Sieťová a komunikačná bezpečnosť

04 Bezdrôtová komunikácia a siete WLAN

Ústav informatiky, PF UPJŠ v Košiciach

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

OPERAČNÝ PROGRAM
ĽUDSKÉ ZDROJE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

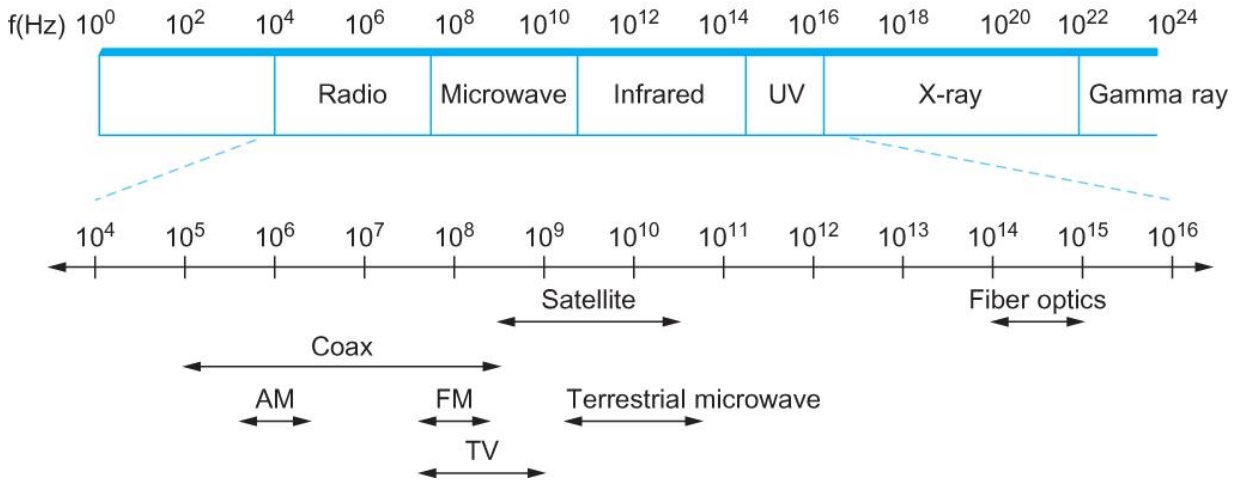
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

bezdrôtové prenosy

- prenos elektromagnetického signálu
- zdieľané fyzické médium – frekvenčný multiplex
- špecifické pásma – licenčné, bezlicenčné (s pravidlami)



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

OPERAČNÝ PROGRAM
ĽUDSKÉ ZDROJE

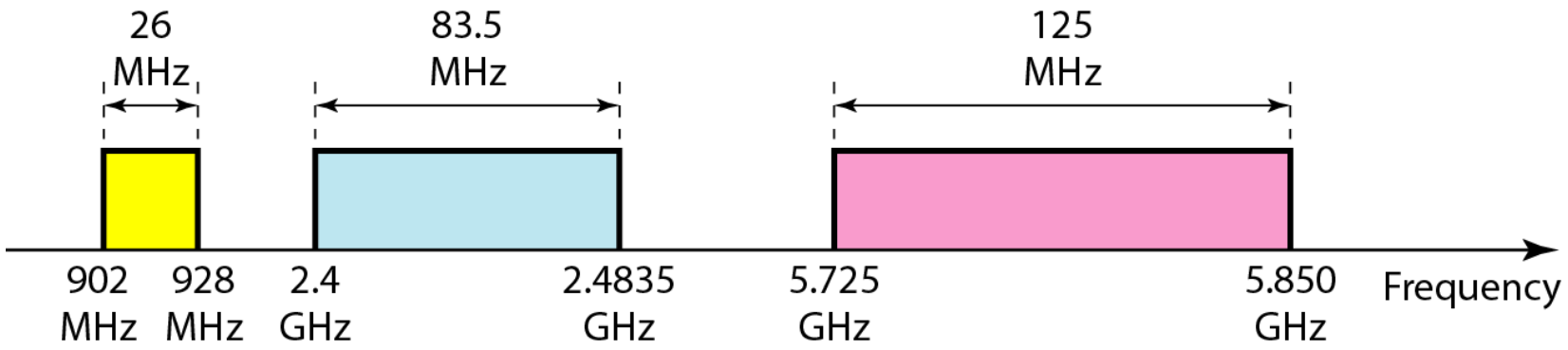
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

ISM pásma

- bezlicenčné ISM pásma (Industrial, Scientific, Medical)



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

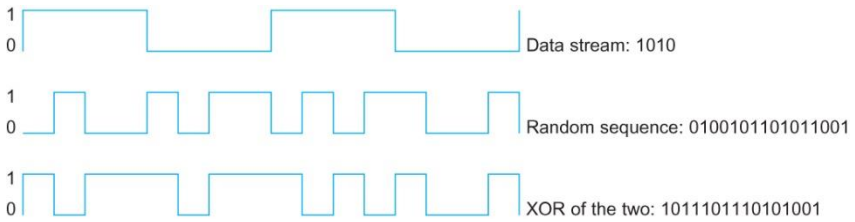
bezdrôtové spojenie

- obyčajne jedna strana mobilná a druhá statická (base station) s pripojením na drôtovú sieť
- podpora point-to-multipoint komunikácie
- komunikácia medzi mobilnými stranami len prostredníctvom bázových staníc (obyčajne aj s možnosťami prechodu)
- Mesh resp. Ad-hoc siete – rovnocenné stanice

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

Techniky rozprestrenia spektra (Spread-spectrum)

- limitovaná sila signálu (vysielač)
  - obmedzený dosah, vyššie interferencie
- Frequency hopping
  - zmeny frekvencií podľa PRNG, synchronizácia na príjme
- Direct sequence
  - každý bit je reprezentovaný postupnosťou n bitov
  - odošle sa (bit XOR n-bitová PRNG sekvencia) – chipping code – rozšíri prenosové pásmo



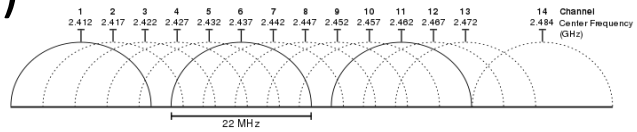
EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

