



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ**
KATEDRA TELEKOMUNIKAČNÍ TECHNIKY



Agregace v síti - všudypřítomná a stále nepoznaná

Doc. Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.
vodrazka@fel.cvut.cz
<http://comtel.fel.cvut.cz>

Rozvoj gigabitové společnosti



Oblasti života

- práce (teleworking), elektronický obchod a bankovníctví
- komunikace (telefonie, videotelefonie, e-mail, chat, sociální sítě...)
- informace (webové zdroje, slovníky, knihovny, ...)
- získávání znalostí, vzdělávání, administrativa atd. (e-learning, e-government, ehealth...)
- hry, zábava, volný čas... (hudba, video na přání, ...)

Koncová zařízení

- PC, notebook, tablet
- mobilní telefon - terminál
- Smart TV, set-top-box ...
- Herní konzole
- ... komunikace M2M, IoT

Požadavky na vysokorychlostní datové kanály

Smluvně dané parametry přístupu k internetu



Metodika ČTÚ 2020 – fixní sítě



Všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9 - podmínky k poskytování služeb elektronických komunikací

- Příloha č. 1 k všeobecnému oprávnění č. VO-S/1/07.2005-9
Specifikace služby **přístupu k internetu v pevném místě**
- **Maximální rychlost** ≥ 95 % CIR+EIR (dle testu ITU-T Y.1564)
- **Inzerovaná rychlost** \leq Maximální rychlost
- **Běžně dostupná rychlost** ≥ 60 % Inzerované rychlosti
- **Minimální rychlost** ≥ 30 % Inzerované rychlosti

Velká trvající odchylka od BDR - souvislý pokles skutečně dosahované rychlosti TCP v intervalu delším než 70 min.

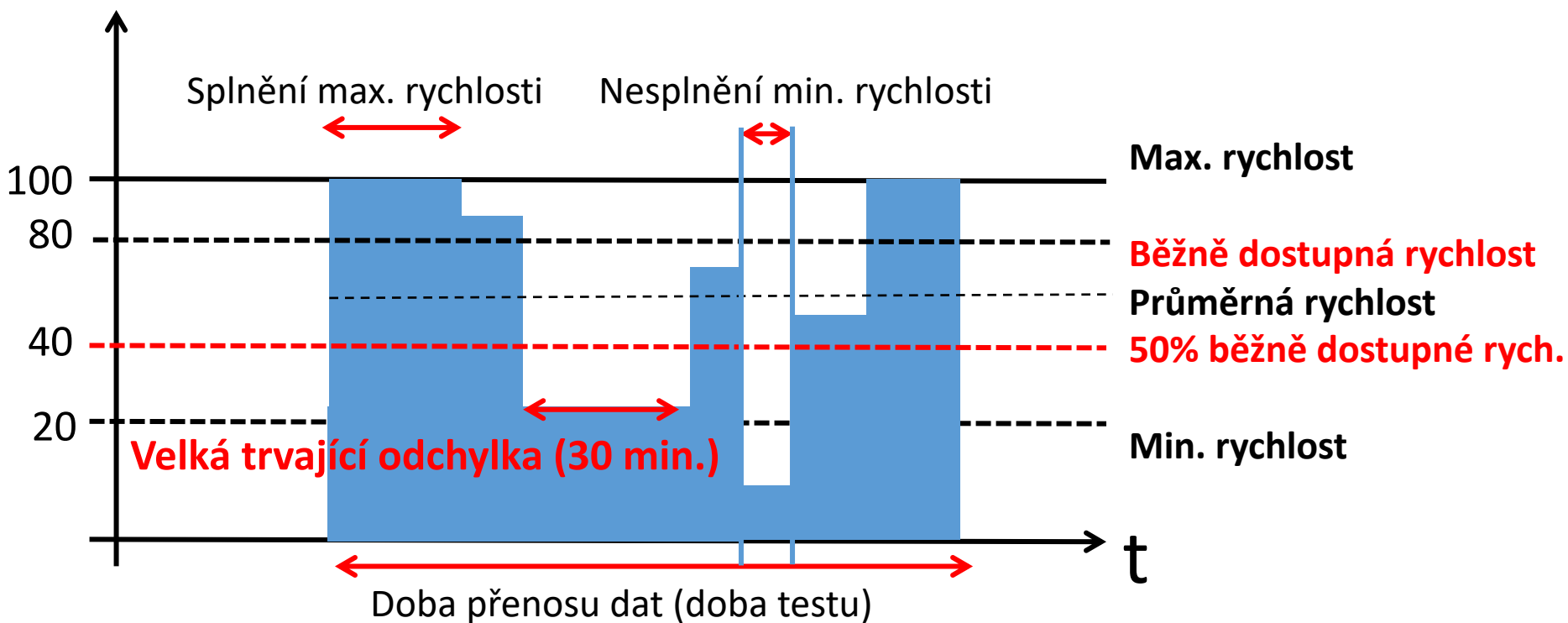
Velká opakující se odchylka od BDR – 3 a více poklesů v intervalu $\geq 3,5$ min. v časovém úseku 90 min.

