

## **Prenos dát v koaxiálnych prístupových sieťach – technológia DOCSIS**

## Obsah

1	Data Over Cable Service Interface Specification.....	3
1.1	Všeobecná charakteristika systémov DOCSIS.....	3
1.1.1	Fyzická vrstva .....	4
1.1.2	Linková vrstva.....	4
1.1.3	Sieťová vrstva.....	4
1.1.4	Prenosové rýchlosti .....	5
1.1.5	Hardvérové komponenty .....	6
1.1.6	Bezpečnosť .....	7
1.2	DOCSIS 3.0.....	8
1.2.1	Spájanie kanálov (bonding) pre smer downstream .....	8
2	Literatúra .....	9

# 1 Data Over Cable Service Interface Specification

Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) je medzinárodný štandard, ktorý umožňuje prenášať dáta vysokou rýchlosťou cez televízne káblové rozvody - cable TV (CATV) system. Mnohí kábloví operátori dnes používajú niektorú z verzií DOCSIS vo svojej hybridnej káblovej sieti (jadro siete tvorí optická sieť, pričom v jej okrajoch je použitá klasická koaxiálna sieť).

DOCSIS je výsledkom úsilia konzorcia CableLabs a taktiež spoločností 3Com, ARRIS, BigBand Networks, Broadcom, Cisco, Conexant, Correlant, Harmonic, Hitron Technologies, Intel, Motorola, Netgear, Technicolor, Terayon, Time Warner Cable, and Texas Instruments.

V súčasnosti sú známe tieto verzie DOCSIS:

- DOCSIS 1.0 – uvoľnený v marci 1997, pričom využíval technológie používané v dovtedy proprietárnych sieťach, konkrétne proces provisioningu od fy The LANcity (DHCP/TFTP/TOD), 64 stavovú QAM moduláciu s využitím čipov od Broadcom a proprietárne vlastnosti fyzickej a MAC vrstvy v smere upstream.
- DOCSIS 1.1 – uvoľnený v apríli 1999 obsahoval špecifikáciu QoS mechanizmov, ktoré boli načrtnuté v štandarde DOCSIS 1.0.
- DOCSIS 2.0 – uvoľnený v decembri 2001 riešil najmä problém zvýšenia prenosovej rýchlosti v smere upstream. Táto požiadavka vyplynula z potreby prevádzkovať symetrické služby ako je napr. VoIP.
- DOCSIS 3.0 – uvoľnený v auguste 2006 priniesol podstatné zvýšenie prenosovej rýchlosti v smere upstream aj downstream a tiež priniesol podporu protokolu IPv6.
- DOCSIS 3.1 – prvá verzia bola uvoľnená v októbri 2013 a následne bol niekoľkokrát aktualizovaná. Prináša podporu prenosových rýchlostí až 10 Gb/s pre downstream a 1Gb/s pre upstream s použitím 4096 stavovej QAM modulácie. Tento štandard už nepoužíva kanály so šírkou 6 MHz alebo 8 MHz, ale namiesto toho využíva subkanály so šírkou od 20 do 50 kHz, ktoré sú vložené v OFDM multiplexe. Samotné subkanály z rôznych 6 alebo 8 MHz kanálov môžu byť navzájom zviazané do jedného toku, ktorého celková šírka pásma, ktorý zaberá môže byť až cca 200 kHz. Tento štandard takisto prináša mechanizmy pre zníženie spotreby energie – environmentálny prístup.

Medzi jednotlivými verziami DOCSIS existuje spätná kompatibilita, pričom pri používaní rozdielnych verzií sa modernejšie zariadenia prispôbia zariadeniu s najnižšou verziou.

