

Dimenzování částí pevných přístupových sítí NGA – Agregace

Radiokomunikace 2019

Pardubice 15. – 17. 10. 2019

Ing. Jan Kramosil, BC Service

1.

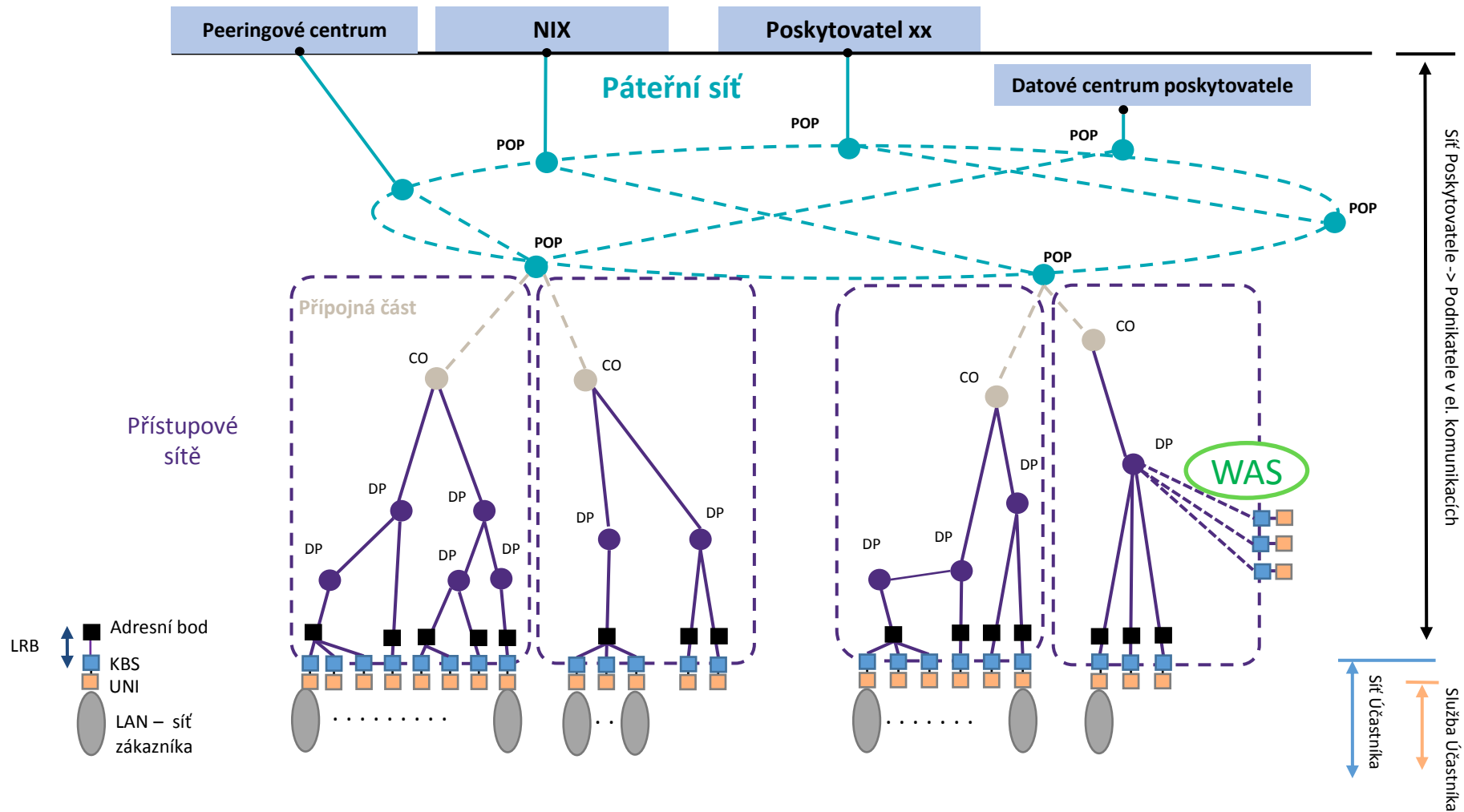
JAK VELKÁ MÁ BÝT ?

kapacita (propustnost, Mbit/s) segmentů či prvků přístupové sítě NGA, aby bylo možno zajistit kvalitní připojení konkrétního počtu uživatelů k síti internetu při stanovené (smluvní) hodnotě reálné rychlosti připojení uživatele (Mbit/s).

2.

KOLIK UŽIVATELŮ?

se stanovenou (smluvní) hodnotou reálné rychlosti připojení lze připojit k příslušné části přístupové sítě NGA s danou kapacitou (propustností, Mbit/s).



KBS – koncový bod sítě

UNI – Universal Network Interface , zař. provádí konverzi rozhraní či sledování QoS

LRB – Lokální rozvody v budově (dle IEC – BAN, Building Access Network)

Připojná část přístupové sítě – „Backhaul“

Reálná rychlost = Běžně dostupná rychlost

Nařízení EP a Rady (EU) 2015/2120 - opatření týkající se přístupu k otevřenému internetu, z listopadu 2015

Pokyny BEREC BoR (16)127 k provádění evropských pravidel síťové neutrality, ze srpna 2016

Čl. 143 – 151, Rychlost:

Minimální, Maximální, **Běžně dostupná**, Inzerovaná

Běžně dostupná rychlost je rychlost, jejíž dosažení může koncový uživatel očekávat po většinu času během využívání služby.