Účinnost od 1. ledna 2021

Rozbor přenosové rychlosti při TCP testu

- Znáznornění typického průběhu testu a možných nesplnění smluvního plnění - **původní metodika ČTÚ 2018**

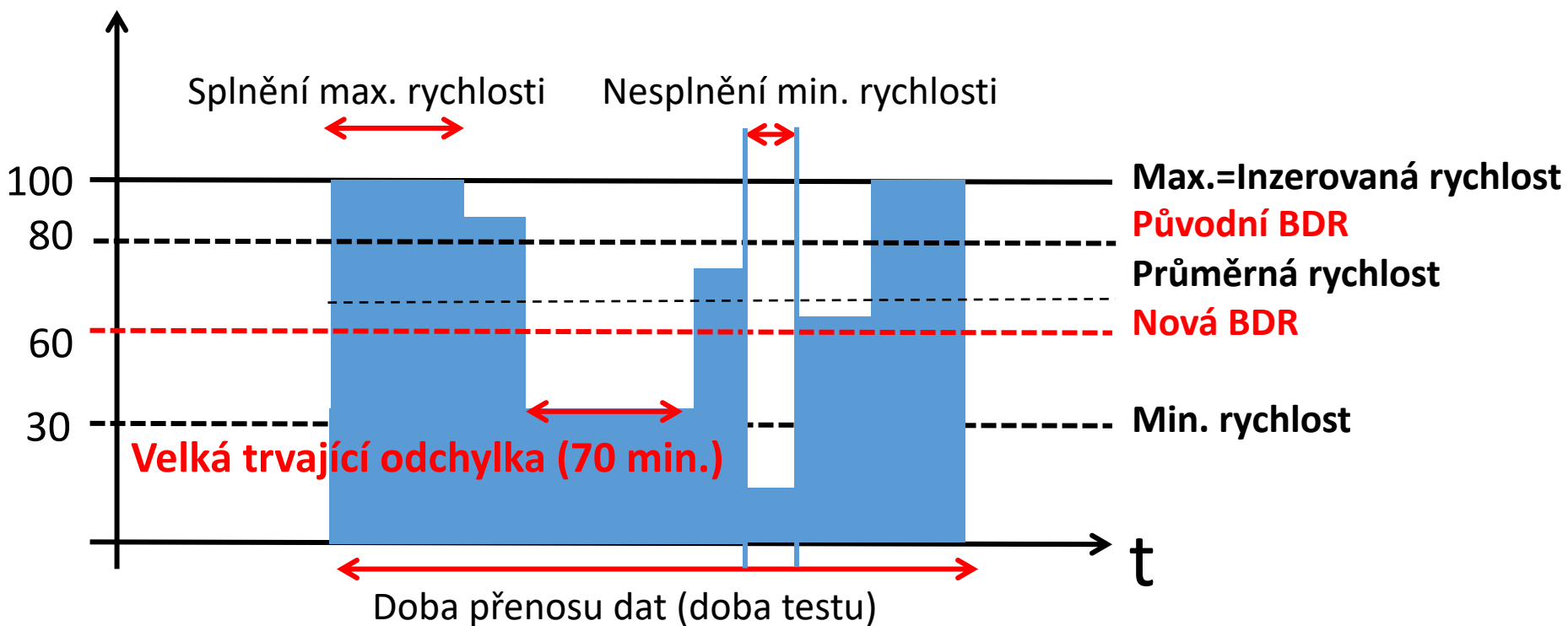
Přenosová rychlost
[Mbit/s]



Rozbor přenosové rychlosti při TCP testu

- Znáznornění typického průběhu testu a možných nesplnění smluvního plnění – **po 1.1.2021**

Přenosová rychlost
[Mbit/s]



Jaké to bude mít dopady na operátory?