IEEE 802.11

- IEEE (1990) štandardy pre protokol a špecifikácie poloduplexného bezdrôtového prenosu v lokálnych počítačových sieťach
  - Frequency hopping (79x 1 MHz kanál)
  - Direct sequence (11 bitové čipy)



- 802.11b (do 11 Mb/s), 802.11g (do 54 Mb/s) pásmo 2,4 GHz (rozdelené na 14 kanálov šírky 22 MHz s odstupom 5 MHz)
- 802.11a, 802.11ac pásmo 5 GHz (8 + 11 kanálov bez prekr.) (802.11n – obidve pásma – s 4 anténami MIMO až 600 Mb/s)
- 802.11ax 6 GHz do 9,6 Gb/s
- Wi-Fi Alliance (2002) – Wireless Fidelity

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

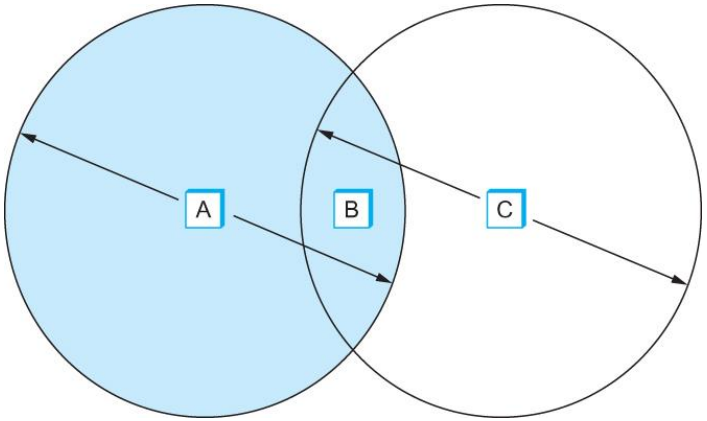
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

problémy všesmerovej komunikácie

B môže komunikovať s A aj C, C len s B a A len s B

Ak A aj C bude chcieť komunikovať s B súčasne, dôjde ku kolízii, ktorú ale nezaregistrujú A ani C (hidden nodes)



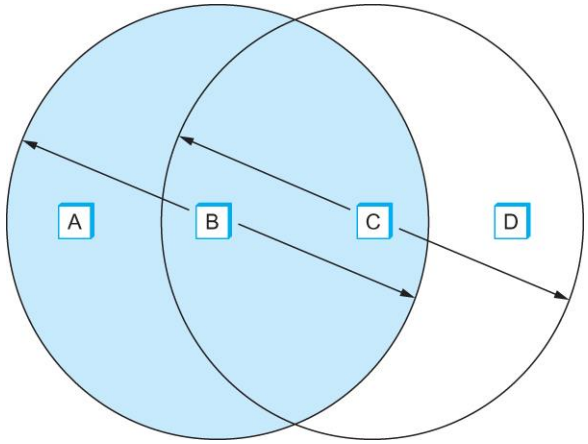
EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

problémy všesmerovej komunikácie

B posiela rámec k A, C počuje a nebude vysielať k D (aj keby mohol) – (exposed node)



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

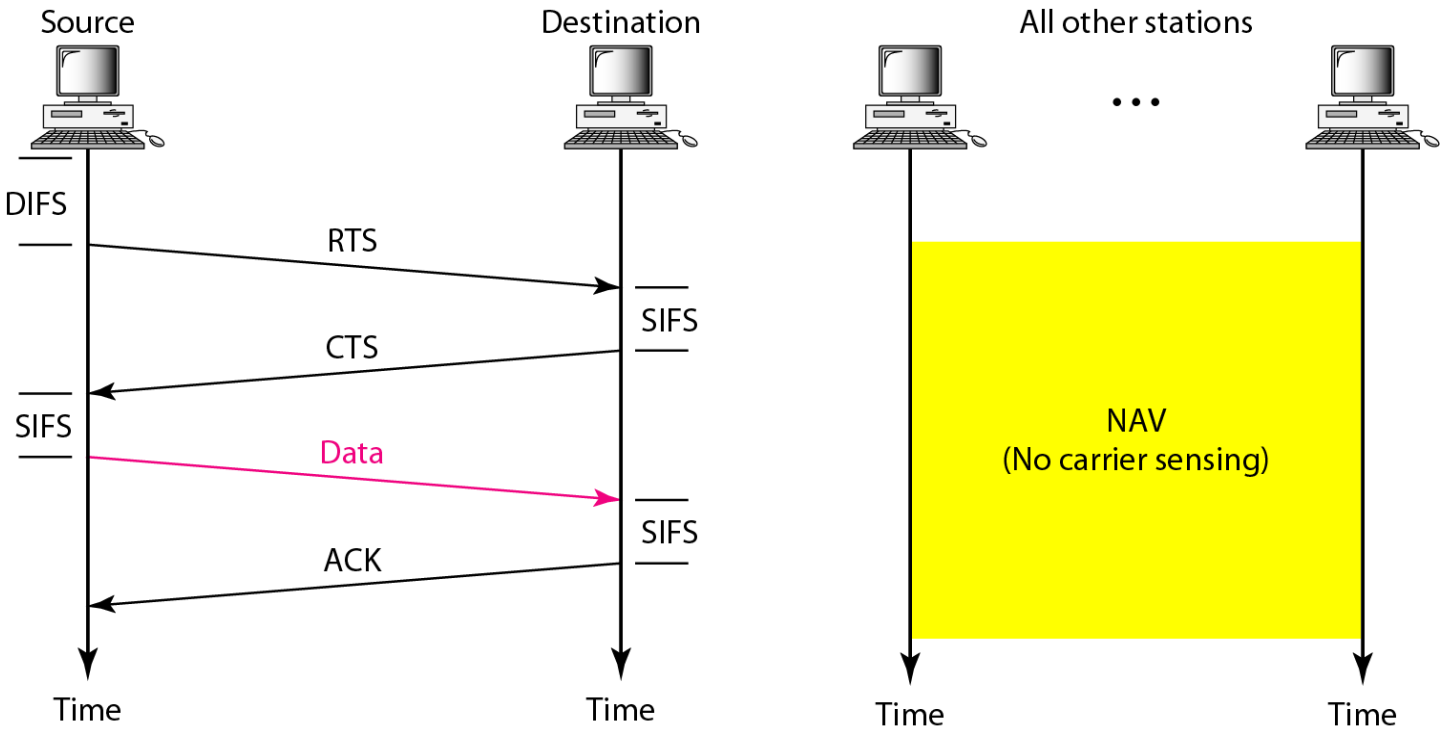
predchádzanie kolíziám MACA

MACA – Multiple Access with Collision Avoidance

- vysielač a prijímač si vymenia informácie pred vysielaním
- RTS – Request to Send – pošle vysielač s očakávaným časom na využite kanála (dĺžka rámca)
- CTS – Clear to Send – prijímač potvrdí žiadosť vysielaču
- ak stanica zachytí CTS – musí príslušný čas vyčkať, kedy sa uvoľní prijímač (aj keď nezachytí komunikáciu od vysielača)
- ak stanica zachytí RTS ale nie CTS – je dosť ďaleko od prijímača a teda môže vysielať vo svojom okolí