Běžně dostupná rychlost má dvě dimenze:

- číselné vyjádření rychlosti (Mbit/s)
- dostupnost rychlosti během stanoveného období (% času), jako jsou např. špičky nebo celý den.

Podstatné je rovněž dodržení kvalitativních parametrů:

Zpoždění (Latence), Ztrátovost (Packet loss) či Variace zpoždění (Jitter)

Národní regulátor stanovuje povinnost poskytovatele připojení definovat ve smlouvě s uživatelem jím garantované parametry připojení.

V dobách masivního rozvoje internetového připojení prostřednictvím sítí WAS (WAS – ECC/DEC/(04)08, lidově „WiFi“ – období 2007–2012 - z pohledu poskytování připojení k internetu rovněž pevné sítě) byl používán praxí ověřený jednoduchý vztah:

$$\text{Počet přípojek na AP} = \frac{\text{Kapacita (max. propustnost) AP}}{\text{Reálná rychlost požadovaná pro přípojku}} * \text{agregační poměr} \quad (1)$$

V té době (chování uživatelů, typ využívaných služeb, objemy stahovaných dat) poměrně dobře odpovídalo použití hodnoty agregačního poměru (agregace) = 4:1.

Bylo možno očekávat i zajistit stanovenou a smluvně potvrzenou *reálnou rychlost* stahování (odesílání) na jedné přípojce pro přibližně vypočítaný počet přípojek na AP se známou hodnotou jeho maximální propustnosti.

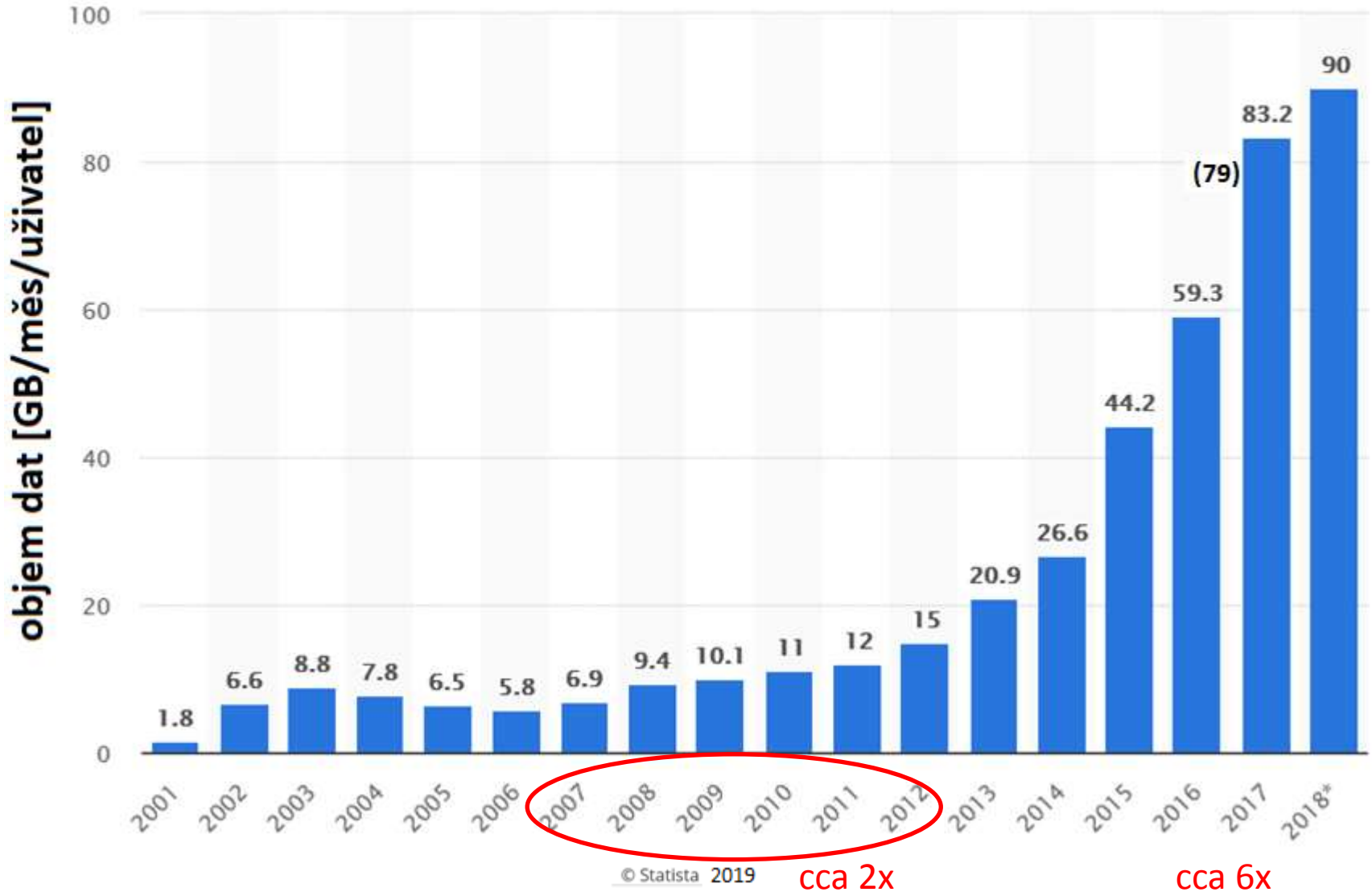
Příklad:

Typ AP – Cambium PMP 100 (původně Motorola Canopy), propustnost:	14 Mbit/s
Reálná rychlost požadovaná pro přípojku:	4 Mbit/s
Agregační poměr:	4:1
Počet přípojek na AP:	14

AP se stejnou propustností ale větší počet přípojek potom:

- zvyšuje se úměrně k jejich počtu agregační poměr
- úměrně klesá pravděpodobnost dodržení smluvní reálné - běžně dostupné rychlosti

Průměrný objem dat na pevném připojení za měsíc v Německu od 2001 do 2018 [GB]



Díky tomuto vývoji ve využívání připojení je nezbytné snižovat ve zmíněném výpočtu agregační poměr na hodnoty 3:1 i méně. I tak ale v současné době téměř nelze ani orientačně stanovit parametry přístupové sítě tímto jednoduchým způsobem.

Jsou proto hledány další metody, které by zajistily předběžný odhad parametrů přístupové sítě, jenž by vyhovoval současným podmínkám a byl obecně využitelný.

V praxi jsou využívány různé metody méně či více přesného odhadu. Zde uvádíme dvě poměrně jednoduché metody, které dávají výsledky postačující pro přibližné dimenzování a kontrolu sítě.

Metoda odhadu parametrů přístupové sítě 1.

Metoda pro předběžný odhad parametrů přístupové sítě využívá informace o:

- počtu uživatelů (přípojek) ve sdíleném segmentu sítě
- průměrném objemu stahovaných dat jedním uživatelem [GB/už/měs]
- garantované (smluvní) Běžně dostupné rychlosti připojení uživatele

Poprvé zveřejněno:

Metodika pro měření a vyhodnocení datových parametrů pevných sítí elektronických komunikací, (Metodický postup), ČTÚ 21/12/2016, verze 1.1.1

Cílem této metody je vhodně definovat konkrétní agregační funkci pro vyšetřovaný případ.
 Pro vysvětlení metody a zjednodušení použijeme konstrukci agregační funkce pro datový provoz s jednobodovou kalibrací agregační křivky.

Výchozím údajem pro výpočet je hodnota C_T - **koeficient nárůstu ustáleného toku**

$$C_T = \frac{Q_{T(N_S)}}{N_T * N_S} \quad (2)$$

N_S počet uživatelů

N_T časový úsek [s]

$Q_{T(N_S)}$... průměrné množství přenesených (stažených) dat [B] počtem uživatelů N_S

C_T koeficient nárůstu ustáleného toku [b/s/uživatel]

Příklad:

Sdílený segment sítě obsahuje 50 uživatelů, kteří za 30 dnů stáhnou průměrně 100 GB dat.

$$C_T = \frac{Q_{T(50)}}{N_T * N_S} = \frac{100 \text{ GB}}{30 \text{ dnů} * 50 \text{ uživatelů}} = \frac{8,58993 * 10^{11}}{2,592 * 10^6 * 50} = 0,06628 * 10^5 = 6628 \text{ [b/s/uživatel]}$$

$$C_T = 6,628 \text{ [kb/s/uživatel]}$$

$$C_T = 0,00663 \text{ [Mb/s/uživatel]}$$

Pozn.: 1 kByte = 1 024 Byte

$$(3)$$

Závislost hodnoty C_T na objemu stažených dat Q_T .

Q_T (1 už./30 dnů)	C_T
[GB]	[Mb/s/úč.]
1	0,00331
2	0,00663
7	0,02320
10	0,03314
15	0,04971
20	0,06628
40	0,13256
70	0,23198
100	0,33140
125	0,41425
170	0,56338
225	0,74565
300	0,99421
400	1,32561