- Možné přístupy k řešení dopadu VO
- Pravdivé informování zákazníků vs. konkurenční boj
- BDR nelze jednoduše nastavit na síťovém prvku a garantovat

Zachování stavu

- Současný stav vyhovuje i novým požadavkům
- Současný stav nevyhovuje - risk nesplnění (pouhé „papírové“ přizpůsobení smluv)

Přizpůsobení podmínek smluv

- Plošné snížení běžně dostupných rychlostí existujících přípojek
- Technicky se přípojka nemění - zachování ceny

Přizpůsobení sítě parametrům a posílení infrastruktury

- Překonfigurování parametrů a navýšení přípojných kapacit při zachování ceny
- Posílení infrastruktury a zdražení služby

Nutné dostatečné dimenzování sítí, ověřování – testování, měření...

Všudypřítomná agregace




Základní pojmy

- **Agregace = sdružování toků (statistické multiplexování)**

Kdo tvrdí, že nepoužívá agregaci v síti, nemá pravdu...

- Součástí hierarchického sdružování v paketových sítích je **koncentrace provozu**

- koncentrační poměr, agregační poměr 
- technicky realizovatelné provedení vyšších úrovní sítě (reálně existující rozhraní a kapacity)
- nákladově efektivní budování sítí - **dimenzování sítí**

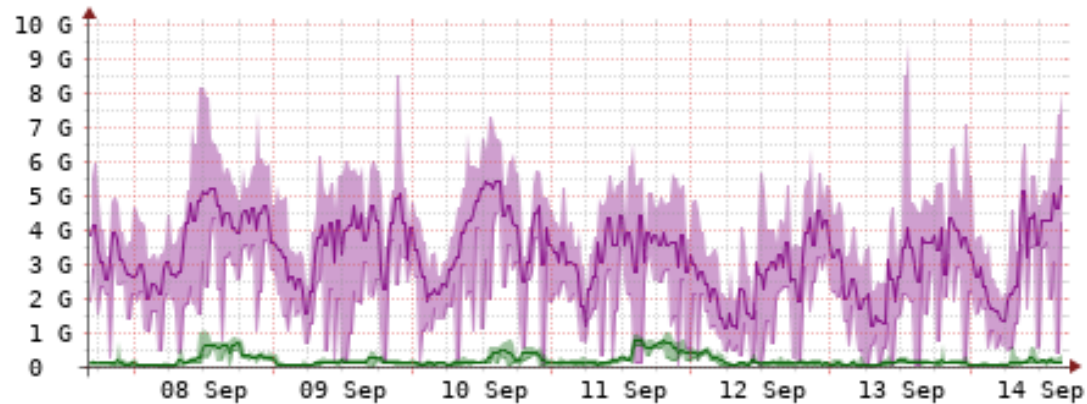
$$v_{pc} = \frac{S \cdot v_p}{k_p}$$

- **Agregace**
 - tzv. přirozená (někdy se uvádí poměr 1:4 v dané úrovni sítě)
 - řízená - definovaný uzel (dedikované „úzké hrdlo sítě“) provádí omezování toků (FUP), např. 1:20, 1:50
- Příklad 5000 přípojek 100 Mbit/s ...500 Gbit/s ...backhaul 10 Gbit/s

Jak lze dimenzování sítě řešit



- Sledování provozu na síťových prvcích a udržování rezerv a průběžné navyšování kapacity
- Plánování síťových úrovní pomocí empiricky parametrizované agregační funkce
- Analytické výpočty na základě teorie provozního zatížení
- Simulační modely