## 1.1 Všeobecná charakteristika systémov DOCSIS

Ďalší dôležitým faktom je, že frekvenčný plán kanálov a najmä samotná šírka kanálov sú rôzne pre televíziu v Európe a na Americkom kontinente. V USA a Kanade sa v káblových rozvodoch využíva systém ATSC, ktorého kanály sú široké 6 MHz a v Európe sa využíva PAL s 8 MHz kanálmi. Preto v Európe pre všetky verzie DOCSIS staršie ako 3.1 vznikli ich európske varianty nazývané ako EuroDOCSIS. Väčšia šírka kanálov v EuroDOCSIS umožňuje dosahovať vyššie prenosové rýchlosti. Samotná certifikácia EuroDOCSIS zariadení je v patronáte Belgickej spoločnosti Excentis (známa tiež ako tComLabs) a certifikácia DOCSIS zariadení je v patronáte CableLabs. Certifikujú sa iba modemy, pričom zariadenia na strane operátora CMTS nezískávajú certifikáciu, ale kvalifikáciu.

Niektoré verzie DOCSIS sú taktiež definované aj v odporúčaniach ITU-T. Napríklad DOCSIS 2.0 je definovaný v odporúčaní J.122 a EuroDOCSIS 2.0 v prílohe F odporúčania J.122. DOCSIS 3.0 je definovaný v odporúčaniach J.222.0 až J.222.3.

### 1.1.1 Fyzická vrstva

Na fyzickej vrstve má DOCSIS tieto parametre:

#### Frekvenčné pásmo:

- **Downstream:** Používa sa pásmo 50-1002 MHz pre DOCSIS 3.0, samozrejme, že nie je nutné využívať celé pásmo.
- **Upstream:** Pre DOCSIS 3.0 sa používajú pásma 5-42 MHz, alebo 5-85 MHz, pričom nie je nutné využívať celé pásmo.

#### Šírka kanála:

- **Downstream:** Všetky verzie DOCSIS pred verziou 3.1 využívajú kanály so šírkou 6 MHz v severnej Amerike a 8 MHz v Európe.
- **Upstream:** DOCSIS 1.0/1.1 špecifikuje kanál so šírkou od 200 kHz do 3.2 MHz. DOCSIS 2.0 poskytuje aj kanály so šírkou 6.4 MHz, ale spätne podporuje aj užšie kanály, t.j. je spätne kompatibilný s DOCSIS 1.0/1.1.

#### Modulácie:

- **Downstream:** Všetky verzie DOCSIS definujú modulácie 64-QAM alebo 256-QAM..
- **Upstream:** Využíva pri DOCSIS 1.x 16-QAM. DOCSIS 2.0 a 3.0 používa QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, a 64-QAM. DOCSIS 3.0 používa aj 128-QAM a S-CDMA. DOCSIS 3.1 podporuje aj 4096-QAM.

### 1.1.2 Linková vrstva

DOCSIS používa pre prístup v smere upstream metódu TDMA (DOCSIS 1.0 až 3.1) a CDMA (DOCSIS 2.0 až 3.1). Od verzie 1.1 podporuje aj QoS, čo je potrebné pre zabezpečenie služieb s nízkou latenciou ako je napr. VoIP. Od verzie 3.0 je implementovaná aj podpora bondingu v smere downstream, čiže spájanie viacerých downstream kanálov.

Priepustnosť v smere upstream je 30.72 Mbit/s v jednom 6.4 MHz kanáli a 10.24 Mbit/s v jednom 3.2 MHz kanáli.

Priepustnosť v smere downstream je do 42.88 Mbit/s pre 6 MHz kanál a 55.62 Mbit/s pre 8 MHz kanál pri EuroDOCSIS. V smere downstream možno použiť modulácie až do 256-QAM.

### 1.1.3 Sieťová vrstva

Manažment modemov všetkých verzií možno vykonávať prostredníctvom IP siete (podpora IPv4), pričom modemy verzie 2.0 možno upgradovať na verziu 2.0+, ktorá umožňuje vzdialenú správu prostredníctvom IPv6. Samozrejme, že všetky vyššie verzie (3.0 a 3.1) podporujú správu aj prostredníctvom IPv6.