Pro stanovení míry závislosti požadované kapacity připojení H_N [Mbit/s] na počtu uživatelů N_S ve vyšetřované části přístupové sítě při požadované hodnotě běžně dostupné rychlosti připojení uživatele H_Z [Mbit/s] a při průměrném objemu stažených dat Q_T [GB/už./měs] platí následující vztahy:

$$H_Z(N_S) \cong A^{-1}(N_S, H_Z) * H_N(N_S, H_Z) \dots\dots\dots (4)$$

$$A(N_S, H_Z) = A_P(N_S) + A_S(N_S, H_Z) \dots\dots\dots (5)$$

$$A_P(N_S) = 1 + N_S^{E_1} - N_S^{E_2} \dots\dots\dots (6)$$

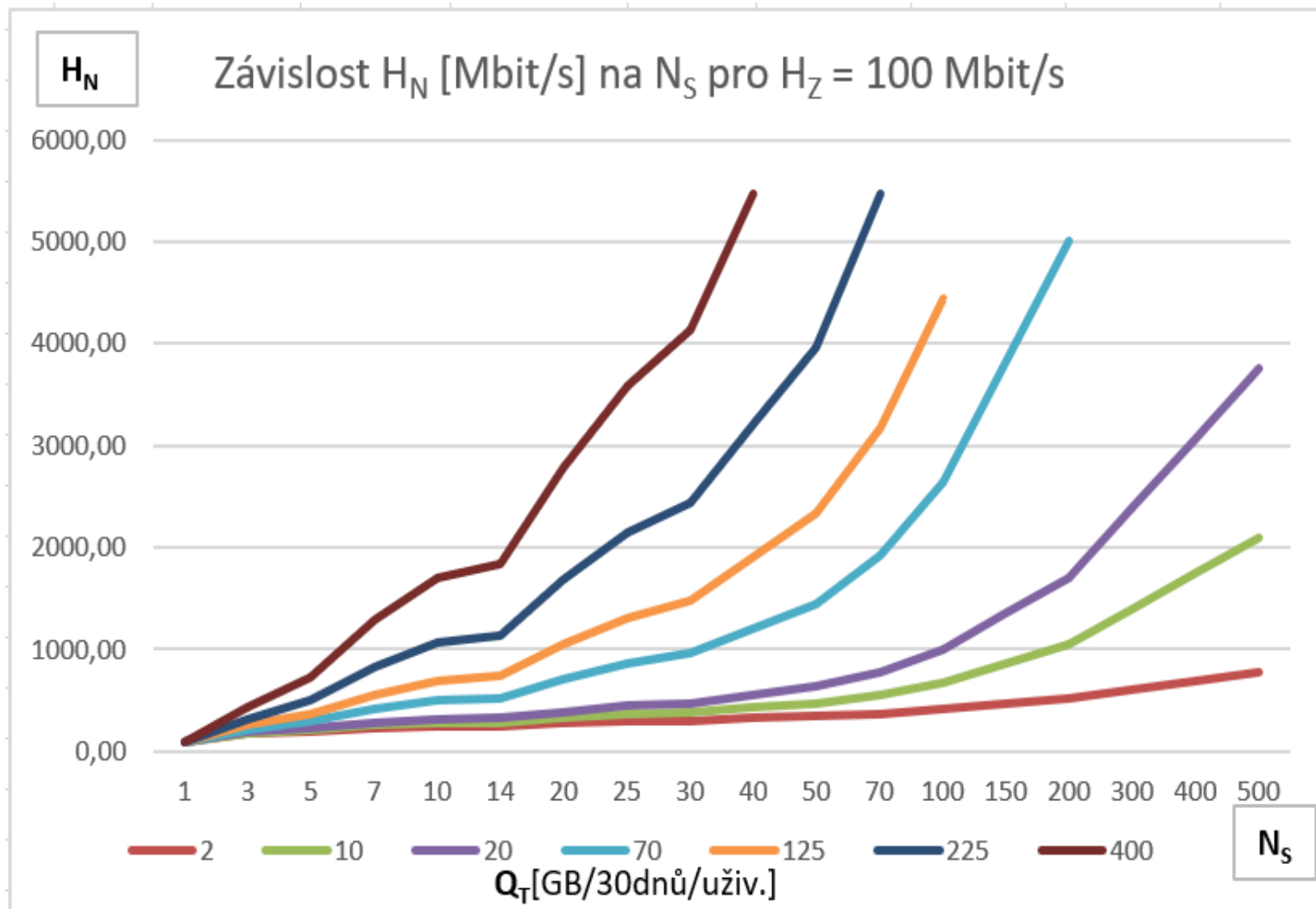
$$A_S(N_S, H_Z) = C_T * (N_S - 1) \dots\dots\dots (7)$$

Kde:

- A** Agregáčn funkce
- A_p** Nhodn (pikov) st agregáční funkce
- A_s** Statistick st agregáční funkce
- E₁** Exponenciln koeficient s hodnotou **+ 0,2**
- E₂** Exponenciln koeficient s hodnotou **- 0,6**

Prostřednictvím uvedených vztahů lze pedbžn určit přibližnou míru závislosti požadované kapacity připojení H_N na počtu uživatelů N_S (agregační funkci) ve vyšetřované časti ste při průmrnm objemu stažených dat Q_T .

Průběhy agregačních křivek pro vybrané hodnoty parametru Q_T .



Metoda odhadu parametrů přístupové sítě 2.

- Metoda je založená na využití „**Kritéria pro rozšíření kapacity**“ části přístupové sítě (nebo přístupového bodu – AP).
- Východisko - definice „uživatelského prožitku“ (User experience).

