

Konfigurácia protokolu LISP

Úvod

Protokol LISP (angl. *Locator ID separation protocol*) patrí do kategórie tzv. protokolov pracujúcich v abstraktnej/logickej (angl. *overlay*) vrstve počítačovej siete. Jeho funkčnosť je značne odlišná od tradičných smerovacích protokolov. Tento protokol je svojou architektúrou možné porovnať s protokolom DNS, kde je možné nájsť mapovací server, ktorý je možné považovať za riadiaci prvok smerovacieho procesu. Existencia mapovacieho servera zároveň umožňuje vytvárať topológie, ktoré svojou funkčnosťou pripomínajú štandardnú architektúru SDN (angl. *software defined networking*).

Hlavnou úlohou protokolu LISP je vytvárať dynamické virtuálne tunely medzi koncovými sieťovými zariadeniami, čím je umožnené vytváranie logických prepojení, ktoré vytvárajú logickú reprezentáciu siete. Táto logická reprezentácia umožňuje zanedbať komplexnosť existujúcej fyzickej topológie, čím sa zjednoduší celková správa a aplikácia rôznych politík pre riadenie komunikácie.

Protokolom LISP je zároveň možné výrazné šetrenie zdrojov v podobe redukcie smerovacích tabuliek. Táto redukcia je možná vďaka tomu, že v kontexte tohto protokolu sú koncové zariadenia definované dvojicou identifikátorov a to tzv. EID (angl. *Endpoint ID*) a RLOC (angl. *Routing Locator*). Prvý atribút predstavuje súkromnú IP adresu koncového zariadenia. Druhý atribút predstavuje IP adresu smerovača, ktorý je, pre koncové zariadenie, bránou do sieťovej infraštruktúry. Smerovač po prijatí paketu od koncového zariadenia daný paket zapuzdrí (pridá novú hlavičku, ktorá bude slúžiť na transport dát v sieťovej topológii) a využitím dynamického tunelu paket doručí na cieľový smerovač, za ktorým sa nachádza cieľové koncové zariadenie. Cieľový smerovač paket odbalí a doručí v pôvodnej podobe na cieľové zariadenie. Túto funkcionality je možné porovnať s NAT mechanizmom. V tomto prípade sa ale nejedná o preklad adres ale len o pridanie nových hlavičiek potrebných pre transport.

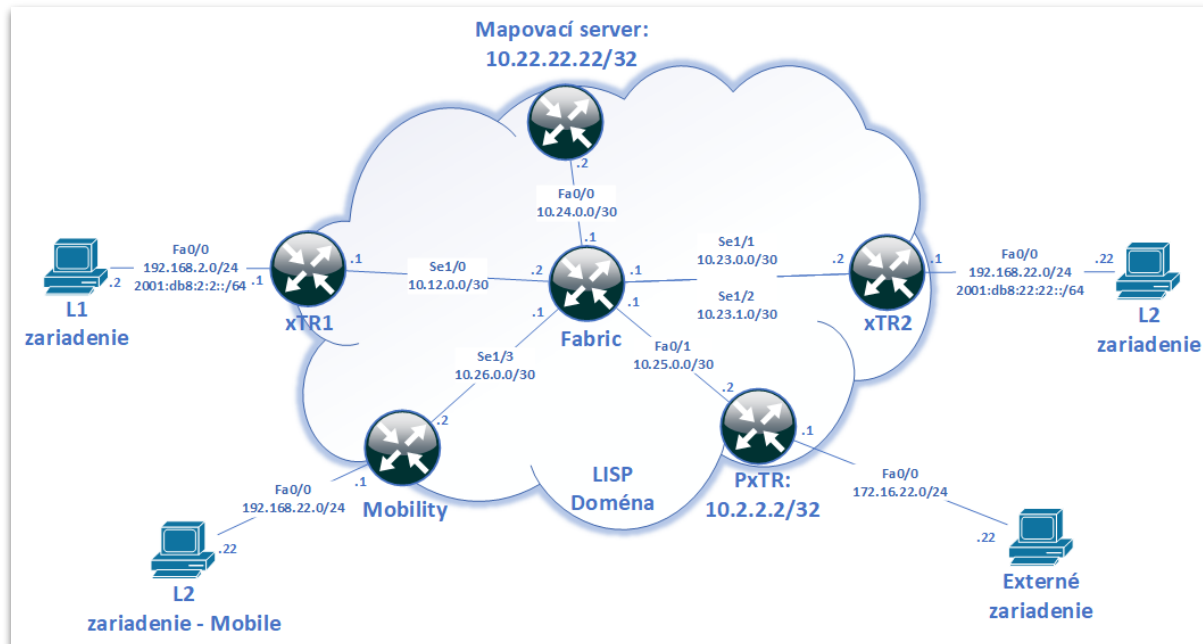
Táto kapitola predstavuje návod pre konfiguráciu protokolu LISP. Ukázané sú hlavné funkcionality tohto protokolu potrebné pre efektívnu funkčnosť SDN. Jedná sa o nasledujúce funkcie:

0. Konfigurácia protokolu OSPF
1. Základná konfigurácia protokolu LISP
2. Prenos IPv6 komunikácie cez IPv4 sieťovú infraštruktúru
3. Rozkladanie záťaže (multihoming)
4. Komunikácia s externými sieťami mimo LISP domény
5. Mobilita

Vysvetlenie problematiky je založené na zadaní úlohy, komentára k procesom bežiacim na pozadí, ukážke vzorovej konfigurácie s detailným popisom príkazov a očakávaných výstupov. Súčasťou návodov sú aj ukážky z nástroja *Wireshark*.

Topológia

Sieťovú topológiu, využívanú pre demonštráciu konfigurácie protokolu LISP, zobrazuje obrázok 4.1:



Obrázok 4.1 Topológia navrhnutá pre prácu s protokolom LISP

Topológia pozostáva zo 6 smerovačov a troch koncových zariadení (Zariadenie **L2 - Mobile** bude využité na ukážku mobility. Nejedná sa o nové zariadenie, len o zmenu polohy **L2** zariadenia.). Smerovač **Fabric** predstavuje štandardnú sieťovú infraštruktúru, ktorá nevie o existencii protokolu LISP. Zvyšok smerovačov priamo participuje na smerovaní využitím protokolu LISP.

Zariadenia **xTR1** a **xTR2** slúžia ako koncové body pre vytvorenie dynamického tunelu zabezpečujúceho komunikáciu medzi zariadeniami **L1** a **L2**. Tieto zariadenia zároveň registrujú, na **Mapovací server**, mapovanie medzi EID a RLOC adresou koncových zariadení. Napr. **xTR1** bude registrovať (192.168.2.0/24 ↔ 10.12.0.1), kde adresa 10.12.0.1 bude použitá na smerovanie dát sieťovou infraštruktúrou. Medzi zariadením **xTR2** a **Fabric** sa nachádza dvojica prepojení, ktorá bude neskôr využitá na ukážku „Multihoming-u“ a rozkladania záťaže.

Zariadenie **Mapovací server** uchováva mapovacie záznamy medzi všetkými EID a príslušnými RLOC identifikátormi.

PxTR je zariadenie slúžiace ako proxy služba pre účely umožnenia komunikácie medzi LISP sieťami a externými sieťami.

Zariadenie **Mobility** umožní ukážku zmeny polohy zariadenia **L2**, pričom dôjde k automatizovanej registrácii danej IP adresy na **Mapovací server**, ktorý následne umožní získať nový mapovací záznam s aktualizovanou informáciou o novom umiestnení zariadenia **L2**.

Adresácia siete

Sieťová topológia obsahuje informácie o sieťovej adresácii všetkých zariadení ako pre protokol IPv4, tak aj pre protokol IPv6. Pre prehľadnosť je možné nájsť adresy a masky konkrétnych rozhraní aj v nasledujúcej tabuľke:

Zariadenie	Rozhranie	IPv4 adresácia	IPv6 adresácia
Mapovací server	Loop 22	10.22.22.22/32	
	Fa0/0	10.24.0.2/30	
xTR1	Fa0/0	192.168.2.1/24	2001:db8:2:2::1/64
	Se1/0	10.12.0.1/30	
Fabric	Fa0/0	10.24.0.1/30	
	Fa0/1	10.25.0.1/30	
	Se1/0	10.12.0.2/30	
	Se1/1	10.23.0.1/30	
	Se1/2	10.23.1.1/30	
	Se1/3	10.26.0.1/30	
xTR2	Fa0/0	192.168.22.1/24	2001:db8:22:22::1/64
	Se1/0	10.23.0.2/30	
	Se1/2	10.23.1.1/30	
PxTR	Loop 22	10.2.2.2/32	
	Fa0/0	172.16.22.1/24	
	Fa0/1	10.25.0.2/30	
Mobility	Fa0/0	192.168.22.1/24	
	Se1/3	10.26.0.2/30	
L1	NIC	192.168.2.2/24	2001:db8:2:2::2/64
L2	NIC	192.168.22.22/24	2001:db8:22:22::22/64
Externé zariadenie	NIC	172.16.22.22/24	

Pre jednoduchšiu orientáciu a prácu s IP adresami bol zvolený nasledujúci prístup. Adresy, ktoré majú v prvom oktete hodnotu 10 slúžia na komunikáciu medzi smerovačmi. Tieto adresy sa zároveň pre umožnenie vzájomnej dosiahnuteľnosti všetkých zariadení oznamujú do „*underlay*“ smerovacieho protokolu. V našom prípade bol za „*underlay*“ protokol zvolený OSPF (angl. *Open shortest path first*). Adresy z tohto rozsahu zároveň slúžia ako RLOC identifikátor pre príslušné EID siete.

