) потребує додаткових мережевих операцій, що можна побачити на табл. 1.

#### 1. Передача листа в межах одного домену ([scs.kpi.ua](mailto:scs.kpi.ua))

Типові пакети:

- DNS-запит: Визначає IP-адресу поштового сервера [scs.kpi.ua](mailto:scs.kpi.ua).
- TCP SYN, SYN-ACK, ACK: Встановлення TCP-з'єднання між клієнтом і сервером.
- SMTP-пакети: Передача електронного листа на сервер [scs.kpi.ua](mailto:scs.kpi.ua).
- POP3-запит: Отримання листа користувачем User3 після авторизації.
- TCP-завершення (FIN, ACK): Закриття з'єднання після отримання повідомлення.

Ключова особливість:

- Уся передача відбувається всередині однієї поштової системи, тому лист не виходить за межі сервера [scs.kpi.ua](mailto:scs.kpi.ua).
- Немає потреби у додаткових DNS-запитах та міжсерверних з'єднаннях.

#### 2. Передача листа між різними доменами ([scs.kpi.ua](mailto:scs.kpi.ua) → [kpi.ua](mailto:kpi.ua))

Типові пакети:

- DNS-запит (від клієнта): Визначає IP-адресу поштового сервера [scs.kpi.ua](mailto:scs.kpi.ua).
- TCP SYN, SYN-ACK, ACK: Встановлення TCP-з'єднання між клієнтом і сервером [scs.kpi.ua](mailto:scs.kpi.ua).

- SMTP-пакети: Надсилання листа на scs.kpi.ua.
- DNS-запит (від Server0): Визначення IP-адреси поштового сервера kpi.ua.
- TCP SYN, SYN-ACK, ACK: Встановлення з'єднання між scs.kpi.ua та kpi.ua.
- SMTP-пакети: Пересилання листа з scs.kpi.ua на kpi.ua.
- POP3-запит: Отримання листа користувачем User2 через сервер kpi.ua.
- TCP-завершення (FIN, ACK): Закриття сесії після передачі повідомлення.

Ключова особливість:

- Перед передаванням між серверами виконується додатковий DNS-запит, щоб знайти поштовий сервер домену kpi.ua.
- Відбувається два етапи SMTP-комунікації:
  - User1 відправляє лист на локальний сервер (scs.kpi.ua).
  - scs.kpi.ua пересилає лист на сервер kpi.ua.
- Збільшена кількість мережевих транзакцій через необхідність передачі між двома доменами.

Табл. 1 – Порівняння локальної та міждоменної передачі

Параметр	scs.kpi.ua → scs.kpi.ua	scs.kpi.ua → kpi.ua
DNS-запити	1 (для клієнта)	2 (для клієнта та сервера)
SMTP-сеанси	1 (клієнт → сервер)	2 (клієнт → сервер → сервер)
TCP-з'єднання	1 (клієнт → сервер)	2 (клієнт → сервер → сервер)
Час передачі	Менший (локальна доставка)	Довший (міжсерверна передача)

## ***Висновок***

У ході виконання лабораторної роботи було досліджено процес передачі електронної пошти за допомогою протоколів SMTP та POP3, а також їхню взаємодію з мережевими протоколами DNS, TCP та ARP.

Було побудовано тестову мережу, налаштовано поштові сервери та DNS-сервери, а також змодельовано процес відправлення та отримання електронного листа між користувачами в межах одного домену (scs.kpi.ua) та між різними доменами (scs.kpi.ua → kpi.ua).

Аналіз мережевого трафіку показав, що локальна передача електронної пошти відбувається простіше та швидше, оскільки лист залишається в межах одного поштового сервера. Натомість міждоменна передача потребує додаткових DNS-запитів, встановлення TCP-з'єднання між двома серверами та передачі листа через кілька SMTP-сеансів, що збільшує кількість мережових транзакцій та загальний час доставки.

Також було виявлено, що на кожному етапі комунікації використовуються допоміжні протоколи, такі як DNS (для визначення IP-адрес поштових серверів) та ARP (для отримання MAC-адрес у локальній мережі).

Отримані результати підтвердили теоретичні знання про роботу поштових протоколів та дозволили відстежити весь цикл передавання листа в комп'ютерній мережі. Це продемонструвало важливість коректного налаштування серверів та протоколів для забезпечення ефективного функціонування електронної пошти.