-
- Vlastní formulace „Kritéria pro rozšíření kapacity“ – vychází z rovnice „Erlang – B“
[*Agner Krarup Erlang, matematik, Dánsko (1878-1929) 1917*]
 - Metody výpočtu dle AKE původně navrženy pro oblast hlasové služby a odvíjí se od aplikace Poissonova rozdělení.
 - Dnes tyto metody nacházejí uplatnění v oblasti provozu asynchronních sítí.

Zdroj: WTTx Capacity White Paper, Huawei, 18.3.2016, 1. vydání

Kritérium pro rozšíření kapacity založené na **uživatelském prožitku** je pro účely výpočtu dle této metody popsáno těmito parametry:

- **UEs** (uživatelská/účastnická zařízení, terminály) přistupují do sítě ke službám náhodně a nezávisle se stejnou pravděpodobností.
- Pravděpodobnost, že **k UEs** využívá službu ve stejný čas, vyhovuje Poissonovu rozdělení:

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, k = 0, 1, \dots \dots \quad (8)$$

$P(k)$ Pravděpodobnost

k Náhodná veličina (*počet událostí za jednotku času*) - má Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti s parametrem λ

λ Střední hodnota počtu událostí za jednotku času

- Plně zatížená buňka (AP) má přenosovou rychlost **Y** [Mbit/s]. Míra uživatelského prožitku klesá s rostoucím počtem **UEs**.
- Aby bylo možné zajistit, že míra uživatelského prožitku (vyjádřeno rychlostí) nebude nižší než **X** [Mbit/s] nesmí být **maximální** počet **UEs** současně přenášejících data větší než **Z** :

$$Z = \frac{Y}{X} \quad (9)$$

Aby bylo možno zajistit, že spokojenost uživatele má hodnotu větší než 90 %, [platí $P(k \leq Z) \geq 90\%$], použije se k výpočtu

prahová **střední hodnota průměrného počtu UEs současně přenášejících data** λ , která je získána podle Poissonova vztahu:

$$P(k \leq Z) = P(k=0) + P(k=1) + \dots + P(k=Z) = \sum_{k=0}^Z \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \geq 90\% \quad (10)$$

Cílem výpočtů podle této metody je nalézt tzv.

„Mezní hodnotu pro rozšíření kapacity“ [MHR],

kterou se rozumí „mezní hodnota průměrného počtu UEs připojených na AP, registrovaných v síti a připravených přenášet data“.

V terminologii sítí LTE (WTTx) se jedná o provozní mód UE RRC_CONNECTED (RRC – Radio Resource Control).

Pro výpočty jsou zásadní následující parametry:

- Běžně dostupná rychlost (BDR-smluvní) pro uživatele X (Mbit/s)
Hodnota BDR pro uživatele může vycházet z požadavků daných poskytovanou službou anebo z požadavků a pravidel stanovených operátorem.
- Přenosová rychlost plně zatížené buňky Y [Mbit/s]
Přenosová rychlost plně zatíženého přístupového bodu je přenosová rychlost, kterou může AP, či přípojná linka zajistit a je určována použitou technologií
- Maximální počet UEs současně přenášejících data Z .
Pokud počet **UEs** současně přenášejících data přesáhne hodnotu **Z** a rychlost přenosu na jedno **UE** je nižší než **X**, potom uživatelský prožitek nesplní předem definované požadavky.

$$Z = \frac{Y}{X} \quad (9)$$

- Míra spokojenosti uživatele P [%]

Míra spokojenosti uživatele je procento **UEs**, u kterých je dosažena míra uživatelského prožitku X [Mbit/s] a více během měřicí periody. Doporučená hodnota (90%/95%). Hodnota míry spokojenosti uživatele může být nastavena na základě požadavků vyplývajících rozdělení hustoty osídlení (regionální požadavky) anebo podle požadavků vyplývajících ze scénáře konkrétního projektového záměru. Např. 95 % pro městskou oblast nebo 90 % pro vesnické území.

Obdobný parametr je užíván z pohledu stability připojení, kdy např. může být definováno, že míra dosažitelnosti konkrétní hodnoty BDR musí být alespoň 90 % času době špičky (17:00 – 23:00 hod), nebo 95 % v průběhu celého dne.

- Poměr vytížení **UEs** (**UEs** duty rate) R [%]

Hodnota je dána poměrem

$R = \text{Počet UEs současně přenášejících data} / \text{Průměrný počet UEs v módu RRC_CONNECTED}$, a to v časovém intervalu.

Výpočtem podle (11) je pak získána:

- Prahová hodnota průměrného počtu UEs současně přenášejících data Q
Prahová hodnota průměrného počtu UEs současně přenášejících data při hodnotě BDR je střední hodnota Q Poissonova rozdělení (ve vztahu (10) označená jako λ – prahová střední hodnota průměrného počtu UEs současně přenášejících data) získaná, pokud pravděpodobnost, že uživatelský prožitek je roven nebo větší než X [Mbit/s] (tedy maximální počet UEs současně přenášejících data je menší než anebo roven Z), je rovna anebo větší než P [%].

$$P(k \leq Z) \geq 90 \%$$

$$P(k \leq Z) = P(k=0) + P(k=1) + \dots + P(k=Z) = \sum_{k=0}^Z \frac{Q^k}{k!} e^{-Q} \geq 90\% \quad (11)$$

- Mezní hodnota pro rozšíření kapacity [MHR] = $\frac{Q}{R}$ (poměr vytížení UEs)
což je „mezní hodnota průměrného počtu UEs v módu RRC_CONNECTED“

Příklad výpočtu mezní hodnoty pro rozšíření kapacity.