Adresy, ktoré majú v prvých dvoch oktetoch hodnoty **192.168.** slúžia ako EID identifikátory koncových zariadení. Dosiahnuteľnosť týchto adries je zabezpečovaná protokolom LISP.

Rozsah adries začínajúcich na **172.16.** predstavuje externé siete, ktoré nie sú oznamované do protokolu LISP.

IPv6 adresácia sa používa len na zariadeniach **L1** a **L2** ako EID identifikátor a zároveň na zariadeniach **xTR1** a **xTR2**, kde slúžia ako adresa brány.

Základná konfigurácia adresácie sieťových zariadení

Vytvorená sieťová topológia v emulátore GNS3 už obsahuje základnú konfiguráciu adresácie na sieťových zariadeniach. Pre prípad potreby vytvorenia novej topológie je v tejto sekcii možné nájsť skripty pre konfiguráciu adresácie všetkých sieťových zariadení.

Konfigurácia koncových zariadení:

Na koncových zariadeniach (PC) je potrebné nakonfigurovať IP adresu, masku a bránu:

L1:

```
ip 192.168.2.2 255.255.255.0 192.168.2.1
ip 2001:db8:2:2::2/64 2001:db8:2:2::1
show ip / show ipv6
```

L2:

```
ip 192.168.22.22 255.255.255.0 192.168.22.1
ip 2001:db8:22:22::22/64 2001:db8:22:22::1
```

Externé:

```
ip 172.16.22.22 255.255.255.0 172.16.22.1
```

Konfigurácia sieťových zariadení:

Mapovací server:

```
hostname Mapping_Server
!Základná konfigurácia IP adresy
int fa0/0
    ip add 10.24.0.2 255.255.255.252
    no sh
int loo 22
    ip add 10.22.22.22 255.255.255.255
```

xTR1:

```
hostname xTR1
!Základná konfigurácia IP adresy
int fa0/0
    ip add 192.168.2.1 255.255.255.0
    no sh
int se1/0
    ip add 10.12.0.1 255.255.255.252
    no sh
```

xTR2:

```
hostname xTR2
!Základná konfigurácia IP adresy
int se1/1
    ip add 10.23.0.2 255.255.255.252
    no sh
int se1/2
    ip add 10.23.1.2 255.255.255.252
    no sh
int fa0/0
    ip add 192.168.22.1 255.255.255.0
    no sh
```

Fabric:

```
hostname Fabric
!Zakladna konfiguracia IP adries
int se1/0
    ip add 10.12.0.2 255.255.255.252
    no sh
int fa0/0
    ip add 10.24.0.1 255.255.255.252
    no sh
int se1/1
    ip add 10.23.0.1 255.255.255.252
    no sh
int se1/2
    ip add 10.23.1.1 255.255.255.252
    no sh
int se1/3
    ip add 10.26.0.1 255.255.255.252
    no sh
int fa0/1
    ip add 10.25.0.1 255.255.255.252
    no sh
```

Mobility:

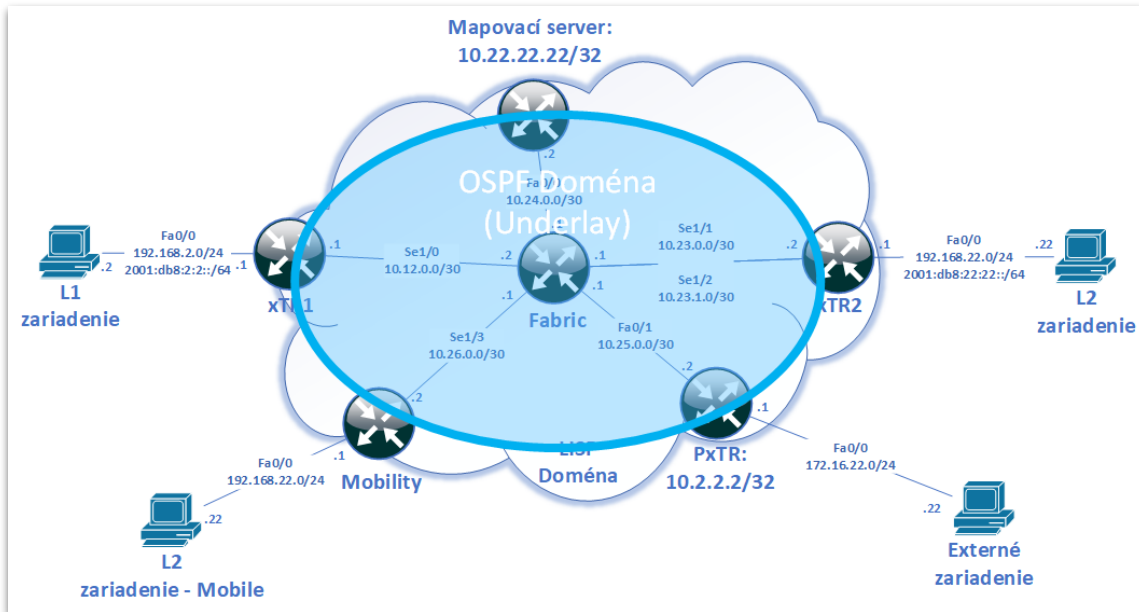
```
hostname Mobility
!Zakladna konfiguracia
int se1/3
    ip add 10.26.0.2 255.255.255.252
    no sh
int fa0/0
    ip add 192.168.22.1 255.255.255.0
    no sh
```

PxTR:

```
hostname PxTR
!Zakladna konfiguracia IP adries
int fa0/1
    ip add 10.25.0.2 255.255.255.252
    no sh
int loo 2
    ip add 10.2.2.2 255.255.255.255
int fa0/0
    ip add 172.16.22.1 255.255.255.0
    no sh
```

Úloha 0: Konfigurácia protokolu OSPF

Pred samotnou implementáciou logickej reprezentácie siete v podobe protokolu LISP je najskôr potrebné vytvoriť a nakonfigurovať fyzickú sieťovú topológiu, ktorá slúži na doručenie dát medzi jednotlivými smerovačmi. Ako „underlay“ smerovací protokol je možné zvoliť ktorýkoľvek z tradičných smerovacích protokolov, medzi ktoré patria protokoly OSPF, EIGRP, IS-IS, RIP. V rámci tohto manuálu sa používa protokol OSPF. Do tohto protokolu je potrebné oznámiť všetky rozhrania, ktoré spadajú do adresného rozsahu, kde sa v prvom oktete adresy nachádza číslo 10. Do protokolu nebudú oznamované siete, kde sa nachádzajú zariadenia **L1**, **L2** a **Externé**. Pre lepšiu názornosť je uvedená nasledujúca topológia označujúca OSPF doménu zobrazená na obrázku 4.2:



Obrázok 4.2 Topológia s označenou OSPF doménou

Pre prepojenie smerovačov boli zvolené podsiete z rozsahu siete 10.0.0.0/8 z toho dôvodu, aby bolo možné zjednodušiť konfiguráciu protokolu LISP a nevznikali chyby z nepozornosti pri definovaní „network“ príkazov. Vďaka tomuto návrhu stačí na každom smerovači zadať jeden „network“ príkaz oznamujúci celý 10.0.0.0/8 rozsah, ktorým sa oznámia do protokolu OSPF všetky potrebné rozhrania. Keďže zariadenie **PxTR** predstavuje výstup z OSPF a LISP domény, tak na tomto smerovači je tiež potrebné oznamovať, do protokolu OSPF, predvolenú cestu. Skripty pre konfiguráciu protokolu LISP pre každé zariadenie je možné nájsť v nasledujúcej sekcii:

Mapovací server:

```
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

xTR1:

```
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

xTR2:

```
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

Fabric:

```
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

Mobility:

```
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
 network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

PxTR:

```
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
 network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
 default-information originate always
```

Po vykonaní uvedenej konfigurácie by mali mať všetky smerovače informácie potrebné na dosiahnutie zvyšných smerovačov. Nasledujúci výpis predstavuje vzorový výstup zo smerovacej tabuľky pre protokol OSPF zo zariadenia **xTR1**:

```
xTR1(config)#do sh ip route ospf
Gateway of last resort is 10.12.0.2 to network 0.0.0.0