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

DCF (Distributed Coordination Function)



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM
ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

potvrdenia v MACA

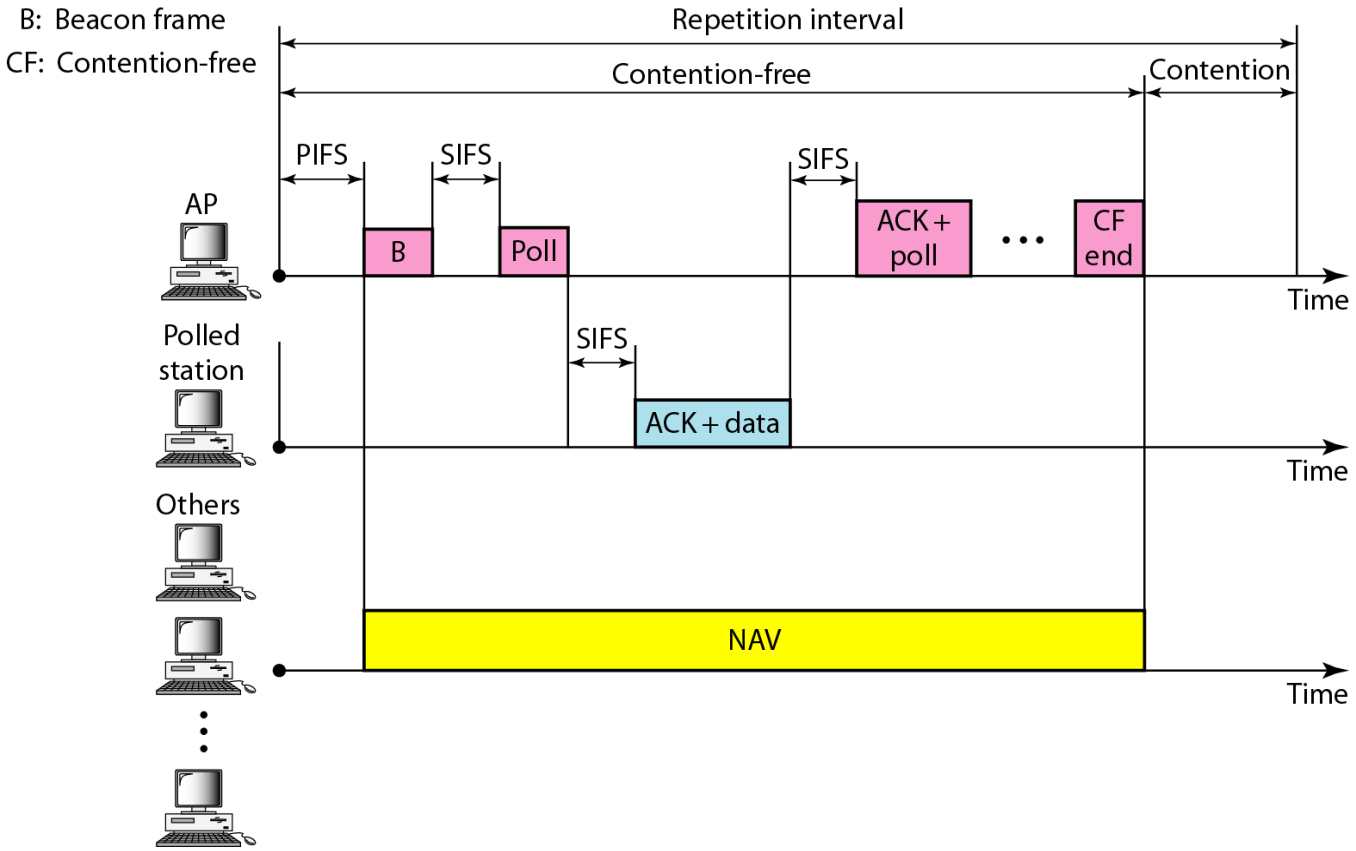
- MACAW – pre WLAN - po úspešnom prijatí rámca pošle prijímač potvrdenie ACK
- stanice pokračujú vo vysielaní až po prijatí ACK
- ak viac staníc chce začať vysielať RTS rámcom, dôjde ku kolízii, ktorú 802.11 nedetekuje
  - ak vysielač nedostane CTS vo vymedzenom čase (time-out) konštatuje vznik kolízie
  - začne opäť vysielať RTS po náhodnom časovom intervale (ako exponential backoff v Ethernete)

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

medzirámcové intervaly

- SIFS – Short InterFrame Spacing – next fragment
- high priority traffic (voice)
- DIFS – DCF InterFrame Spacing
- low priority traffic
- EIFS – Extended InterFrame Spacing – bad frame