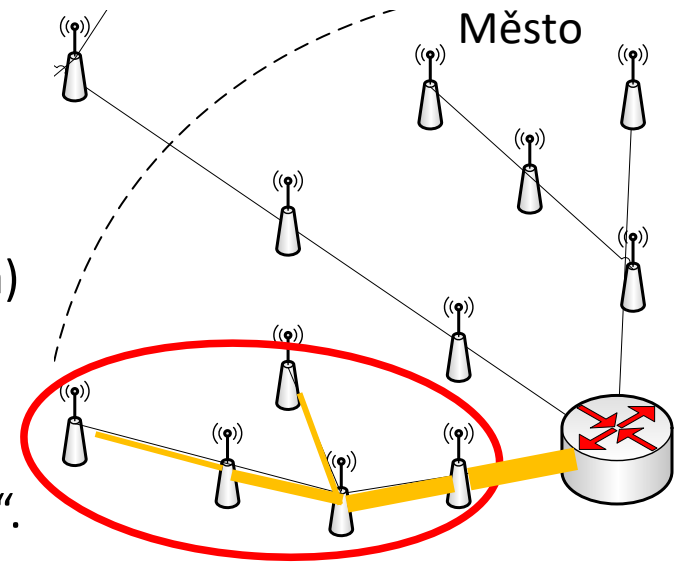


- Znalost síťového prostředí
- Umístění media-serverů a web-cache
- Analýza struktury zákazníků
- Odhad chování zákazníků
- Parametrizace modelů
- Složitost vs. přesnost výpočtů

Jeden z přístupů - kalkulace požadavků přípojné sítě základnových stanic

- Kritický je **kmenový spoj**
- Sumarizace toků (sektory, vrstvy)
 - **Průměrné rychlosti** (Mean Rate) v době silného provozu (tzv. hlavní provozní hodina)
 - **Špičkové rychlosti** (Peak Rate) plynoucí z max. kapacity pásma (nejvyšší stupeň modulace)

Dle „Guidelines for LTE Backhaul Traffic Estimation“. A White Paper by the NGMN Alliance. Next Generation Mobile Networks Alliance.



$$MR_{sj} = S \cdot \sum_i^{\text{počet vrstev}} MR_{ij}$$

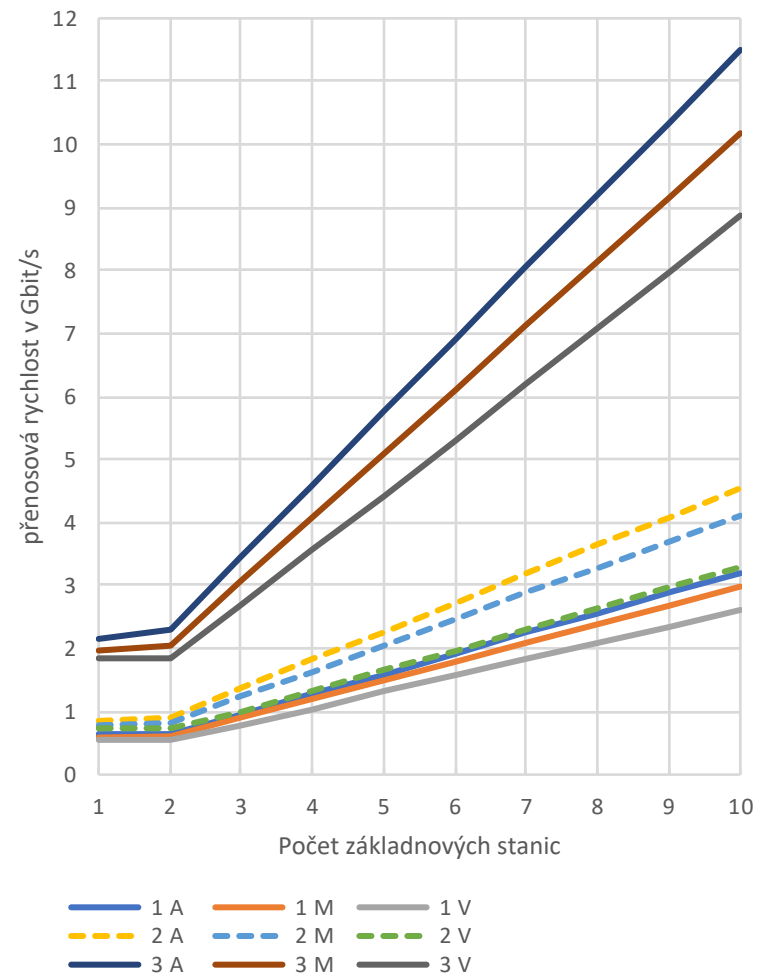
$$PR_{sj} = MR_{sj} + \max_i (PR_{ij})$$