### 1.1.4 Prenosové rýchlosti

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené parametre jednotlivých verzií DOCSIS a taktiež prenosové rýchlosti pre smery downstream a upstream pri použití 256-QAM v smere downstream. Prenosové rýchlosti uvedené bez zátvoriek sú na fyzickej vrstve a údaje v zátvorkách sú na aplikačnej vrstve.

Verzia	Downstream						Upstream				
	Konfigurácia kanálov				Priepustnosť DOCSIS	Priepustnosť EuroDOCSIS	Konfigurácia kanálov				Priepustnosť v smere upstream
	Minimálny počet kanálov	Minimálny počet kanálov, ktoré musí modem podporovať	Zvolený počet kanálov	Maximálny počet kanálov			Minimálny počet kanálov	Minimálny počet kanálov, ktoré musí modem podporovať	Zvolený počet kanálov	Maximálny počet kanálov	
<b>1.x</b>	1	1	1	1	42.88 Mb/s (38 Mb/s)	55.62 Mb/s (50 Mb/s)	1	1	1	1	10.24 Mb/s (9 Mb/s)
<b>2.0</b>	1	1	1	1	42.88 Mbit/s (38 Mb/s)	55.62 Mb/s (50 Mb/s)	1	1	1	1	30.72 Mb/s (27 Mb/s)
<b>3.0</b>	1	4	<i>m</i>	nedefinované	<i>m</i> ×42.88 Mb/s ( <i>m</i> ×38 Mb/s)	<i>m</i> ×55.62 Mb/s ( <i>m</i> ×50 Mb/s)	1	4	<i>n</i>	nedefinované	<i>n</i> ×30.72 Mb/s ( <i>n</i> ×27 Mb/s)

Nasledujúca tabuľka uvádza maximálne prenosové rýchlosti pre DOCSIS 3.0 pri spájaní kanálov (bonding).

Konfigurácia kanálov		Priepustnosť v smere downstream		Priepustnosť v smere upstream
Počet kanálov pre downstream	Počet kanálov pre upstream	DOCSIS	EuroDOCSIS	
4	4	171.52 Mb/s (152 Mb/s)	222.48 Mb/s (200 Mb/s)	122.88 Mb/s (108 Mb/s)
8	4	343.04 Mb/s (304 Mb/s)	444.96 Mb/s (400 Mb/s)	122.88 Mb/s (108 Mb/s)
16	4	686.08 Mb/s (608 Mb/s)	889.92 Mb/s (800 Mb/s)	122.88 Mb/s (108 Mb/s)
24	8	1029.12 Mb/s (912 Mb/s)	1334.88 Mb/s (1200 Mb/s)	245.76 Mb/s (216 Mb/s)
32	8	1372.16 Mb/s (1216 Mb/s)	1779.84 Mb/s (1600 Mb/s)	245.76 Mb/s (216 Mb/s)

Uvedené prenosové rýchlosti je potrebné chápať ako orientačné, keďže operátor neprideluje celú dostupnú kapacitu jednému používateľovi. V praxi často dochádza k tomu, že operátor nikdy nepripája do siete toľko účastníkov, koľko by mohla zvládnuť, čím si vytvára bezpečnostnú rezervu pre prípad zhoršenia šumových pomerov v káblovom rozvode. Samotné prenosové rýchlosti taktiež závisia od počtu kanálov, ktoré možno použiť v smere upstream a downstream.

Pozn.: Maximálna prenosová rýchlosť v smere downstream je závislá od verzie DOCSIS a taktiež od počtu upstream kanálov, ak je použitý systém DOCSIS 3.0. Na rozdiel od toho maximálna prenosová rýchlosť pre smer upstream nezávisí od toho, či je použitý systém DOCSIS alebo EuroDOCSIS.