O*E2  0.0.0.0/0 [110/1] via 10.12.0.2, 00:00:29, Serial1/0
      10.0.0.0/8 is variably subnetted, 8 subnets, 2 masks
O      10.2.2.2/32 [110/66] via 10.12.0.2, 00:00:29, Serial1/0
O      10.22.22.22/32 [110/66] via 10.12.0.2, 00:00:39, Serial1/0
O      10.23.0.0/30 [110/128] via 10.12.0.2, 00:01:29, Serial1/0
O      10.23.1.0/30 [110/128] via 10.12.0.2, 00:01:29, Serial1/0
O      10.24.0.0/30 [110/65] via 10.12.0.2, 00:01:29, Serial1/0
O      10.25.0.0/30 [110/65] via 10.12.0.2, 00:01:29, Serial1/0
```

Úloha 1: Základná konfigurácia protokolu LISP

Základná funkcia protokolu LISP spočíva vo vytvorení dynamického tunela pri komunikácii medzi dvoma vzdialenými zariadeniami využitím ich EID identifikátorov. Vďaka oddeleniu identifikátora polohy (*RLOC*) a samotného zariadenia (*EID*), nastáva v rámci veľkostí smerovacích tabuliek značné šetrenie zdrojov.

Proces komunikácie využitím protokolu LISP je možné opísať nasledujúcou postupnosťou krokov, ktorá uvádza scenár potrebný pri komunikácii medzi **L1** a **L2** zariadením:

1. Zariadenie **L1** pošle DNS žiadosť na nájdenie A/AAAA záznamu o zariadení **L2**, čím získa hodnotu cieľového EID, čo je v našom prípade IP adresa 192.168.22.22.
2. Zariadenie **xTR1** skontroluje lokálnu LISP vyrovnávaciu pamäť, a ak nepozná mapovanie cieľového EID na cieľový RLOC záznam, potom o tieto údaje požiada **Mapovací server**.
3. Poslanie požiadavky o mapovanie sa realizuje správou Map-Request, ktorá je odoslaná na **Mapovací server**, alebo cieľové **xTR2**, ktoré to spracujú ako riadiacu správu.
4. Cieľové **xTR2** alebo **Mapovací server** skontrolujú cieľové EID v žiadosti, a ak nájdu zhodu, potom vrátia príslušné mapovanie. V našom prípade bude vrátené 192.168.22.22 ↔ 10.23.0.1.
5. Zariadenie **xTR1** prijme odpoveď, skontroluje štruktúru prijatej správy a uloží mapovací záznam do vyrovnávacej pamäte.
6. Ďalšie pakety sú zapuzdrené (je pridaná nová hlavička obsahujúca zdrojový a cieľový RLOC identifikátor, ktoré slúžia na doručenie dát na cieľové **xTR2** zariadenie) na základe získaných údajov a odoslané cieľovému **xTR2** zariadeniu.
7. **xTR2** zariadenie odstráni vonkajšie záhlavie a paket doručí bežným spôsobom.
8. Aby nebolo nutné vykonať opačný proces, tak **xTR2** prehľadom LISP hlavičky získa cieľové EID-RLOC mapovanie pre spätné mapovanie.

Principiálne vysvetlenie konfigurácie:

Spĺnenie tejto úlohy vyžaduje konfiguráciu troch zariadení a to **xTR1**, **xTR2** a **Mapovacieho servera**.

Na zariadení, ktoré plní úlohu Mapovacieho servera je potrebné spustiť funkciu map-server (umožní prijímať mapovacie záznamy – registráciu mapovania od ETR zariadenia) a funkciu map-resolver (umožní odpovedať na požiadavky o mapovanie odoslané ITR zariadením). Ďalej je na **serveri** potrebné vytvoriť očakávané LISP siete a priradiť im EID identifikátor, autentifikačný údaj (zabezpečí, že mapovací záznam môžu registrovať len autentifikované zariadenia) a voliteľný popis. Dôležitý fakt je, že na **Mapovacom serveri** sa nedefinuje kompletne mapovanie ale len očakávané EID identifikátory LISP siete. Mapovacia databáza sa vytvára až neskôr, vo chvíli, keď ETR zariadenie vytvorí mapovací záznam a zaregistruje mapovanie pre svoju EID sieť s prislúchajúcim RLOC identifikátorom určujúcim polohu. RLOC identifikátor predstavuje niektorú z IP adries koncového smerovača, ktorá je dosiahnuteľná v rámci LISP domény – v našom prípade je adresa tohto rozhrania oznamovaná do smerovacieho protokolu OSPF.

Zariadenia **xTR1** a **xTR2** predstavujú začiatok a koniec komunikačného tunela. Obe zariadenia plnia úlohu vstupu do tunela, kedy pridávajú LISP hlavičku a RLOC adresáciu a zároveň plnia úlohu výstupu z tunela, kde hlavičky odoberajú. Na oboch zariadeniach teda musí byť spustená ITR aj ETR funkcionality. Funkcia ITR v prípade potreby zabezpečí získanie mapovacieho záznamu zo zariadenia map-resolver, ktoré je potrebné definovať konfiguráciou jeho IP adresy. Na druhej strane funkcia ETR umožňuje registrovať mapovací záznam na zariadenie plniace úlohu mapovacieho servera, čo vyžaduje konfiguráciu IP adresy aj pre **Mapovací server**. V tomto prípade je navyše potrebné špecifikovať aj autentifikačný údaj, aby bola zabezpečená autentifikácia registrujúcich zariadení a nebolo možné registrovať falošné záznamy. Poslednou konfiguráciou na ETR zariadení je konfigurácia mapovacieho záznamu, ktorý pozostáva z definovania EID identifikátora, RLOC identifikátora a hodnoty priority a váhy pre daný mapovací záznam. Priorita a váha sú neskôr využité pre účely rozkladania záťaže.

Konfigurácia **Mapovacieho servera** a zariadení **xTR1** a **xTR2** je uvedená v nasledujúcej sekcii:

Mapovací server:

```
!Uloha1: Nasadenie LISP sieti
router lisp
  site L1
    description xTR1
    authentication-key L1_pass
    eid-prefix 192.168.2.0/24
  site L2
    description xTR2
    authentication-key L2_pass
    eid-prefix 192.168.22.0/24
  ipv4 map-server
  ipv4 map-resolver
```

Po uvedenej konfigurácii je možné skontrolovať vytvorenie záznamov LISP sietí:

Mapping_Server#show lisp site

LISP Site Registration Information

Site Name	Last Register	Up	Who Last Registered	Inst ID	EID Prefix
L1	never	no	--		192.168.2.0/24
L2	never	no	--		192.168.22.0/24

Ako je možné vidieť, tak v tejto chvíli server pozná len EID prefixy. Neskôr po nakonfigurovaní **xTR** zariadení budú postupne registrované kompletne mapovacie záznamy.

Pre lepšie pochopenie danej problematiky a súvislostí je najskôr ukázané čo spôsobí konfigurácia na **prvom xTR** zariadení a neskôr bude ukázaný dopad nakonfigurovania **druhého xTR** zariadenia.

Konfigurácia zariadenia **xTR1** je uvedená v nasledujúcom výpise:

```
xTR1:
!Uloha1: Nasadenie LISP siete
router lisp
  database-mapping 192.168.2.0/24 10.12.0.1 priority 22 weight 13
  ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
  ipv4 itr
  ipv4 etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
  ipv4 etr
```

Od tejto chvíle začne **xTR1** odosielať každých 60s záznam (v podobe správy Map-Register) na **Mapovací server** s mapovaním, že k EID 192.168.2.0/24 prislúcha RLOC identifikátor 10.12.0.1.

Upozornenie: Ak bude chcieť niekto komunikovať so zariadením spadajúcim do LISP siete 192.168.2.0/24, tak mu stačí dať vedieť, že sa táto sieť nachádza za smerovačom, ktorý vlastní IP adresu 10.12.0.1.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
21	40.964399	10.12.0.1	10.22.22.22	LISP		96 Map-Register for 192.168.2.0/24

```
> Frame 21: 96 bytes on wire (768 bits), 96 bytes captured (768 bits) on interface -, id 0
> Cisco HDLC
> Internet Protocol Version 4, Src: 10.12.0.1, Dst: 10.22.22.22
> User Datagram Protocol, Src Port: 4342, Dst Port: 4342
▼ Locator/ID Separation Protocol
  0011 .... = Type: Map-Register (3)
  .... = P bit (Proxy-Map-Reply): Not set
  .... = S bit (LISP-SEC capable): Not set
  .... = I bit (xTR-ID present): Not set
  .... = R bit (Built for an RTR): Not set
  .... 0000 0000 0000 0000 = Reserved bits: 0x0000
  .... = M bit (Want-Map-Notify): Not set
Record Count: 1
Nonce: 0xbbc4da13aa482516
Key ID: 0x0001
Authentication Data Length: 20
Authentication Data: 0ba33f9b3a516db1ffb770d437d6d866c318fa18
▼ Mapping Record 1, EID Prefix: 192.168.2.0/24 TTL: 1440, Action: No-Action, Authoritative
  Record TTL: 1440
  Locator Count: 1
  EID Mask Length: 24
  000. .... = Action: No-Action (0)
  ...1 .... = Authoritative bit: Set
  .... 000 0000 0000 = Reserved: 0x000
  0000 .... = Reserved: 0x0
  .... 0000 0000 0000 = Mapping Version: 0
  EID Prefix AFI: IPv4 (1)
  EID Prefix: 192.168.2.0
▼ Locator Record 1, Local RLOC: 10.12.0.1 Reachable, Priority/Weight: 22/13, Multicast Priority/Weight: 255/0
  Priority: 22
  Weight: 13
  Multicast Priority: 255
  Multicast Weight: 0
> Flags: 0x0005
  AFI: IPv4 (1)
  Locator: 10.12.0.1
```

Obrázok 4.3 Odchytenie registračného paketu protokolu LISP v nástroji Wireshark

Uvedený proces registrácie mapovacieho záznamu je možné vidieť aj po odchytení LISP paketu na prepojení medzi **xTR1** a **Fabric**, čo znázorňuje obrázok 4.3.

Podobne je možné vidieť zmenu aj vo výpise na **Mapovacom serveri**, v ktorom je uvedené, že došlo k registrácii novej mapovacej informácie:

```
Mapping_Server#show lisp site
LISP Site Registration Information

Site Name      Last Register  Up   Who Last Registered  Inst ID  EID Prefix
L1             00:00:33      yes  10.12.0.1           192.168.2.0/24
L2             never         no   --                  192.168.22.0/24
```

Celú mapovaciu informáciu je možné zobraziť po zvolení konkrétneho EID prefixu:

```
Mapping_Server#show lisp site 192.168.2.0
LISP Site Registration Information

Site name: L1
Description: xTR1
Allowed configured locators: any
Requested EID-prefix:
  EID-prefix: 192.168.2.0/24
  First registered: 00:21:32
  Routing table tag: 0
  Origin: Configuration
  Merge active: No
  Proxy reply: No
  TTL: 1d00h
  State: complete
Registration errors:
  Authentication failures: 6
  Allowed locators mismatch: 0
ETR 10.12.0.1, last registered 00:00:51, no proxy-reply, no map-notify
  TTL 1d00h, no merge, nonce 0xBBC4DA13-0xAA482516
  state complete
Locator Local State Pri/Wgt
10.12.0.1 yes up 22/13
```

Úspešnosť procesu mapovania je možné overiť aj zo samotného **xTR** zariadenia nástrojom LIG, ktorý odošle požiadavku na server na zistenie mapovania pre vlastné EID. Úspešná odpoveď je nasledovná:

```
xTR1#lig self
Mapping information for EID 192.168.2.0 from 10.12.0.1 with RTT 84 msecs
192.168.2.0/24, uptime: 00:00:00, expires: 23:59:52, via map-reply, self
Locator Uptime State Pri/Wgt
10.12.0.1 00:00:00 up, self 22/13
```

Smerovače pracujúce ako ITR uchovávajú záznamy o známych mapovaniach v lokálnej map-cache pamäti. Záznamy v tejto pamäti však expirujú po 24 hodinách. Mapovacie záznamy sa nevytvárajú automaticky pri zmene databázy na **Mapovacom serveri**, ale zariadenie ITR v prípade potreby komunikácie s externým EID najskôr skontroluje lokálnu map-cache, aby zistil cieľový RLOC, a v prípade neexistencie záznamu v lokálnej databáze odošle požiadavku na **Mapovací server**. Zobrazenie lokálnej map-cache zariadenia **xTR1** je zobrazené v nasledujúcom výpise:

```
xTR1#show ip lisp map-cache
LISP IPv4 Mapping Cache for EID-table default (IID 0), 2 entries

0.0.0.0/0, uptime: 00:29:38, expires: never, via static send map-request
Negative cache entry, action: send-map-request
192.168.2.0/24, uptime: 00:04:33, expires: 23:55:19, via map-reply, self
Locator Uptime State Pri/Wgt
10.12.0.1 00:04:33 up, self 22/13
```

Ako je možné vidieť, tak zariadenie **xTR1** zatiaľ obsahuje mapovanie len pre lokálne EID a pre neznáme EID má odoslať map-request.

Pokračujme konfiguráciou zariadenia **xTR2**:

xTR2:

!Úloha1: Nasadenie LISP siete

```
router lisp
  database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.0.2 priority 2 weight 2
  ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
  ipv4 itr
  ipv4 etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
  ipv4 etr
```

Po tejto konfigurácii je možné skontrolovať databázu na [Mapovacom serveri](#), ktorá už bude obsahovať registrované mapovania pre všetky EID:

Mapping_Server#show lisp site

LISP Site Registration Information

Site Name	Last Register	Up	Who Last Registered	Inst ID	EID Prefix
L1	00:00:34	yes	10.12.0.1		192.168.2.0/24
L2	00:00:12	yes	10.23.1.2		192.168.22.0/24

Od tejto chvíle by mala fungovať komunikácia medzi zariadeniami **L1** a **L2** využitím EID adres. Niekoľko prvých správ bude pri prvotnej komunikácii zahodených, čo je spôsobené potrebou získania mapovania existencie externých EID.

Po vygenerovaní komunikácie zo zariadenia **L1** na IPv4 adresu 192.168.22.22 (zariadenie **L2**) je možné skontrolovať obohatenú lokálnu map-cache zariadenia **xTR1**. Očakávaný stav je nasledovný:

xTR1#show ip lisp map-cache

LISP IPv4 Mapping Cache for EID-table default (IID 0), 3 entries

```
0.0.0.0/0, uptime: 01:02:12, expires: never, via static send map-request
Negative cache entry, action: send-map-request
192.168.2.0/24, uptime: 00:37:07, expires: 23:22:45, via map-reply, self
Locator    Uptime    State    Pri/Wgt
10.12.0.1  00:37:07  up, self 22/13
192.168.22.0/24, uptime: 00:01:54, expires: 23:57:58, via map-reply, complete
Locator    Uptime    State    Pri/Wgt
10.23.0.2  00:01:54  up       2/2
```

Podobný výstup je možné očakávať aj na zariadení **xTR2**:

xTR2#sh ip lisp map-cache

LISP IPv4 Mapping Cache for EID-table default (IID 0), 2 entries

```
0.0.0.0/0, uptime: 00:11:00, expires: never, via static send map-request
Negative cache entry, action: send-map-request
192.168.2.0/24, uptime: 00:04:12, expires: 23:55:40, via map-reply, complete
Locator    Uptime    State    Pri/Wgt
10.12.0.1  00:04:12  up       22/13
```

Jediným rozdielom je, že zariadenie **xTR2** nemá záznam o lokálnom EID. Dôvod je ten, že pri tomto zariadení sme nevyužili nástroj LIG a teda nedošlo k obohateniu lokálnej databázy o lokálne EID. Z pohľadu funkčnosti to ale nepredstavuje žiaden problém.

Pre úplnosť pochopenia procesu zapuzdrenia a tvorby tunelov je možné odchytiť samotný paket komunikácie, v našom prípade bol generovaný jednoduchý paket **ICMP echo request**. Odchytený paket je znázornený na obrázku 4.4:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
→ 16	10.191511	192.168.2.2	192.168.22.22	ICMP	124	Echo (ping) request id=0x884c, seq=4/1024, ttl=63
> Frame 16: 124 bytes on wire (992 bits), 124 bytes captured (992 bits) on interface -, id 0						
> Cisco HDLC						
> Internet Protocol Version 4, Src: 10.12.0.1, Dst: 10.23.0.2 RLOC						
> User Datagram Protocol, Src Port: 5396, Dst Port: 4341						
> Locator/ID Separation Protocol (Data)						
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.2, Dst: 192.168.22.22 EID						
> Internet Control Message Protocol						

Obrázok 4.4 Odchytený zapuzdrený IPv4 echo request paket v nástroji Wireshark

Výstup potvrdzuje, že došlo k vytvoreniu tunelu (pridaniu nových hlavičiek k pôvodnému paketu).

Upozornenie: LISP databáza sa nezobrazuje v smerovacej tabuľke. Jedná sa o samostatnú jednotku. Smerovanie je možné vďaka tomu, že údaje z LISP databázy sú automaticky mapované do CEF a Adjacency tabuliek.

Úloha 2: Prenos IPv6 komunikácie cez IPv4 sieťovú infraštruktúru

Komunikáciu medzi IPv6 LISP EID je možné prenášať rovnakým spôsobom ako to bolo v predchádzajúcej úlohe. Jediným rozdielom je, že pôvodný paket bude používať IPv6 EID adresy a bude štandardne zabalený do IPv4 hlavičky využívajúcej na smerovanie RLOC identifikátor. Z pohľadu konfigurácie stačí na **Mapovacom serveri** spustiť IPv6 služby pre **map-server**, **map-resolver** a definovať **eid-prefix** v IPv6 tvare. Na zariadeniach **xTR** je potrebné spustiť IPv6 služby pre funkcie **ITR** a **ETR**. Tiež je potrebné pridať mapovací záznam, ktorý bude obsahovať mapovanie medzi IPv6 EID adresou a IPv4 RLOC údajom. Nasledujúce výpisy znázorňujú konfigurácie pre **xTR1**, **xTR2** a **Mapovací server**.

Konfigurácia je analogická k úlohe 1:

xTR1:

```
!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete
ipv6 unicast-routing
int fa0/0
    ipv6 add 2001:db8:2:2::1/64
router lisp
    database-mapping 2001:db8:2:2::/64 10.12.0.1 priority 1 weight 1
    ipv6 itr map-resolver 10.22.22.22
    ipv6 itr
    ipv6 etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
    ipv6 etr
```

xTR2:

```
!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete
ipv6 unicast-routing
int fa0/0
    ipv6 add 2001:db8:22:22::1/64
router lisp
    database-mapping 2001:db8:22:22::/64 10.23.0.2 priority 22 weight 22
    ipv6 itr map-resolver 10.22.22.22
    ipv6 itr
    ipv6 etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
    ipv6 etr
```

Mapovací server:

```
!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete
router lisp
  site L1
    eid-prefix 2001:db8:2:2::/64
  site L2
    eid-prefix 2001:db8:22:22::/64
  ipv6 map-server
  ipv6 map-resolver
```

Analogicky je možné overiť funkčnosť konfigurácie, registráciu mapovania pre IPv6 EID a zároveň obsah IPv6 map-cache tabuľky. Výstup registračnej tabuľky na **Mapovacom serveri** po úspešnej registrácii IPv6 EID je zobrazený v nasledujúcom výpise:

```
Mapping_Server#show lisp site
LISP Site Registration Information
```

Site Name	Last Register	Up	Who Last Registered	Inst ID	EID Prefix
L1	00:00:35	yes	10.12.0.1		192.168.2.0/24
	00:00:21	yes	10.12.0.1		2001:DB8:2:2::/64
L2	00:00:03	yes	10.23.1.2		192.168.22.0/24
	00:00:05	yes	10.23.1.2		2001:DB8:22:22::/64

Detailný výpis pre konkrétne IPv6 EID potvrdzuje, že RLOC identifikátor je naďalej IPv4 adresa:

```
Mapping_Server#show lisp site 2001:db8:22:22::/64
LISP Site Registration Information
Site name: L2
Description: xTR2
Allowed configured locators: any
Requested EID-prefix:
  EID-prefix: 2001:DB8:22:22::/64
  First registered: 00:02:05
  Routing table tag: 0
  Origin: Configuration
  Merge active: No
  Proxy reply: No
  TTL: 1d00h
  State: complete
Registration errors:
  Authentication failures: 0
  Allowed locators mismatch: 0
ETR 10.23.1.2, last registered 00:00:08, no proxy-reply, no map-notify
  TTL 1d00h, no merge, nonce 0x47D89B45-0x1A2B668B
  state complete
```

Locator	Local	State	Pri/Wgt
10.23.0.2	yes	up	22/22

Aj v tomto prípade je možné vykonať overenie úspešnosti registrácie IPv6 EID aj z lokálneho **xTR** zariadenia štandardne nástrojom LIG, ktorého výstup pre zariadenie **xTR1** zobrazuje nasledujúci výpis:

```
xTR1#lig self ipv6
Mapping information for EID 2001:DB8:2:2:: from 10.12.0.1 with RTT 84 msecs
2001:DB8:2:2::/64, uptime: 00:00:00, expires: 23:59:52, via map-reply, self
```

Locator	Uptime	State	Pri/Wgt
10.12.0.1	00:00:00	up, self	1/1

Lokálnu IPv6 map-cache tabuľku je možné vidieť v nasledujúcom výpise:

```
xTR1#sh ipv6 lisp map-cache
LISP IPv6 Mapping Cache for EID-table default (IID 0), 3 entries

::/0, uptime: 00:09:29, expires: never, via static send map-request
Negative cache entry, action: send-map-request
2001:DB8:2:2::/64, uptime: 00:01:47, expires: 23:58:05, via map-reply, self
Locator    Uptime    State    Pri/Wgt
10.12.0.1  00:01:47  up, self  1/1
2001:DB8:22:22::/64, uptime: 00:03:29, expires: 23:56:23, via map-reply, complete
Locator    Uptime    State    Pri/Wgt
10.23.0.2  00:03:29  up       22/22
```

Úspešnosť vytvorenia tunela je možné overiť odchytením paketu v nástroji *Wireshark* napr. na prepojení medzi zariadeniami **xTR1** a **Fabric**, čo zobrazuje obrázok 4.5:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
10	18.042190	2001:db8:2:2::2	2001:db8:22:22::22	ICMPv6	144	Echo (ping) request id=0x6c4a, seq=1, hop limit=63

> Frame 10: 144 bytes on wire (1152 bits), 144 bytes captured (1152 bits) on interface -, id 0
 > Cisco HDLC
 > Internet Protocol Version 4, Src: 10.12.0.1, Dst: 10.23.0.2 RLOC
 > User Datagram Protocol, Src Port: 1056, Dst Port: 4341
 > Locator/ID Separation Protocol (Data)
 > Internet Protocol Version 6, Src: 2001:db8:2:2::2, Dst: 2001:db8:22:22::22 EID
 > Internet Control Message Protocol v6

Obrázok 4.5 Odchytený zapuzdrený IPv6 echo request paket v nástroji Wireshark

Upozornenie: Ani údaje o IPv6 EID sa nezobrazujú v smerovacej tabuľke. Smerovanie je ale umožnené vďaka prepojeniu lokálnej IPv6 map-cache s CEF a Adjacency tabuľkami.

Upozornenie: Protokol LISP je všestranný protokol, ktorý dokáže vytvárať rôznorodé tunely, pričom konfigurácia sa nijak výrazne neodlišuje. Jediný rozdiel by bol v tvare mapovacích záznamov.

Protokol LISP dokáže vytvoriť nasledujúce typy tunelov:

- IPv4 ↔ IPv4
- IPv6 ↔ IPv4
- IPv4 ↔ IPv6
- IPv6 ↔ IPv6

Rovnako aj pozíciu **Mapovacieho servera** je možné definovať v podobe IPv4 aj IPv6 adresy.

Úloha 3: Rozkladanie záťaže (Multihoming)

Rozkladanie záťaže je založené na predpoklade, že k jednému cieľovému EID prislúcha viacero RLOC identifikátorov. Administrátor má v tomto prípade možnosť využitím hodnôt priority a váhy definovať pomer rozkladu záťaže. V prípade viacerých mapovacích záznamov sa využije ten, ktorý má priradenú najnižšiu hodnotu priority. V prípade, že viacero mapovaní využíva tú istú prioritu, tak dochádza k proporčnému rozkladaniu záťaže vzhľadom k hodnote váhy. Topológia umožňuje demonštrovať túto funkcionality na prepojení medzi zariadeniami **Fabric** a **xTR2**, kde sa nachádza dvojica prepojení. Z pohľadu konfigurácie stačí na zariadenie **xTR2** pridať nový mapovací záznam pre EID **L2** zariadenia s iným RLOC identifikátorom. Možnú konfiguráciu znázorňuje nasledujúci výpis:

```
xTR2:
!Uloha3: Multihoming
router lisp
  database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.1.2 priority 1 weight 10
```

Vzhľadom k tomu, že aktuálna priorita je nižšia ako priorita v aktuálne používanom zázname, tak tento nový mapovací záznam bude použitý namiesto predchádzajúceho. Po pridaní nového záznamu dôjde k automatickej registrácii na **Mapovací server**, čo je možné vidieť v nasledujúcom výpise:

```
Mapping_Server#show lisp site 192.168.22.0/24
LISP Site Registration Information

Site name: L2
Description: xTR2
Allowed configured locators: any
Requested EID-prefix:
  EID-prefix: 192.168.22.0/24
    First registered:    04:04:30
    Routing table tag:   0
    Origin:             Configuration
    Merge active:       No
    Proxy reply:        No
    TTL:                1d00h
    State:              complete
Registration errors:
  Authentication failures: 0
  Allowed locators mismatch: 0
ETR 10.23.1.2, last registered 00:00:23, no proxy-reply, no map-notify
  TTL 1d00h, no merge, nonce 0x47D89B45-0x1A2B668B
  state complete
Locator  Local  State  Pri/Wgt
10.23.0.2  yes   up     2/2
10.23.1.2  yes   up     1/10
```

Problém nastáva na zariadení **xTR1**, ktoré o tejto zmene nevie. K aktualizácii by došlo až po expirovaní pôvodného záznamu a vyžiadaní nového. Pre urýchlenie tohto procesu je potrebné vyčistiť lokálnu map-cache na zariadení **xTR1**, čo znázorňuje nasledujúci výpis:

```
xTR1:
!Uloha3: Multihoming
xTR1#clear ip lisp map-cache *
```

Po vygenerovaní novej komunikácie zariadenie **xTR1** kontaktuje **Mapovací server**, ktorý poskytne aktualizovanú verziu mapovacej databázy, čo znázorňuje nasledujúci výpis:

```
xTR1#sh ip lisp map-cache
LISP IPv4 Mapping Cache for EID-table default (IID 0), 2 entries