Elementární „agregační funkce“ - požadavky přípojné sítě základnových stanic

- Sumární požadavek na **kmenový spoj**
- V závislosti na **počtu stanic** ve stromě
- Podle **typu oblasti** A, M, V
- Podle **časového horizontu**
 1. Současnost – LTE
 2. Dobudování LTE
 3. Rozvoj LTE-A
- Agregace
 - Průměrné a špičkové rychlosti
 - Elementární agregační funkce

$$SR = \max (N \cdot MR_{sc}; PR_{sc})$$

Agregované rychlosti downlink pro časové etapy
1 až 3 a oblasti Aglomerace/Město/Venkov



Agregační funkce dle metodiky ČTÚ 2016

Odhaduje výsledný datový tok vzniklý sloučením dílčích toků od N_S účastníků:

$$k_a(N_S) = 1 + N_S^{0,2} - N_S^{-0,6} + C_T \cdot (N_S - 1)$$

C_T je koeficient nárůstu ustáleného toku - výchozí hodnoty 0,005 až 0,01 (bezrozměrný)

- První, náhodná část agregační funkce reflektuje chování při malém počtu N_S , kdy účastníci netvoří dostatečně velký statistický soubor a je potřeba zajistit dostatečnou rezervu kapacity pro náhodné výkyvy
- Statistická část agregační funkce reflektuje stav pro dostatečně velký počet N_S s prakticky lineárně rostoucím přidělem průměrné kapacity sítě na účastníka

Korekce C_T pro IPTV unicast (cca 0,05)

Korekce pro IPTV multicast (+suma $N_{TV} * C_{TV}$)

Agregační funkce vs. agregační poměr

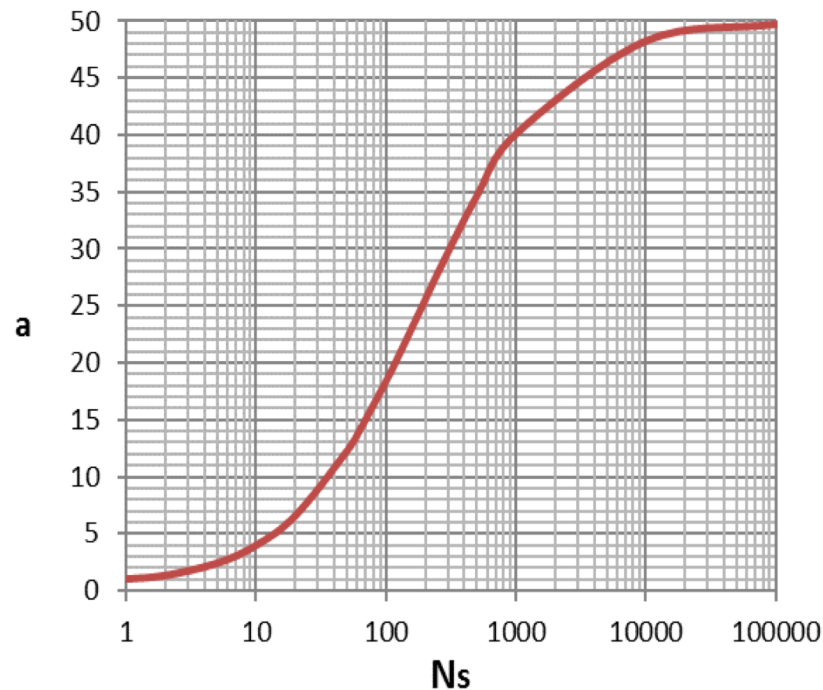
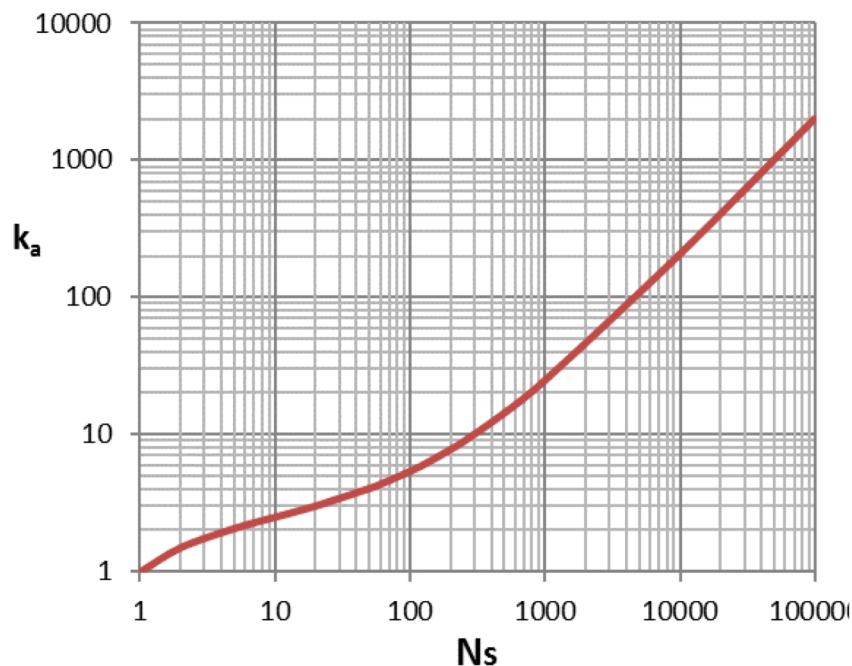
- Pro konkrétní jmenovitou kapacitu jedné přípojky C_1 a výsledný agregovaný tok C_N od N_s účastníků je agregační poměr