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk



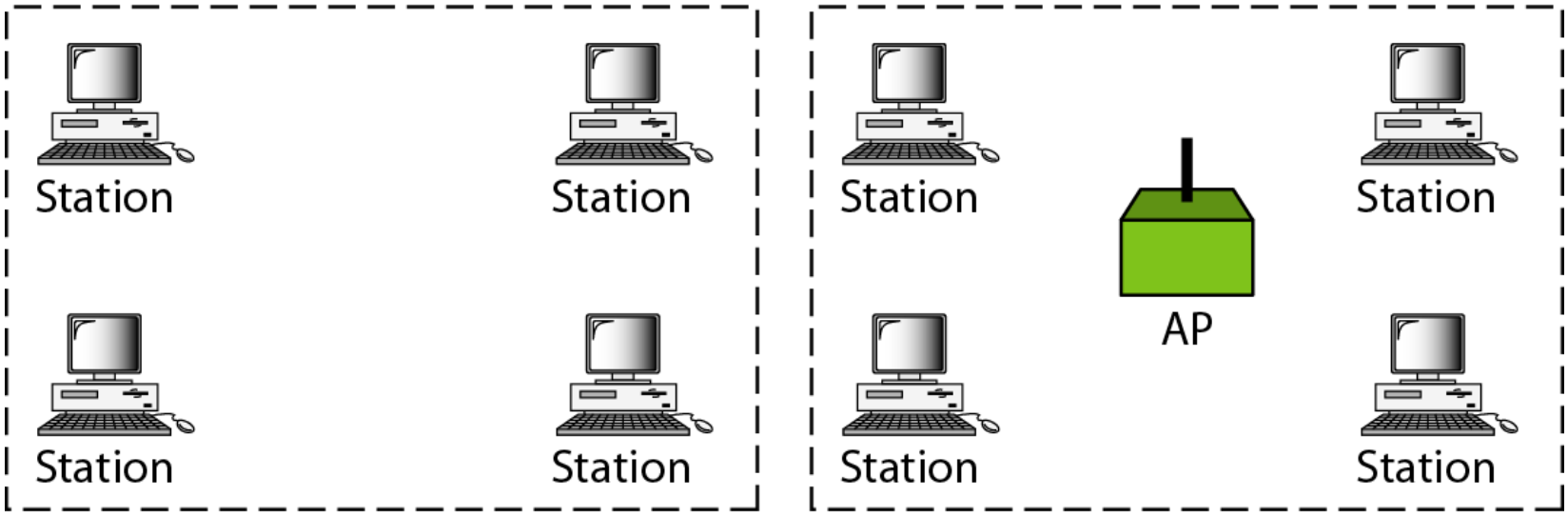
EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

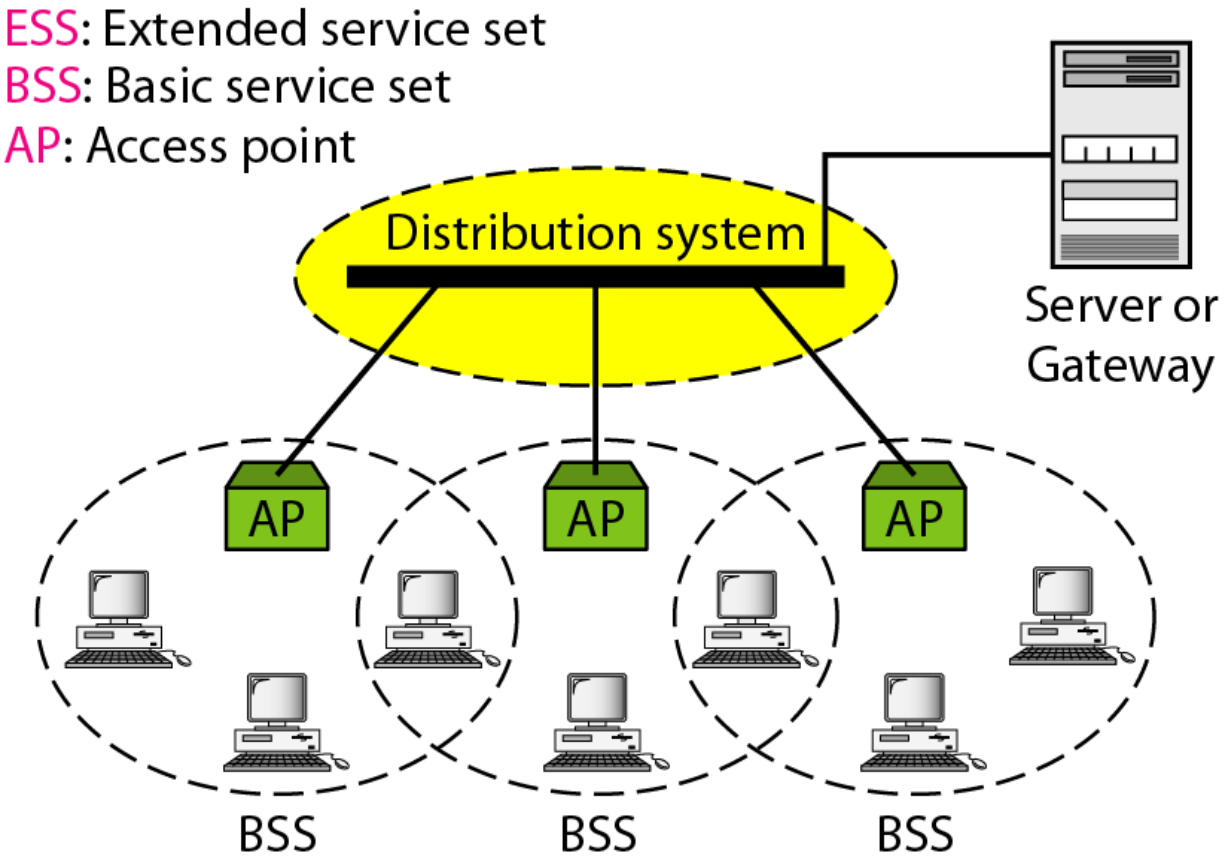
organizácia WLAN
Ad hoc a Infrastructure

BSS: Basic service set
AP: Access point



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

Distribučný systém



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

Identifikácia staníc a služby DS

- SSID (resp. ESSID) – 32 znakov – meno siete
  identifikácia ESS – pre všetky BSS v ESS
- BSSID – 6 bajtov – obyčajne MAC adresa AP
  identifikácia BSS

  napr. eduroam(00:1f:9d:21:e6:cf)

Služby DS:

- SS (Station Services) – Authentication, Deauthentication, Privacy, MSDU (MAC Service Data Unit) Delivery
- DSS – Association, Reassociation, Disassociation, Distribution, Integration

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

Výber vhodného AP (scanning)