Smluvní BDR pro uživatele	X = 5 Mbit/s
Kapacita plně zatížené buňky	Y = 30 Mbit/s
Míra spokojenosti uživatele	P = 90%
Poměr vytížení UEs	R = 15%

Prahová hodnota průměrného počtu **UEs** současně zajišťujících přenos dat **Q** (*práh pro rozšíření kapacity*) :

$$P\% \leq \sum_{k=0}^{k=Z} \frac{Q^k}{k!} e^{-Q} \quad (12)$$

$$90\% \leq \sum_{k=0}^{k=Z=\frac{30}{5}=6} \frac{Q^k}{k!} e^{-Q} \quad (13)$$

Exhaustní metodou s využitím nástroje MS Excel je vypočítána hodnota **Q = 3,89** pro případ, kdy výsledek výpočtu podle funkce **POISSON(k, Q, PRAVDA)** je větší nebo roven 90%.

Mezní hodnota pro rozšíření kapacity = Q/R = 3,89/15 % = 25,9 ≈ 26.

Aby tedy bylo možno zajistit, že míra uživatelského prožitku bude rovna nebo větší než 5 Mbit/s pro 90 % a více **UEs** během měřicí periody (nebo po 90 % definovaného času), je nutno navýšit kapacitu buňky, pokud mezní hodnota průměrného počtu **UEs** v módu RRC_CONNECTED, tedy **mezní hodnota pro rozšíření kapacity [MHR]**, překročí hodnotu 26.

Vypočítaná mezní hodnota MHR je tedy využita ke stanovení, zda je nezbytné navýšit kapacitu v rámci doposud funkční sítě.

Odhad mezních hodnot pro rozšíření kapacity

Y [Mbit/s]	X [Mbit/s]	Z	Střední hodnota Q	R	Mezní hodnota pro rozšíření kapacity	Poznámka
14	4	4	1,74	13%	13	
30	5	6	3,89	15%	26	<i>běžný provoz v síti LTE</i>
155	15	10	7,02	29%	24	<i>přípojná kapacita pro WAS AP</i>
30	5	6	3,89	30%	13	<i>video v síti LTE</i>
84	15	6	3,15	21%	15	<i>WAS AP sektor</i>

Metoda odhadu parametrů přístupové sítě pro IPTV - multicast.

Poprvé zveřejněno:

Metodika pro měření a vyhodnocení datových parametrů pevných sítí elektronických komunikací, (Metodický postup), ČTÚ 21/12/2016, verze 1.1.1

Do předchozího odhadu pro běžné datové přenosy vstupuje kapacita přístupového bodu snižená o kapacitu potřebnou pro Multicast.

Výchozí vztahy:

$$H_M(N_S, N_K) \cong A_M(N_S, N_K) \cdot H_0 \quad (\text{P2-6})$$

$$A_M(N_S, N_K) = N_K \cdot (1 - e^{-N_S \cdot E_3}) \quad (\text{P2-7})$$

$$E_3 = 1,005033585 \cdot N_K^{-1} \quad (\text{P2-8})$$

Použité pojmy:

N_S – počet účastníků

N_K – počet kanálů multicast

H_M – potřebný celkový datový tok [Mbit/s]

H_0 – potřebný tok na kanál [Mbit/s]