$$a = N_s \cdot C_1 / C_N$$

- Vztah mezi agregační funkcí a agregačním poměrem

$$k_a = C_N / C_1 = N_s / a$$

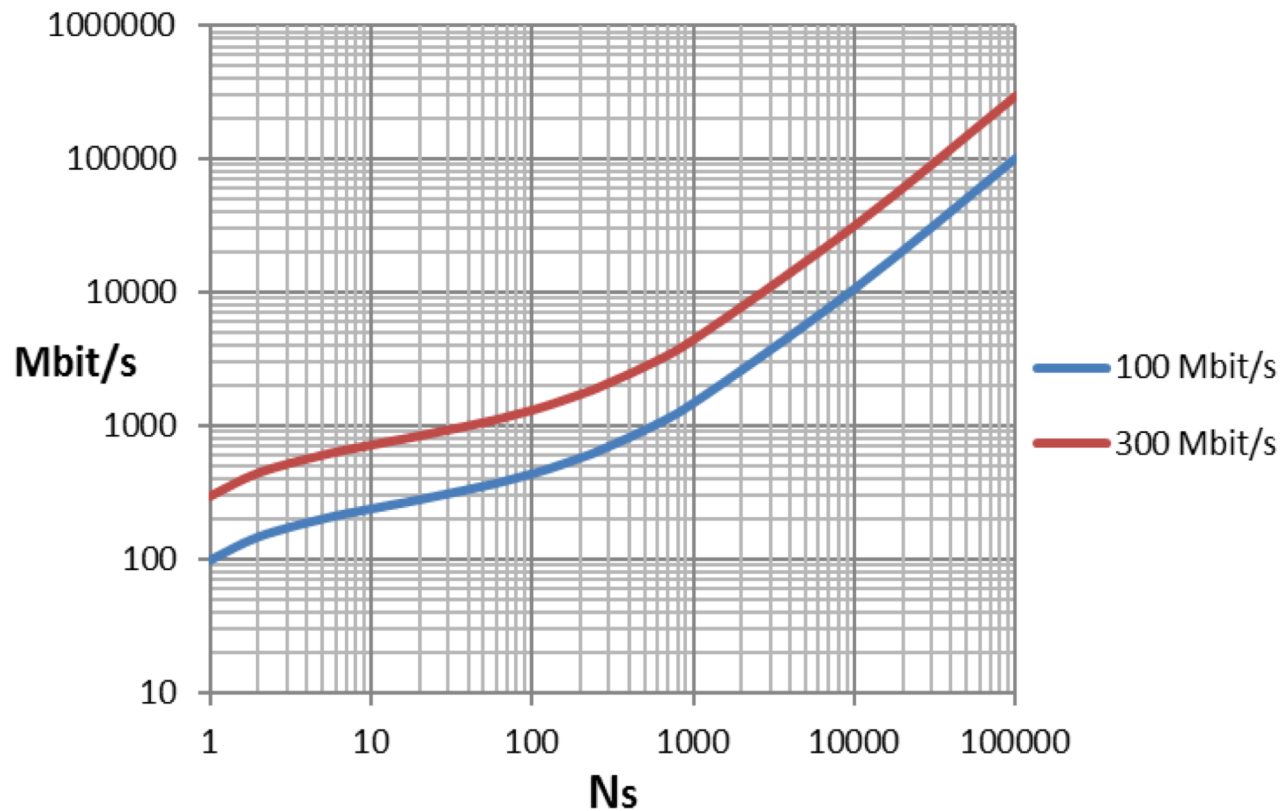
příklad pro $C_T = 0,02$



Agregační funkce pro konkrétní rychlosti

Využití agregační funkce dle metodiky ČTÚ

- Možno odhadnout agregovaný tok v různých částech sítě



Teorie obsluhových systémů



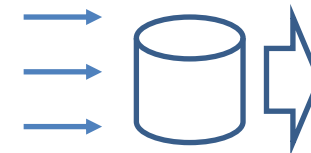
Využití v řadě oblastí - pokladny, úřady, přepážky, call centra, doprava, telekomunikace, IT (servery)...

Agner Krarup Erlang - dánský inženýr - teorie provozního zatížení pro klasické telefonní systémy (dimenzování ústředen)

- **Erlang** - bezrozměrná jednotka provozního zatížení
- 1 Erl = nepřetržitě obsazený 1 kanál

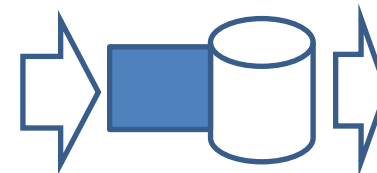
Obsluhový systém

- Bez čekání
- S čekáním (pamětí)



Spojování

- Okruhů
- Buněk
- Paketů



V datových sítích např. metoda round-robin

Základy teorie provozního zatížení



- **Provozní zatížení** $E = \lambda h$, intenzita příchoďů *průměrná doba hovoru
- **Náhodný proces** - modeluje **exponenciální rozdělení** doby mezi příchody (hustota rozdělení)
- **První Erlangova rovnice** - pravděpodobnost odmítnutí požadavku (blokování) pro systém bez čekání a m obsluhových linek
- **Druhá Erlangova rovnice** - pravděpodobnost čekání pro systém s frontou (teoreticky nekonečná) a m obsluhových linek

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0. \end{cases}$$

$$P_b = B(E, m) = \frac{\frac{E^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{E^i}{i!}}$$

$$P_w = \frac{\frac{E^m}{m!} \frac{m}{m-E}}{\left(\sum_{i=0}^{m-1} \frac{E^i}{i!} \right) + \frac{E^m}{m!} \frac{m}{m-E}}$$