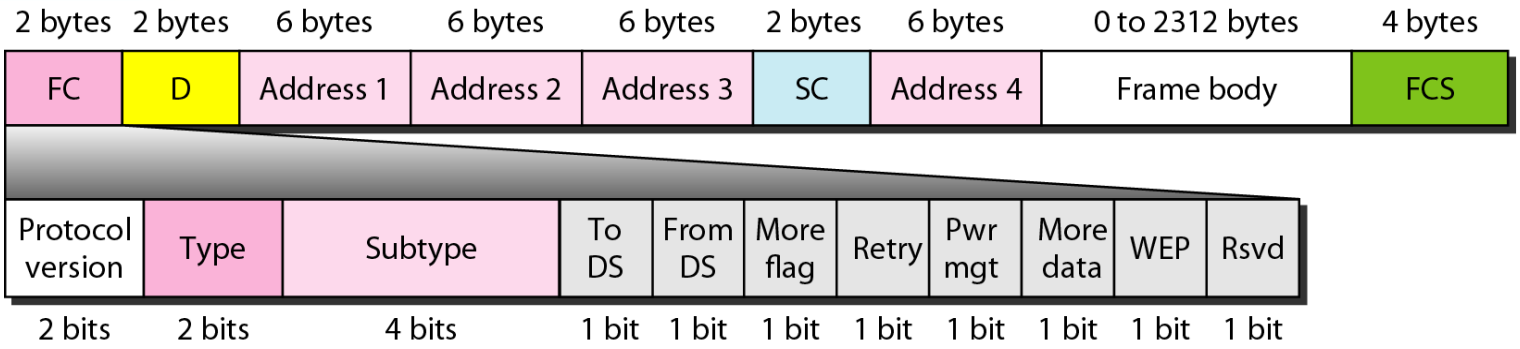
- stanica pošle rámec Probe
- AP v dosahu pošlú odpoveď Probe Response
- stanica vyberie jednu (podľa kvality spojenia) a pošle rámec Association Request
- AP odpovie rámcom Association Response
- ak sa zhorší kvalita signálu (resp. pri premiestnení stanice) sa môže stanica znova asociovať (nový AP upozorní starý cez DS) Reassociation
- passive scanning – AP vyzýva stanice periodicky rámcom Beacon

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA V BANSKEJ BYSTRICI

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

Formát rámca IEEE 802.11



- Frame Control – 16 bitov – riadenie rámca; D - Duration
  - 6 bitov - typ rámca (RTS, CTS, Probe, Assoc., Beacon, Data ..)
  - ToDS, FromDS
  - 00 – vysielanie v BSS – Addr1 = dst - Addr2 = src (ad hoc)
  - 11 – do inej BSS - Addr1 = dst - Addr2 = adresa cieľového AP - Addr3 = adresa zdrojového AP - Addr4 = src

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

Bezpečnosť 802.11 Wireless LAN

- bezdrôtovú komunikáciu je možné zachytiť akýmkoľvek rádiovým prijímačom v dosahu vysielača
- pôvodné zabezpečenie WEP (Wired Equivalent Privacy) nie je dostatočne kryptograficky silné - rieši len autentifikáciu stanice a používa 40b kľúč k RC4
- riešenie bezpečnosti v štandardizačnej skupine 802.11i
  - Wi-Fi Alliance - **Wi-Fi Protected Access (WPA)**
  - 802.11i - **Robust Security Network (RSN) tiež WPA2**
  - **WPA3** (802.11-2016) forward secrecy, 128/192 b kľúče

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

IEEE 802.11i

WPA (Wi-Fi Protected Access) – len TKIP (Temporal Key Integrity Prot.)
strieda niekoľko dočasných kľúčov pre RC4 – zraniteľný (v implementácii)
MIC (Michael Message Integrity Code 64b) namiesto CRC

WPA2 – tiež od Wi-Fi (Wireless Fidelity Alliance)

- CCMP Counter Cipher Mode with Block Chaining Massage Auth. Prot.
  AES (128 b) dôvernosť a integrita (útoky Key Reinstallation KRACK, Kr00k)
- open – personal Pre-shared Key (PSK) (overenie stanice) – Enterprise
  (overenie používateľa autentifikačným serverom – Radius, Kerberos ...)

WPA3 (2020) Enterprise - AES-256 v GCM režime a SHA-384 v HMAC
Personal – AES-128 v CCM

- Simultaneous Authentication of Equals (SAE) – PSK+DH (forward secrecy)
  IEEE 802.11s – wireless mesh network

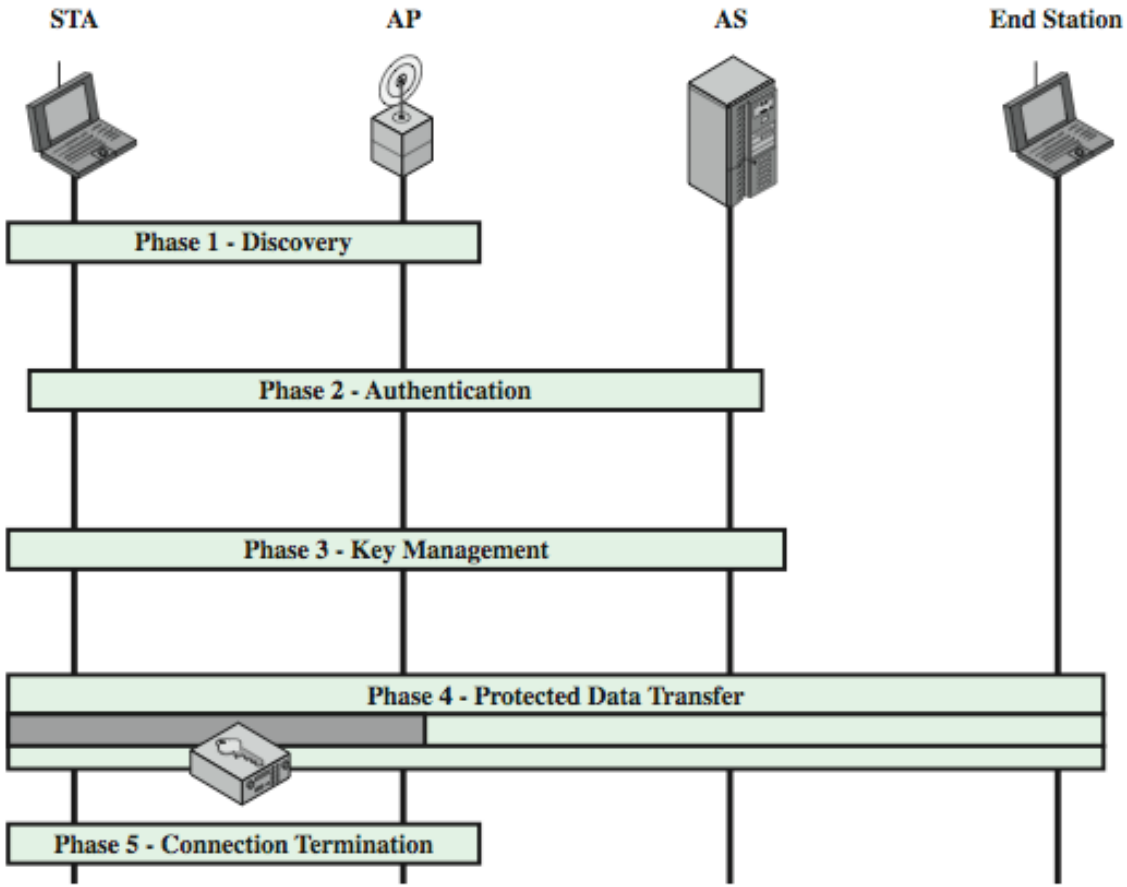
EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA V BANSKEJ BYSTRICI
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