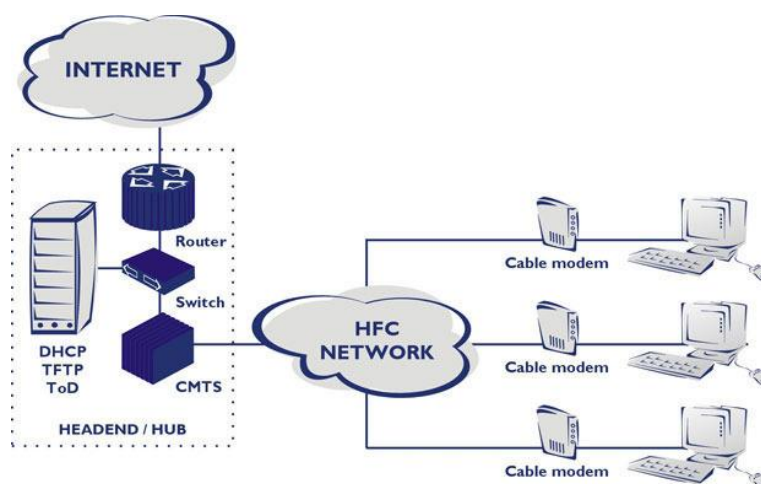
### 1.1.5 Hardvérové komponenty

Architektúra DOCSIS obsahuje dva základné komponenty:

- Káblový modem (Cable Modem – CM), ktorý sa nachádza u zákazníka
- Ukončovací systém káblového modemu (Cable Modem Termination System - CMTS), ktorý sa nachádza na strane operátora.

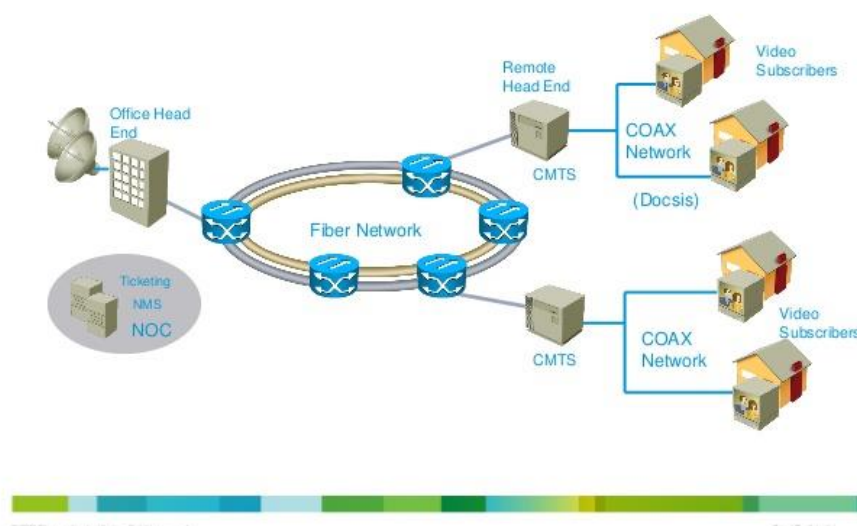
Káblové systémy zvyčajne fungujú ako hybridné systémy, pričom chrbticová sieť je tvorená ako optická sieť a k zákazníkovi je privedené koaxiálne vedenie. V miestach, kde dochádza k prechodu medzi optickou a koaxiálnou sieťou sa nachádzajú prevodníky, ktoré prijímané signály konvertujú na televízne RF signály a modemové signály v koaxiálnej sieti.

DOCSIS modem u zákazníka obsahuje iba jeden F konektor pre pripojenie sa do koaxiálnej siete, t.j. upstream a downstream komunikácia prebieha cez jeden port. Naproti tomu zariadenie CMTS má viac portov pre upstream ako pre downstream. Dôvodom tejto koncepcie je fakt, že v smere upstream je väčší šum ako v smere downstream. Z uvedeného dôvodu downstream port obsluhuje viac zákazníkov ako jeden upstream port. Zvyčajne na jeden downstream port pripadá 4 až 6 upstream portov.



*Principiálna architektúra DOCSIS siete*

## HFC Cable Networks



*Hybridná prístupová sieť s technológiou DOCSIS*

Preto aby mohol byť nasadený DOCSIS, je potrebné do káblovej siete implementovať zosilňovače, ktoré zosilňujú signál v oboch smeroch. V klasickom televíznom káblovom rozvode bol zabezpečený prenos RF signálu iba v smere downstream.