Příklad obsluhového systému

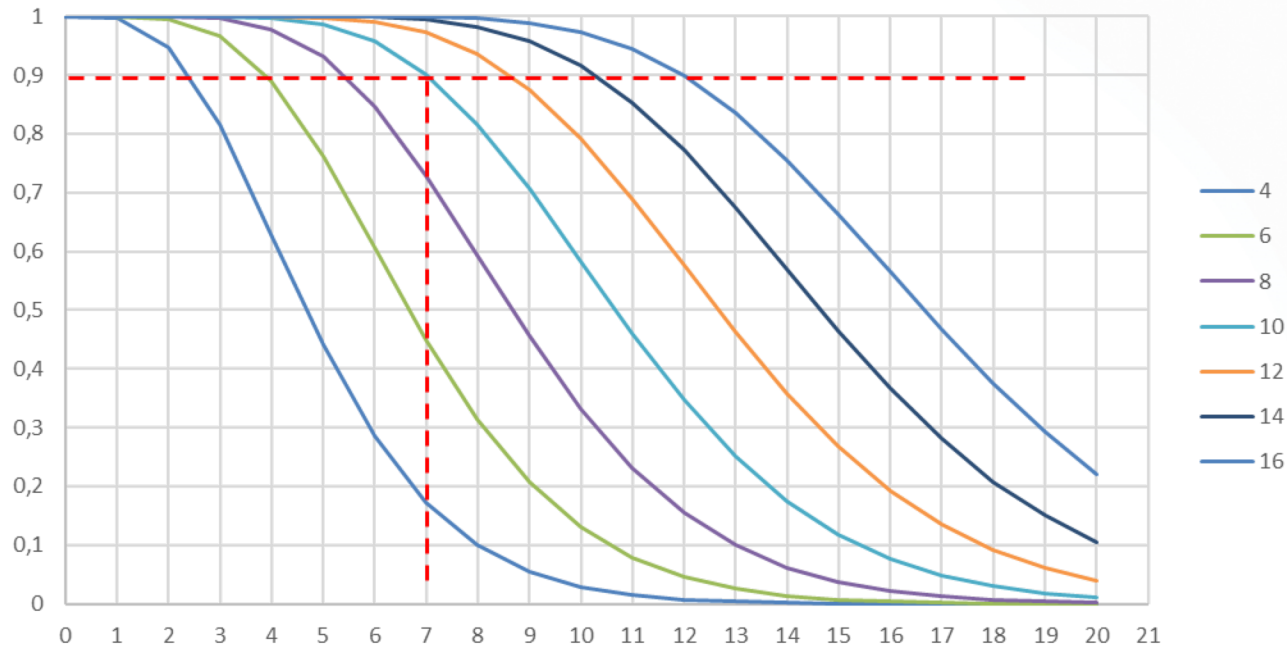


Základnová stanice s omezeným počtem současně obslužitelných účastníků

- **V důsledku náhodného rozložení příchodů se nedá kapacita využít na 100%**

Distribuční funkce:

- Pravděpodobnost ztráty 10%
- Pro 7 uspokojených účastníků
- Dimenzujeme
 - 10 linek



Datový provoz

- Nepravidelný, nárazový, dávkový (burst mode)
- Činitel plnění/vytížení (Duty cycle) - pravděpodobnost s jakou je v daný okamžik kanál využit - $X\%$, průměrná rychlost přenosu $X \cdot v_{\max}$ - hlavní parametr určující „agregovatelnost“

Jak můžeme tuto teorii využít?



Lze využít pro jednotlivé uzly, call centra...

- **Nelze přímo využít** pro dimenzování internetových sítí
 - Nemáme vhodný popis provozu
 - Sítě jsou rozsáhlé a kombinuje se mnoho technologií a mechanismů (obsluhy front, tvarování provozu...)
 - Poptávka je ovlivněna zatížením sítě
 - Vzájemné ovlivňování toků mezi sebou
 - Regulační funkce TCP protokolu
- Pokud bychom počítali stále **garantovanou BDR** vyjdou nereálné požadavky na realizaci vyšších úrovní sítě
 - Jednalo by se o pevné pronajaté okruhy - vysoká cena za službu

Předpokládá se, že zákazník nevyužívá služby kontinuálně

- Činitel plnění/vytížení (součást definice BDR - v době využívání služby...)