využitie autentifikácie IEEE 802.1x

- IEEE autentifikačný protokol
  - suplikant (stanica, sw)
  - autentifikátor (AP, prepínač ...)
  - autentifikačný server (Radius ...)
- pre prenos dát - protokol EAP (Extensible Authentication Protocol)
  - AP -> STA žiadosť o identifikáciu EAP Request/Id
  - STA -> AP identifikačné údaje EAP Response/Id
  - AP -> AS výzva – ak neodmietne identitu
  - AS -> STA žiadosť o poskytnutie aut. údajov EAP Request
  - STA -> AS posiela aut. údaje EAP Response
  - AS -> EAP-Success / EAP-Failure

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

802.11i pracovné fázy



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

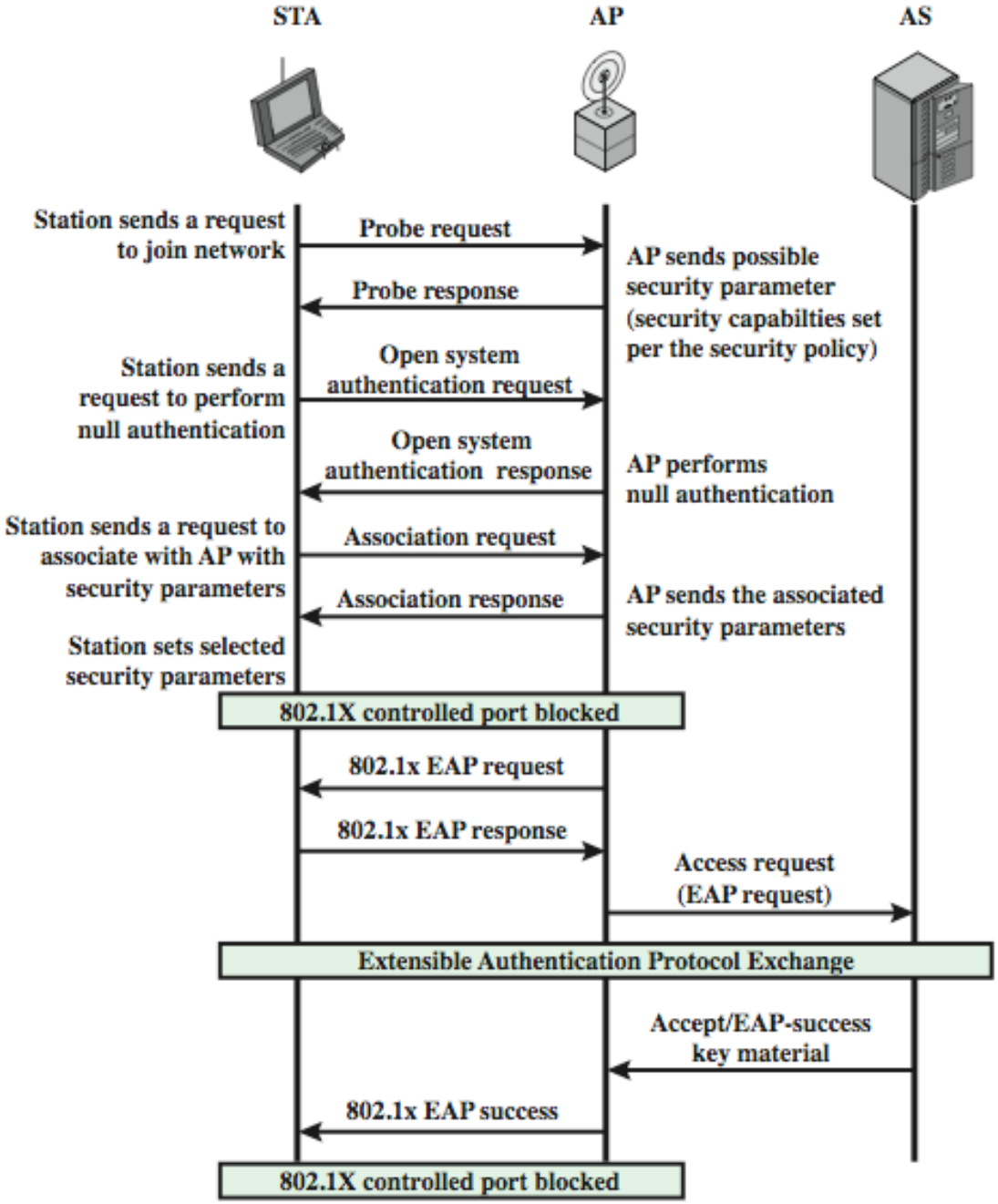
OPERAČNÝ PROGRAM
ĽUDSKÉ ZDROJE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