Konfigurácia káblového modemu sa vykonáva centrálnne z CMTS.

### 1.1.6 Bezpečnosť

Pri technológii DOCSIS je potrebné z hľadiska bezpečnosti realizovať tieto dve základné funkcie:

- Poskytnúť bezpečnú komunikáciu pre používateľov – nutnosť šifrovania prenášaných dát

- Poskytnúť zabezpečenú prevádzku siete a poskytovaných služieb z pohľadu operátora, t.j. zamedziť prevádzke neautorizovaných modemov alebo neautorizovaných používateľov

Z hľadiska šifrovania možno použiť 56 bitovú šifru DES a od verzie DOCSIS 3.0 aj 128 bitovú šifru AES. Kvôli zvýšeniu bezpečnosti dochádza k periodickej aktualizácii šifrovacích kľúčov s periódou, ktorú môže operátor nastaviť na CMTS.

Autentifikácia sa môže vykonávať viacerými spôsobmi, medzi ktoré patria:

- Digitálny certifikát
- Kľúč PKI (Public Key Infrastructure)
- Na základe MAC adresy modemu

## 1.2 DOCSIS 3.0

V nasledujúcich podkapitolách sú uvedené detailnejšie informácie o vlastnostiach technológie DOCSIS vo verzii 3.0.

### 1.2.1 Spájanie kanálov (bonding) pre smer downstream

Pre zabezpečenie vyšších prenosových rýchlostí (ktoré prevyšujú prenosovú rýchlosť jedného kanála) pre klienta je potrebné spojiť viacero kanálov v smere downstream. Táto funkcionality pribudla vo verzii 3.0. Samozrejme, že je potrebné zabezpečiť, aby ostali klienti, ktorých modemy (CM) nepodporujú spájanie kanálov mohli aj naďalej fungovať v sieti.

Princíp fungovania je jednoduchý a spočíva v distribúcii paketov smerujúcich CMTS ku CM vo viacerých kanáloch so šírkou 6 MHz alebo 8 MHz, v závislosti od regiónu (USA, Európa). Každý paket je označený značkou, ktorá obsahuje sekvenčné číslo, aby sa zachoval sled dát v prípade rôznej, že je latencia kanálov odlišná. CM obsahuje viacero prijímačov, ktoré prijímajú pakety vo všetkých kanáloch, na ktorých CM počúva. Po prijatí sú pakety preusporiadané pomocou sekvenčného čísla a následne sú odoslané von rozhraním do siete zákazníka.

Všetky spojené kanály, ktoré prijíma jeden CM, tvoria tzv. skupinu downstream kanálov (Downstream Bonding Group - DBG). Skupina DBG štandardne obsahuje aspoň dva kanály, pričom môže krátkodobo obsahovať aj jeden kanál, ale iba počas prechodných stavov. Kanály, ktoré tvoria DBG skupinu nemusia byť susedné kanály, ale ľubovoľné kanály, ktoré dynamicky vyberie CMTS a oznámi ich CM.

V praxi často nastáva situácia, že viacero CM je naladených na jednu DBG (počúva tie isté kanály). Zdieľaním jednej a tej istej DBG sa dosahuje rovnomernejšie vytťaženie kanálov DBG. Inak povedané všetky CM v rámci DBG využívajú štatistický multiplex, a tým pádom dochádza k lepšiemu využitiu prenosovej kapacity DBG. V princípe môže jeden CM prijímať dáta z viacerých DBG, inak povedané, jeden CM môže byť členom viacerých DBG.

V každom z kanálov v rámci DBG možno prenáša dáta aj pre CM nepodporujúce združovanie kanálov.



## **2 Literatúra**

[1] <https://en.wikipedia.org/wiki/DOCSIS>

[] Iné verejne dostupné a neverejné zdroje