A_M – multicastový agregační koeficient

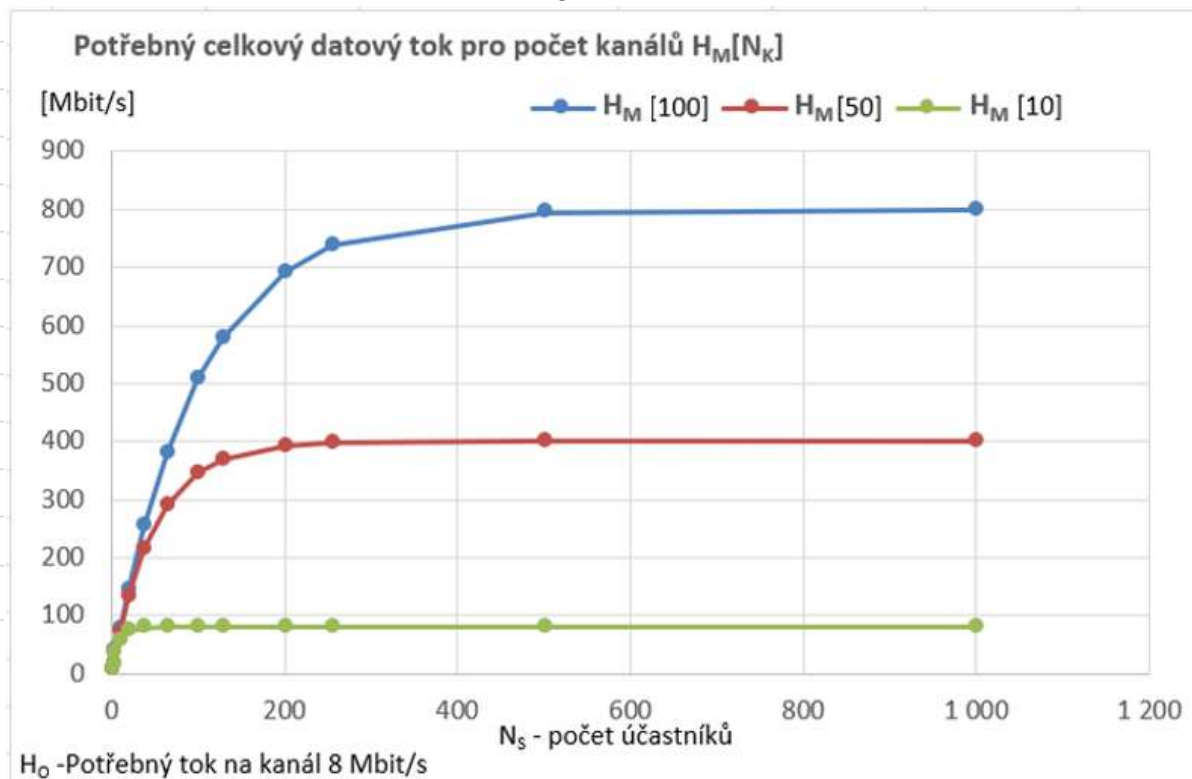
E_3 – exponenciální koeficient

Potřebný celkový datový tok H_M [Mbit/s]

	N_k - Počet programů multicast		
	100	50	10
N_s	H_M	H_M	H_M
1	8	8	8
2	16	16	18
5	39	38	37
10	76	73	57
20	146	132	74
38	254	214	79
64	380	289	80
100	507	346	80
128	579	369	80
200	693	393	80
256	739	398	80
500	795	400	80
1 000	800	400	80
10 000	800	400	80

H_0 - Potřebný datový tok na kanál 8 Mbit/s

Průběh závislosti H_M na N_s pro Multicast



Porovnání MHR pro běžný datový provoz a Multicast

[Mbit/s]	kapacita AP	[Mbit/s]	smluvní BDR/úč.	[Mbit/s]	R _{max} /úč.	BDR z R _{max}	Střední hodnota UE [Q]	MHR	Agreg : 1	MHR	Agreg : 1	MHR	Agreg : 1	MHR	Agreg : 1
1000	100	143	70,10%	7,01	38	3,80	23	2,30	18	1,75	14	1,40			
1000	30	37	80,25%	26,75	148	4,44	89	2,67	67	2,01	54	1,61			
Multicast $H_0 = 8 \text{ Mbit/s}, N_K = 100, N_S = 15, H_M = 112 \text{ Mbit/s}$															
888	100	164	61,15%	5,43	30	3,38	18	2,03	14	1,53	11	1,22			
888	30	38	78,45%	23,22	129	4,36	77	2,60	58	1,96	46	1,57			
Multicast $H_0 = 8 \text{ Mbit/s}, N_K = 100, N_S = 58, H_M = 353 \text{ Mbit/s}$															
647	30	40	75,30%	16,24	90	4,17	54	2,50	41	1,88	32	1,51			

$$15/38 = 39\% = 58/148$$

Příklad A:

*Předložený projekt, který pro daný přístupový bod předpokládá přípojnou kapacitu 1000 Mbit/s by měl být navržen pro obsluhu nejvýše **23 účastníků** (při $R = 30\%$) se smluvní BDR 100 Mbit/s i když dnes jich třeba v podobné síti obsluhuje provozovatel z přístupového bodu stejných parametrů daleko více.*

Příklad B:

*Předložený projekt, který pro daný přístupový bod předpokládá přípojnou kapacitu 1000 Mbit/s a 15 účastníků s IPTV - Multicast s $N_K = 100$ a $H_0 = 8$ Mbit/s, by měl přístupovým bodem obsluhovat maximálně **18 účastníků** se smluvní BDR 100 Mbit/s i když dnes jich třeba v podobné síti obsluhuje provozovatel z přístupového bodu stejných parametrů daleko více.*

Jak využít představené metody odhadu?

Návrh architektury zcela nově budované sítě.

Do výpočtu vkládány údaje o **geografickém rozložení budoucích uživatelů**, jejich **nárocích na BDR** připojení či o dedikované BDR připojení a zároveň je využívána i **znalost požadavků na poskytování konkrétních služeb** realizovaných prostřednictvím sítě internetu. Zásadní je pro návrh i **znalost (odhad) postupného vývoje** jednotlivých parametrů a prognóza požadavků v budoucím čase.

Odhad optimálního rozložení nezbytných rozšíření kapacit stávající sítě v čase.