802.11i – fázy sprístupnenia (discovery) a autentifikácie

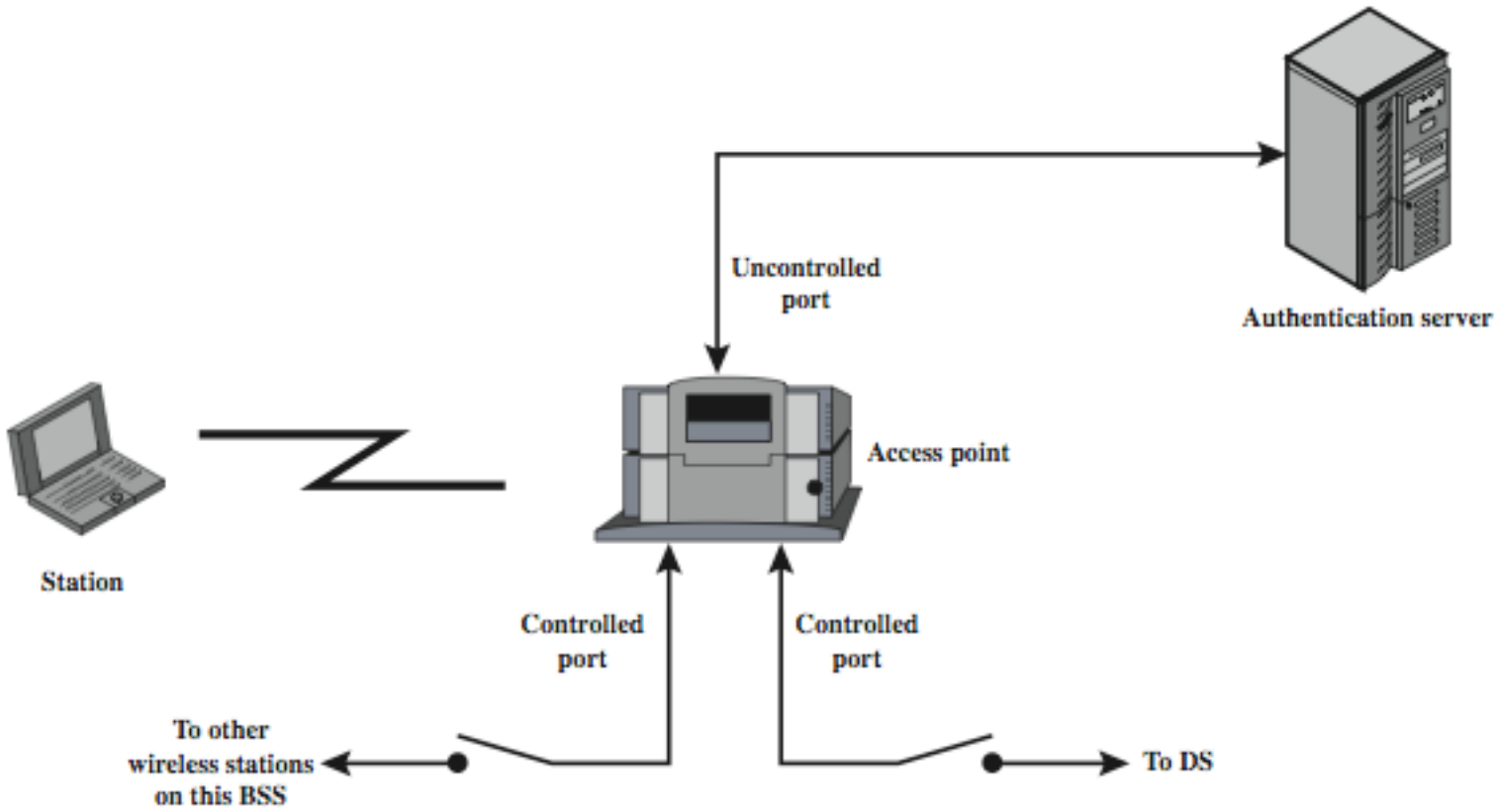


EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálr

www.minedu.sk

IEEE 802.1X riadenie prístupu



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
UNIVERZITA MATEJA BELA

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

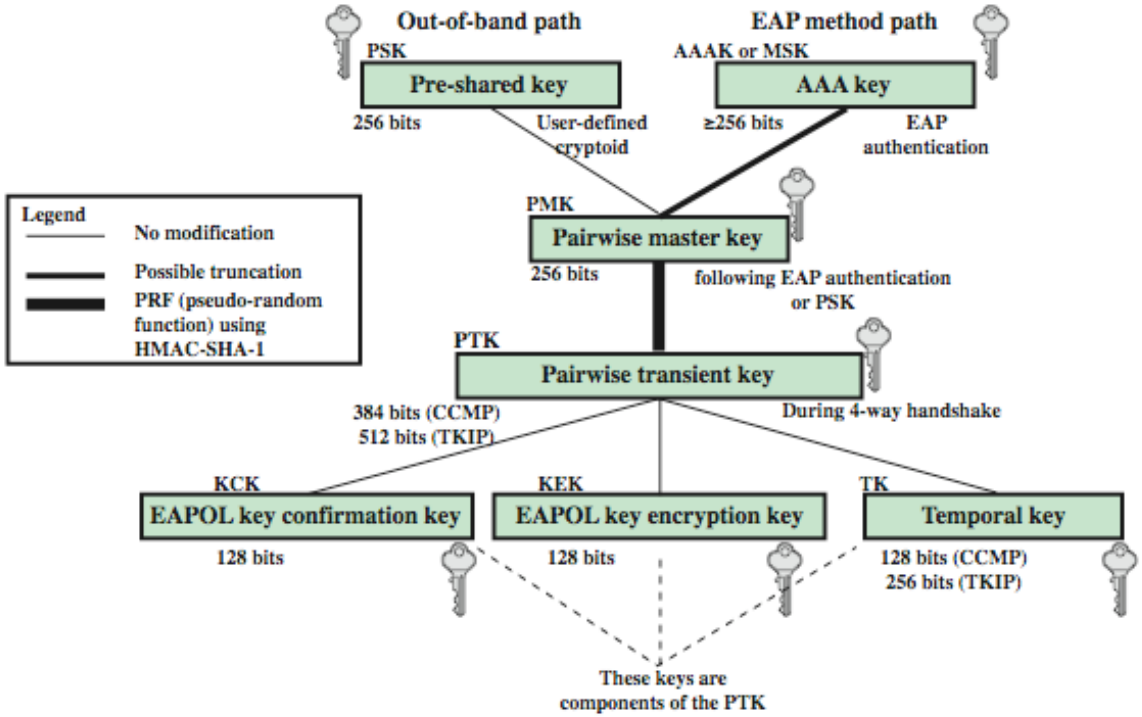
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

využitie EAP (Extensible Authentication Protocol)