0.0.0.0/0, uptime: 00:00:46, expires: never, via static send map-request
  Negative cache entry, action: send-map-request
192.168.22.0/24, uptime: 00:00:10, expires: 23:59:42, via map-reply, complete
Locator  Uptime  State  Pri/Wgt
10.23.0.2  00:00:10  up     2/2
10.23.1.2  00:00:10  up     1/10
```

V tomto prípade bude na dosiahnutie siete 192.168.22.0/24 použitá linka s IPv4 adresou 10.23.1.2. Tento prístup umožňuje pri multihoming-u definovať cestu, ktorou sa bude vstupovať do LISP siete.

Upozornenie: Ak by bola priorita rovnaká vo viacerých mapovacích záznamoch, dochádzalo by k rozkladaniu záťaže. Pozor treba ale dať na to, že rozkladanie záťaže pracuje prostredníctvom Hash hodnôt, ktoré sa počítajú na základe 5 Tuple (zdrojová MAC, zdrojová IP, cieľová MAC, cieľová IP a číslo protokolu). Preto pri testovaní rozkladania záťaže je potrebné zmeniť niektorú z adries.

Úloha 4: Komunikácia s externými sieťami mimo LISP domény

Pri komunikácii s externými sieťami vznikajú dva hlavné problémy:

1. Smerovač, ku ktorému je pripojené cieľové **Externé zariadenie** nie je LISP smerovačom a teda nedokáže odbaliť štandardnú LISP hlavičku.
2. Ak by sme poslali paket v štandardnom formáte, tak by sme síce cieľ dosiahli bez prekážok, no problém by nastal pri spätnom smerovaní, kde by zdrojová IP adresa bola EID, ktorá sa do sieťových infraštruktúr neoznamuje.

Riešenie týchto problémov spočíva v definovaní nového typu zariadenia, ktoré môžeme označiť ako **PxTR** (proxy zariadenie). Toto zariadenie v sebe skrýva funkcionality PETR a Pitr. PETR je analogické k ETR zariadeniu, no v tomto prípade slúži na výstup z LISP domény smerom do externej siete, kde je jeho úlohou odbaliť LISP zapuzdrený paket. Na druhej strane funkcia Pitr slúži na zabezpečenie vstupu do LISP domény, kde úlohou tejto funkcie je zabaliť paket do príslušného LISP formátu.

Scenár komunikácie medzi zariadením **L1** a **Externým zariadením**:

1. **L1** pošle paket na svoju bránu, v tomto prípade zariadenie **xTR1**.
2. **xTR1** skontroluje lokálnu map-cache databázu, v ktorej nenájde mapovanie pre externú IP adresu a teda pošle požiadavku na **Mapovací server**.
3. **Mapovací server** dané mapovanie tiež nevlastní a teda odpovie s negatívnou odpoveďou.
4. **xTR1** na základe negatívnej odpovede vie, že cieľové zariadenie sa nenachádza v LISP doméne a teda zapuzdrí paket s cieľovou IP zariadenia **PxTR**.
5. **PxTR** zariadenie odbalí paket a pošle ho na cieľové **Externé zariadenie**. (Aby bolo možné správu doručiť späť na **PxTR**, tak **PxTR** musí do vonkajšej siete oznamovať EID sieť. Aby bolo zaručené čo najväčšie šetrenie, tak **PxTR** oznamuje najmenej možný špecifický záznam, ktorý pokrýva čo najviac vnútorných EID sietí.)

Scenár pre spätné smerovanie z **Externého zariadenia** na zariadenie **L1**:

1. **Externé zariadenie** doručí paket v štandardnom formáte na zariadenie **PxTR**.
2. **PxTR** odošle požiadavku na map-resolver pre zistenie RLOC identifikátora cieľového EID.
3. Map-resolver daný záznam pozná (jedná sa o LISP sieť) a teda odpovie s príslušným mapovacím záznamom.
4. Zariadenie **PxTR** následne vytvorí tunel so zariadením **xTR1**, pridá LISP hlavičku a doručí dáta na cieľové **xTR1** zariadenie.
5. Zariadenie **xTR1** odbalí hlavičku a v pôvodnom formáte ju doručí do cieľa.

Upozornenie: Môže sa zdať, že PxTR zariadenie nemá význam, ak by sme posielali dáta zo zariadenia xTR1 bez LISP hlavičiek. To je pravda v prípade komunikácie smerujúcej k Externému zariadeniu. Problém by vznikol pri spätnom smerovaní, kde zariadenia tvoriace fyzickú vrstvu LISP domény nepoznajú hraničné EID siete. Z toho dôvodu je potrebné komunikáciu zapuzdrovať.

Z pohľadu konfigurácie potrebujeme na všetkých **xTR** zariadeniach definovať kde sa nachádza **PxTR**. Ukážku konfigurácie znázorňujú nasledujúce dva výpisy:

```
xTR1:
!Úloha4: Remote
router lisp
  ipv4 use-petr 10.2.2.2
```

xTR2:

```
!Úloha4: Remote
router lisp
  ipv4 use-petr 10.2.2.2
```

Komplexnejšiu konfiguráciu je ale potrebné vykonať na zariadení **PxTR**, na ktorom je potrebné spustiť službu PETR a Pitr. Pri službe Pitr potrebujeme definovať, ktoré zariadenie je Pitr zariadením – tu sa štandardne jedná o IP adresu lokálneho **PxTR** smerovača. Ďalej je pri Pitr zariadení potrebné definovať kde sa nachádza map-resolver, na ktorý budú posielané požiadavky ohľadom mapovacích záznamov. Nakoniec je potrebné definovať, pre aké LISP siete budú odosielané požiadavky na map-resolver (inak povedané, s akými sieťami dovoľíme **Externým zariadeniam** komunikovať). Vzorovú konfiguráciu zariadenia **PxTR** uvádza nasledujúci výpis:

PxTR:

```
!Úloha4: Remote
router lisp
  ipv4 proxy-etr
  ipv4 proxy-itr 10.2.2.2
  map-cache 192.168.2.0/24 map-request
  map-cache 192.168.22.0/24 map-request
  ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
```

Kontrolu toho, aké služby sú spustené na LISP smerovačoch je možné zistiť zo všeobecného výpisu, ktorý pre je zariadenie **PxTR** zobrazený nižšie:

```
PxTR#sh ip lisp
Instance ID: 0
Router-lisp ID: 0
Locator table: default
EID table: default
Ingress Tunnel Router (ITR): disabled
Egress Tunnel Router (ETR): disabled
Proxy-ITR Router (Pitr): enabled RLOCs: 10.2.2.2
Proxy-ETR Router (PETR): enabled
Map Server (MS): disabled
Map Resolver (MR): disabled
Map-Request source: 10.2.2.2
ITR Map-Resolver(s): 10.22.22.22
ITR Solicit Map Request (SMR): accept and process
  Max SMRs per map-cache entry: 8 more specifics
  Multiple SMR suppression time: 60 secs
ETR accept mapping data: disabled, verify disabled
ETR map-cache TTL: 1d00h
Locator Status Algorithms:
  RLOC-probe algorithm: disabled
Static mappings configured: 2
Map-cache size/limit: 2/1000
Map-cache activity check period: 60 secs
Map-database size/limit: 0/100
Persistent map-cache: interval 01:00:00
  Earliest next store: 01:02:57
Location: NONE
```

Pre lepšie pochopenie procesu zapuzdrenia je možné odchytiť paket smerujúci zo zariadenia **L1** do **Externého zariadenia** na prepojení medzi zariadeniami **Fabric** a **PxTR**. Odchytený paket je zobrazený na obrázku 4.6:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
→ 10	13.375638	192.168.2.2	172.16.22.22	ICMP	134	Echo (ping) request id=0xfe73, seq=3/768, ttl=63
> Frame 10: 134 bytes on wire (1072 bits), 134 bytes captured (1072 bits) on interface -, id 0 > Ethernet II, Src: ca:02:2e:e4:00:06 (ca:02:2e:e4:00:06), Dst: ca:05:24:b0:00:06 (ca:05:24:b0:00:06) > Internet Protocol Version 4, Src: 10.12.0.1, Dst: 10.2.2.2 RLOC > User Datagram Protocol, Src Port: 32172, Dst Port: 4341 > Locator/ID Separation Protocol (Data) > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.2, Dst: 172.16.22.22 EID - Ext > Internet Control Message Protocol						

Obrázok 4.6 Odchytený zapuzdrený IPv4 echo request paket smerujúci do vonkajšej siete

Ako je možné vidieť, tak cieľový RLOC identifikátor je IP adresa zariadenia **PxTR**, ktorá bola definovaná na **xTR1** zariadení.

Paket odchytený na prepojení medzi **PxTR** a zariadením **External** už neobsahuje LISP záhlavie, čo potvrdzuje PETR funkčnosť, ako je možné vidieť na obrázku 4.7:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
→ 12	4.010828	192.168.2.2	172.16.22.22	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xe774, seq=3/768, ttl=61
> Frame 12: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured (784 bits) on interface -, id 0 > Ethernet II, Src: ca:05:24:b0:00:08 (ca:05:24:b0:00:08), Dst: Private_66:68:01 (00:50:79:66:68:01) > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.2, Dst: 172.16.22.22 > Internet Control Message Protocol						

Obrázok 4.7 Odchytený rozpuzdrený paket v nástroji Wireshark

Úloha 5: Mobilita

Podpora mobility má umožniť presun zariadení (s ich EID) z jedného miesta na druhé bez potreby výrazného zásahu do konfigurácie sieťových zariadení. Inak povedané, potrebujeme zabezpečiť to, aby sa mohlo zmeniť mapovanie EID ↔ RLOC pri odpojení zariadenia z jedného miesta a opätovného pripojenia na iné miesto v sieti. V prípade tohto laboratórneho cvičenia dôjde k presunu zariadenia **L2** z pôvodného miesta, pričom sa pripojí k zariadeniu s názvom **Mobility**. Po pripojení a vygenerovaní komunikácie s inou LISP sieťou dôjde k odoslaniu nového mapovacieho záznamu s EID o veľkosti /32 na zariadenie **map-server**. Následne je potrebné vykonať `clear map-cache` na koncových **xTR** zariadeniach, aby si stiahli aktualizované mapovacie záznamy.

Z pohľadu konfigurácie na **Mapovacom serveri** je potrebné povoliť, pre konkrétnu sieť u ktorej je predpoklad, že používatelia z nej budú meniť svoju polohu, príjem viac špecifických záznamov. Táto zmena je potrebná, lebo umožní registrovať jednu konkrétnu IP adresu, ktorá zmenila svoju polohu. Potrebnú konfiguráciu znázorňuje nasledujúci výpis:

```
Mapovací server:
!Uloha5: Mobility
router lisp
  site L2
    eid-prefix 192.168.22.0/24 accept-more-specifics
```

Konfigurácia potrebná na zariadení **Mobility** je o niečo zložitejšia. V tomto prípade je potrebné definovať locator-set, ktorý slúži na definovanie RLOC údajov. Ďalej je potrebné vytvoriť dynamické EID mapovanie, kde sa definuje sieť, z ktorej očakávame, že sa budú zariadenia presúvať. Toto mapovanie je potrebné prepojiť s vytvoreným locator-set atribútom. Následne potrebujeme spustiť štandardné funkcie pre ETR a ITR. Posledným krokom je aplikácia vytvoreného dynamického EID mapovania na rozhranie, kde sa očakáva pripojenie zariadenia, ktoré zmenilo svoju polohu. Vzorovú konfiguráciu zariadenia **Mobility** je možné vidieť v nasledujúcom výpise:

Mobility:

!Uloha5: Mobility

```
router lisp
  locator-set L2_mobile
    10.26.0.2 priority 2 weight 2
  eid-table default instance-id 0
    dynamic-eid L2_mobile_mapping
      database-mapping 192.168.22.0/24 locator-set L2_mobile
  ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
  ipv4 itr
  ipv4 etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
  ipv4 etr

int fa0/0
  lisp mobility L2_mobile_mapping
```

Po danej konfigurácii, zmene polohy zariadenia **L2** a vygenerovaní komunikácie dôjde na **Mapovacom serveri** k registrácii nového mapovacieho záznamu s dĺžkou /32, čo znázorňuje výpis:

Mapping_Server#show lisp site

LISP Site Registration Information

Site Name	Last Register	Up	Who Last Registered	Inst ID	EID Prefix
L1	00:00:29	yes	10.12.0.1		192.168.2.0/24
	00:00:42	yes	10.12.0.1		2001:DB8:2:2::/64
L2	00:00:39	yes	10.23.1.2		192.168.22.0/24
	00:00:28	yes	10.26.0.2		192.168.22.22/32
	00:00:16	yes	10.23.1.2		2001:DB8:22:22::/64

Po vyčistení map-cache tabuľky na zariadení **xTR1** a po vyžiadaní nových mapovacích záznamov je možné na nasledujúcom výpise vidieť aktualizovaný záznam pre zariadenie, ktoré zmenilo polohu:

xTR1#show ip lisp map-cache

LISP IPv4 Mapping Cache for EID-table default (IID 0), 2 entries

```
0.0.0.0/0, uptime: 00:25:42, expires: never, via static send map-request
Negative cache entry, action: send-map-request
192.168.22.22/32, uptime: 00:20:28, expires: 23:39:24, via map-reply, complete
Locator    Uptime    State    Pri/Wgt
10.26.0.2  00:20:28  up       2/2
```

Od tejto chvíle je možná komunikácia so zariadením, ktoré zmenilo svoju polohu.



Upozornenie: Mobilita vyžaduje, aby bola na viacerých miestach v sieti nakonfigurovaná LISP sieť so vzájomne sa prekrývajúcim adresným rozsahom EID. Tento fakt ale nespôsobí duplicitu vzhľadom k tomu, že LISP EID siete nie sú oznamované do fyzickej reprezentácie siete (OSPF).

Bonus: Ukážka konfigurácie protokolu LISP v IOS-XE

Automatizovaná práca s protokolom LISP využitím protokolu RESTCONF vyžaduje programovateľný smerovač CSR1000v. Vzhľadom k tomu, že tento smerovač pracuje s IOS XE, tak sa aj samotná syntax konfigurácie protokolu LISP mierne odlišuje od konfigurácie na štandardných IOS. Nasledujúce sekcie uvádzajú vzorovú konfiguráciu v podobe príkazov a odpovedajúci JSON opisujúci YANG štruktúru.

Úloha1: Základná konfigurácia protokolu LISP

Mapovací server:

```
router lisp
  service ipv4
    map-server
    map-resolver
  site L1
    description xTR1
    authentication-key L1_pass
    eid-record 192.168.2.0/24
  site L2
    description xTR2
    authentication-key L2_pass
    eid-record 192.168.22.0/24
```

xTR1:

```
router lisp
  instance-id 0
  service ipv6
    eid-table default
    database-mapping 2001:db8:2:2::/64 10.12.0.1 priority 1 weight 1
    itr map-resolver 10.22.22.22
    itr
    etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
    etr
```

xTR2:

```
router lisp
  instance-id 0
  service ipv6
    eid-table default
    database-mapping 2001:db8:22:22::/64 10.23.0.2 priority 22 weight 22
    itr map-resolver 10.22.22.22
    itr
    etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
    etr
```

Úloha2: Prenos IPv6 komunikácie cez IPv4 sieťovú infraštruktúru

Mapovací server:

```
router lisp
  service ipv6
    map-server
    map-resolver
  site L1
    eid-record 2001:db8:2:2::/64
  site L2
    eid-record 2001:db8:22:22::/64
```

xTR1:

```
router lisp
  instance-id 0
  service ipv4
    eid-table default
    database-mapping 192.168.2.0/24 10.12.0.1 priority 22 weight 13
    itr map-resolver 10.22.22.22
    itr
    etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
    etr
```

xTR2:

```
router lisp
  instance-id 0
  service ipv4
```

```
eid-table default
database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.0.2 priority 2 weight 2
itr map-resolver 10.22.22.22
itr
etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
etr
```

Úloha3: Rozkladanie záťaže (Multihoming)

xTR2:

```
router lisp
  instance-id 0
  service ipv4
    eid-table default
    database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.1.2 priority 1 weight 10
```

Úloha4: Komunikácia s externými sieťami mimo LISP domény

xTR1:

```
router lisp
  service ipv4
  use-petr 10.2.2.2
```

xTR2:

```
router lisp
  service ipv4
  use-petr 10.2.2.2
```

PxTR:

```
router lisp
  instance-id 0
  service ipv4
    eid-table default
    map-cache 192.168.2.0/24 map-request
    map-cache 192.168.22.0/24 map-request
    itr map-resolver 10.22.22.22
    proxy-itr 10.2.2.2
    proxy-etr
```

Úloha5: Mobilita

Mapovací server:

```
router lisp
  site L2
  eid-record 192.168.22.0/24 accept-more-specifics
```

Mobility:

```
router lisp
  locator-set L2_mobile
    10.26.0.2 priority 2 weight 2
  instance-id 0
  dynamic-eid L2_mobile_mapping
  database-mapping 192.168.22.0/24 locator-set L2_mobile
  service ipv4
    itr map-resolver 10.22.22.22
    itr
    etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
    etr
interface gi1
  lisp mobility L2_mobile_mapping
```

Príloha: Kompletná konfigurácia pre všetky zariadenia - IOS

Mapovací server:

```
hostname Mapping_Server
!Zakladna konfiguracia IP adries
int fa0/0
    ip add 10.24.0.2 255.255.255.252
    no sh
int loo 22
    ip add 10.22.22.22 255.255.255.255
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
    network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

!Uloha1: Nasadenie LISP sieti
router lisp
    site L1
        description xTR1
        authentication-key L1_pass
        eid-prefix 192.168.2.0/24
    site L2
        description xTR2
        authentication-key L2_pass
        eid-prefix 192.168.22.0/24
    ipv4 map-server
    ipv4 map-resolver
!show lisp site
!sh lisp site 192.168.22.0

!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete
router lisp
    site L1
        eid-prefix 2001:db8:2:2::/64
    site L2
        eid-prefix 2001:db8:22:22::/64
    ipv6 map-server
    ipv6 map-resolver