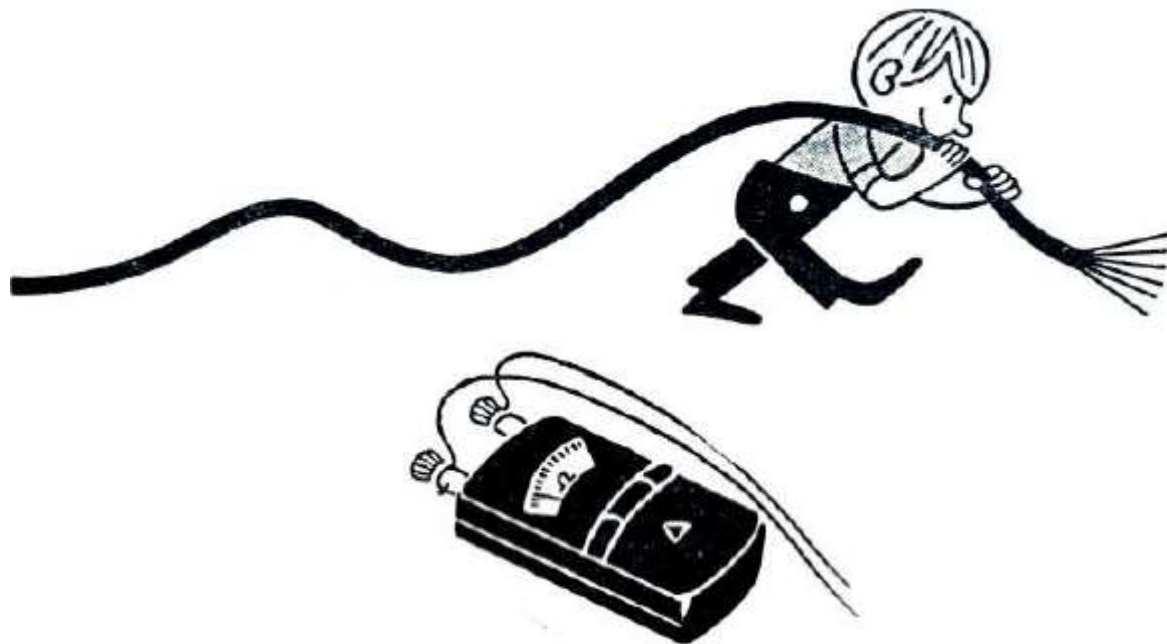
Do výpočtu vkládány **údaje získané měřením** v již funkční síti a podle konkrétního chování uživatelů (objemy dat, typy využívaných služeb atd.) a podle úrovně znalostí všeobecných souvislostí a vývoje v sektoru elektronických komunikacích jsou pomocí metod odhadu definovány optimální etapy rozšiřování kapacit sítě rozdělené v čase. Tímto způsobem lze nastavit příznivé **podmínky pro strukturu střednědobých obchodních plánů**.

Prověření realizovatelnosti nabízeného projektu.

Výpočtem ověřováno, zda nabízený projekt (hodnoty vstupních parametrů) realizovatelný a zda splňuje požadavky, které jsou na něj kladeny budoucím operátorem či současně např. poskytovatelem dotačních prostředků. *(Budoucí operátor musí v projektu respektovat i kritérium udržitelnosti klíčových parametrů).*

Po realizaci proto může probíhat objektivní kontrola stanovených parametrů sítě či koncového připojení uživatele měřením. Stejně tak ale musí probíhat práce na přípravě rozšíření sítě v závislosti na vývoji poptávky trhu po službách a v závislosti na vývoji jednotlivých parametrů sítě, které jsou **průběžně a postupně operátorem získávány měřením na síti**.

BEZ MĚŘENÍ NENÍ VĚDĚNÍ



© Šolim, já a tranzistory, Zdeněk a František Škoda, SNDK 1968 (51 let)

Děkuji za pozornost.

Pokud je počet opakování n bernoulliovského pokusu s malou pravděpodobností úspěchu p velmi velký, přičemž součin np zůstává konečný a nenulový, binomické rozdělení se asymptoticky blíží k tzv. **Poissonovu rozdělení pravděpodobnosti**. Necht' náhodná veličina X nabývá hodnot $0, 1, \dots$, a to s pravděpodobnostmi

$$p(x) = P\{X = x\} = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}, \quad x = 0, 1, \dots, \quad (4)$$

kde $\lambda > 0$ je daný konstantní parametr. Potom říkáme, že náhodná veličina X má Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti s parametrem λ . Někdy je nazýváno též. **zákonem malých čísel**, neboť se jedná o statistický popis výskytu událostí, které se vyskytují zřídka, mají však mnoho příležitostí nastat. Za určitých podmínek, které budou specifikovány později, taková náhodná veličina udává počet událostí, které nastanou v časovém intervalu jednotkové délky. Jak v takovém případě uvidíme, parametr λ udává střední počet událostí za jednotku času, jeho rozměr je tedy převrácenou hodnotou jednotky času. Grafy funkce $p(x)$ a odpovídající distribuční funkce jsou pro některé hodnoty parametru λ zobrazeny na [Obr. 2](#).