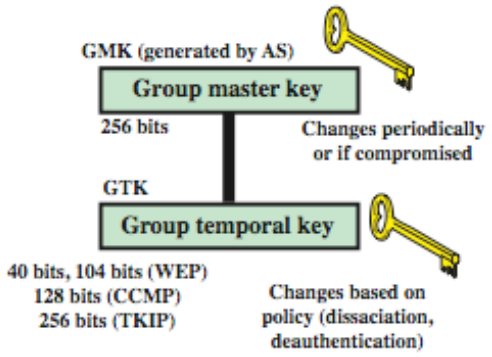
- EAPOL – EAP over LAN - do Ethernetovských rámcov
- EAPoW – EAP over Wireless - Eth. rámce do 802.11
- RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service)
  - vlastný protokol, EAP správy sa vkladajú do správ RADIUS
  - komunikuje autentifikátor
  - AAA Authorization, Authentication, Accounting
- rôzne procesy overenia
  - PAP (Password Authentication Protocol)
  - CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol)
  - PEAP (Protected Extensible AP), EAP-MS-CHAPv2 (Eduroam)

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja
OPERAČNÝ PROGRAM ĽUDSKÉ ZDROJE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVA, VEDY, VÝSKUMU A ŠPORTU SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje
www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk

vytváranie dočasných relačných a skupinových kľúčov



(a) Pairwise key hierarchy



(b) Group key hierarchy

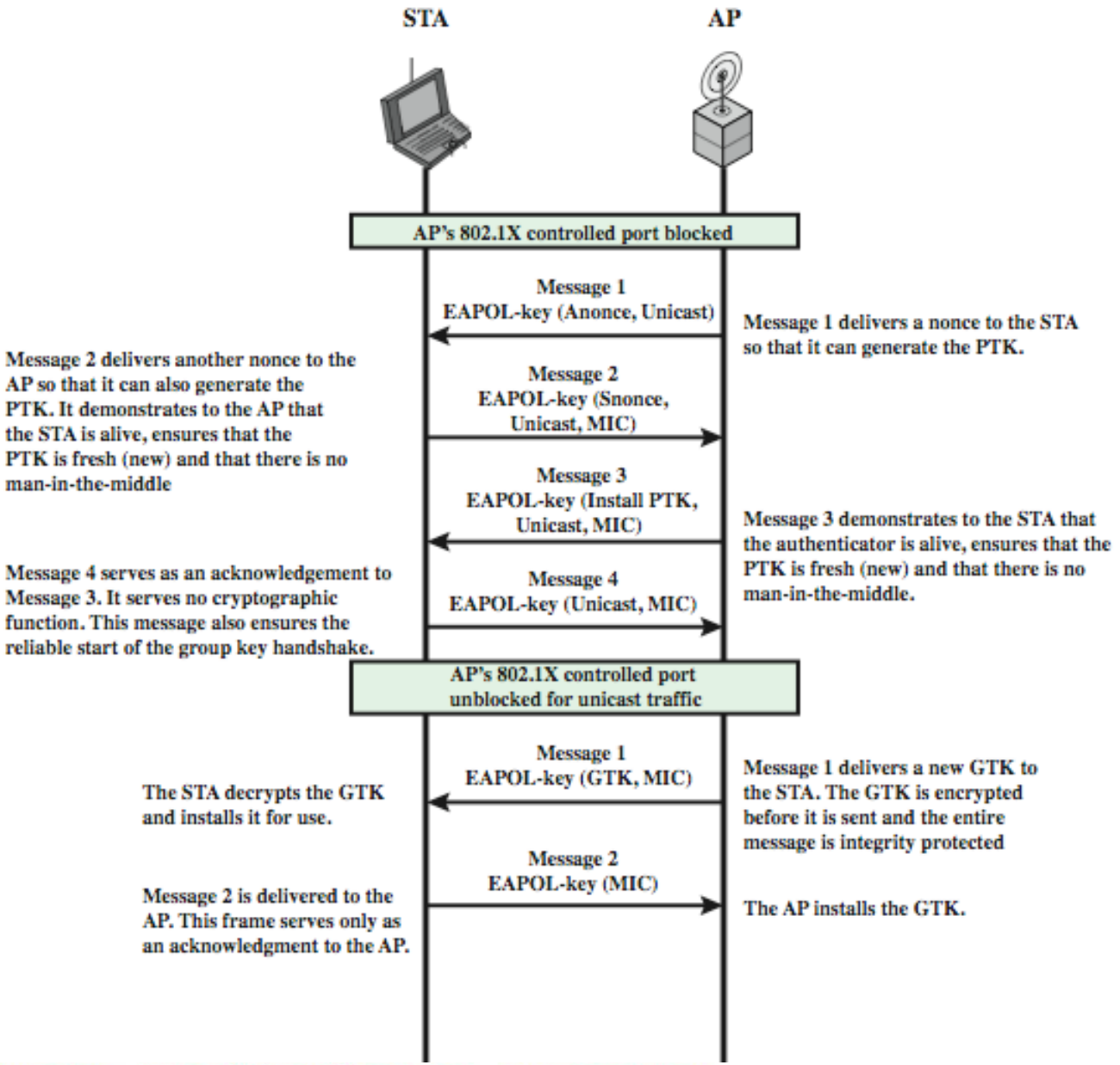
EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho s

www.minedu

802.11i fáza distribúcie kľúčov

Key Management



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Eur

ww

Literatúra

B. A. Forouzan : Data Communications and Networking, 5. ed., McGraww-Hill 2013, ISBN 978-0-07-337622-6, chapter 15

W. Stallings, L. Brown : Computer Security - principles and practice, 3. ed., Pearson 2017, ISBN 978-0-13-377392-7, chapter 24

P. C. van Oorschot : Computer Security and the Internet, 2. ed., Springer 2021, ISBN 978-3-030-83410-4, chapter 12

EURÓPSKA ÚNIA
Európsky sociálny fond
Európsky fond regionálneho rozvoja

OPERAČNÝ PROGRAM
ĽUDSKÉ ZDROJE

MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento projekt sa realizuje vďaka podpore z Európskeho sociálneho fondu a Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Ľudské zdroje

www.minedu.sk www.employment.gov.sk/sk/esf/ www.itakademia.sk