!Uloha5: Mobility
router lisp
    site L2
        eid-prefix 192.168.22.0/24 accept-more-specifics
!sh lisp site
```

xTR1:

```
hostname xTR1
!Zakladna konfiguracia IP adries
int fa0/0
    ip add 192.168.2.1 255.255.255.0
    no sh
int se1/0
    ip add 10.12.0.1 255.255.255.252
    no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
    network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

!Uloha1: Nasadenie LISP sieti
router lisp
    database-mapping 192.168.2.0/24 10.12.0.1 priority 22 weight 13
    ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
    ipv4 itr
    ipv4 etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
    ipv4 etr
```

```

!lig self
!show ip lisp map-cache

!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete
ipv6 unicast-routing
int fa0/0
    ipv6 add 2001:db8:2:2::1/64
router lisp
    database-mapping 2001:db8:2:2::/64 10.12.0.1 priority 1 weight 1
    ipv6 itr map-resolver 10.22.22.22
    ipv6 itr
    ipv6 etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
    ipv6 etr
!lig self ipv6
!show ipv6 lisp map-cache

!Uloha3: Multihoming
!clear ip lisp map-cache *
!show adjacency lisp 0 detail

!Uloha4: Remote
router lisp
    ipv4 use-petr 10.2.2.2

!Uloha5: Mobility
!clear ip lisp map-cache

```

xTR2:

```

hostname xTR2
!Zakladna konfiguracia IP adries
int se1/1
    ip add 10.23.0.2 255.255.255.252
    no sh
int se1/2
    ip add 10.23.1.2 255.255.255.252
    no sh
int fa0/0
    ip add 192.168.22.1 255.255.255.0
    no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
    network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

!Uloha1: Nasadenie LISP sieti
router lisp
    database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.0.2 priority 2 weight 2
    ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
    ipv4 itr
    ipv4 etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
    ipv4 etr
!lig self

ipv6 unicast-routing
int fa0/0
    ipv6 add 2001:db8:22:22::1/64
router lisp
    database-mapping 2001:db8:22:22::/64 10.23.0.2 priority 22 weight 22
    ipv6 itr map-resolver 10.22.22.22
    ipv6 itr
    ipv6 etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
    ipv6 etr

!Uloha3: Multihoming
router lisp
    database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.1.2 priority 1 weight 10

```

```
!Uloha4: Remote
router lisp
  ipv4 use-petr 10.2.2.2
```

Fabric:

```
hostname Fabric
!Zakladna konfiguracia IP adries
int se1/0
  ip add 10.12.0.2 255.255.255.252
  no sh
int fa0/0
  ip add 10.24.0.1 255.255.255.252
  no sh
int se1/1
  ip add 10.23.0.1 255.255.255.252
  no sh
int se1/2
  ip add 10.23.1.1 255.255.255.252
  no sh
int se1/3
  ip add 10.26.0.1 255.255.255.252
  no sh
int fa0/1
  ip add 10.25.0.1 255.255.255.252
  no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

PxTR:

```
hostname PxTR
!Zakladna konfiguracia IP adries
int fa0/1
  ip add 10.25.0.2 255.255.255.252
  no sh
int loo 2
  ip add 10.2.2.2 255.255.255.255
int fa0/0
  ip add 172.16.22.1 255.255.255.0
  no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
  default-information originate always
```

```
!Uloha4: Remote
router lisp
  ipv4 proxy-etr
  ipv4 proxy-itr 10.2.2.2
  map-cache 192.168.2.0/24 map-request
  map-cache 192.168.22.0/24 map-request
  ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
```

Mobility:

```
hostname Mobility
!Zakladna konfiguracia
int se1/3
  ip add 10.26.0.2 255.255.255.252
  no sh
int fa0/0
  ip add 192.168.22.1 255.255.255.0
  no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

```

!Uloha5: Mobility
router lisp
  locator-set L2_mobile
    10.26.0.2 priority 2 weight 2
  eid-table default instance-id 0
    dynamic-eid L2_mobile_mapping
      database-mapping 192.168.22.0/24 locator-set L2_mobile
  ipv4 itr map-resolver 10.22.22.22
  ipv4 itr
  ipv4 etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
  ipv4 etr

int fa0/0
  lisp mobility L2_mobile_mapping

```

Príloha: Kompletná konfigurácia pre všetky zariadenia – IOS-XE

Mapovací server:

```

hostname Mapping_Server
!Zakladna konfiguracia IP adries
int fa0/0
  ip add 10.24.0.2 255.255.255.252
  no sh
int loo 22
  ip add 10.22.22.22 255.255.255.255
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

```

!Uloha1: Nasadenie LISP siete

```

router lisp
  service ipv4
    map-server
    map-resolver
  site L1
    description xTR1
    authentication-key L1_pass
    eid-record 192.168.2.0/24
  site L2
    description xTR2
    authentication-key L2_pass
    eid-record 192.168.22.0/24

```

!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete

```

router lisp
  service ipv6
    map-server
    map-resolver
  site L1
    eid-record 2001:db8:2:2::/64
  site L2
    eid-record 2001:db8:22:22::/64

```

!Uloha5: Mobility

```

router lisp
  site L2
    eid-record 192.168.22.0/24 accept-more-specifics

```

xTR1:

```

hostname xTR1
!Zakladna konfiguracia IP adries
int fa0/0
  ip add 192.168.2.1 255.255.255.0

```

```

no sh
int se1/0
ip add 10.12.0.1 255.255.255.252
no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

!Uloha1: Nasadenie LISP sieti
router lisp
instance-id 0
service ipv4
eid-table default
database-mapping 192.168.2.0/24 10.12.0.1 priority 22 weight 13
itr map-resolver 10.22.22.22
itr
etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
etr

!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete
router lisp
instance-id 0
service ipv6
eid-table default
database-mapping 2001:db8:2:2::/64 10.12.0.1 priority 1 weight 1
itr map-resolver 10.22.22.22
itr
etr map-server 10.22.22.22 key L1_pass
etr

!Uloha4: Remote
router lisp
service ipv4
use-petr 10.2.2.2

```

```

xTR2:
hostname xTR2
!Zakladna konfiguracia IP adries
int se1/1
ip add 10.23.0.2 255.255.255.252
no sh
int se1/2
ip add 10.23.1.2 255.255.255.252
no sh
int fa0/0
ip add 192.168.22.1 255.255.255.0
no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

!Uloha1: Nasadenie LISP sieti
router lisp
instance-id 0
service ipv4
eid-table default
database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.0.2 priority 2 weight 2
itr map-resolver 10.22.22.22
itr
etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
etr

!Uloha2: Nasadenie IPv6 LISP siete
router lisp
instance-id 0

```

```

service ipv6
  eid-table default
  database-mapping 2001:db8:22:22::/64 10.23.0.2 priority 22 weight 22
  itr map-resolver 10.22.22.22
  itr
  etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
  etr

!Uloha3: Multihoming
router lisp
  instance-id 0
  service ipv4
    eid-table default
    database-mapping 192.168.22.0/24 10.23.1.2 priority 1 weight 10

!Uloha4: Remote
router lisp
  service ipv4
  use-petr 10.2.2.2

```

Fabric:

```

hostname Fabric
!Zakladna konfiguracia IP adries
int se1/0
  ip add 10.12.0.2 255.255.255.252
  no sh
int fa0/0
  ip add 10.24.0.1 255.255.255.252
  no sh
int se1/1
  ip add 10.23.0.1 255.255.255.252
  no sh
int se1/2
  ip add 10.23.1.1 255.255.255.252
  no sh
int se1/3
  ip add 10.26.0.1 255.255.255.252
  no sh
int fa0/1
  ip add 10.25.0.1 255.255.255.252
  no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

```

PxTR:

```

hostname PxTR
!Zakladna konfiguracia IP adries
int fa0/1
  ip add 10.25.0.2 255.255.255.252
  no sh
int loo 2
  ip add 10.2.2.2 255.255.255.255
int fa0/0
  ip add 172.16.22.1 255.255.255.0
  no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
  network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
  default-information originate always

!Uloha4: Remote
router lisp
  instance-id 0
  service ipv4

```

```
eid-table default
map-cache 192.168.2.0/24 map-request
map-cache 192.168.22.0/24 map-request
itr map-resolver 10.22.22.22
proxy-itr 10.2.2.2
proxy-etr
```

Mobility:

```
hostname Mobility
!Zakladna konfiguracia
int se1/3
    ip add 10.26.0.2 255.255.255.252
    no sh
int fa0/0
    ip add 192.168.22.1 255.255.255.0
    no sh
!Konfiguracia protokolu OSPF - underlay vrstva
router ospf 1
    network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0

!Uloha5: Mobility
router lisp
    locator-set L2_mobile
        10.26.0.2 priority 2 weight 2
    instance-id 0
        dynamic-eid L2_mobile_mapping
            database-mapping 192.168.22.0/24 locator-set L2_mobile
    service ipv4
        itr map-resolver 10.22.22.22
        itr
        etr map-server 10.22.22.22 key L2_pass
        etr

interface gi1
    lisp mobility L2_mobile_mapping
```