- Určitá část uživatelů služby nevyužívá (nepřítomnost)

Využití simulací jednotlivých uzlů a celé sítě - např. SW OMNET

Jak z toho ven?



Analýza stavu rozvoje sítí NGA v ČR...

studie zpracovaná pro MPO (9.12.2019)

- „Přímé matematické modely výpočtu agregačních modelů jsou v současné turbulentní době již příliš statické a omezené na měnící se vstupní podmínky. Tyto modely spadají proto spíše do obecných principů analýz a modelování...“
- „Je patrné, že jediným použitelným a dlouhodobě ekonomicky udržitelným kontrolním mechanismem kontroly a dimenzování kapacity sítě je průběžné měření a přizpůsobování se změnám v chování účastníků a sítě.“

Chybí definice typového uživatelského chování...

Jaké rychlosti skutečně potřebujeme?



Není 1 druh přípojky, 1 služba

Je třeba rozlišovat, segment trhu a typ účastníka:

- Malé a domácí firmy, školy, úřady, instituce
- Jednotlivci a domácnosti různé velikosti a složení
- Typy účastníků „průměrní účastníci“- reálné potřeby a modely chování
 - Využívané služby a jejich časové rozložení
 - Počet a typy uživatelů v jedné domácnosti
 - Uživatelské zkušenosti a očekávání (QoE, ITU-T G.1030 Estimating end-to-end performance in IP networks for data application, 02/2014)

Pokus o analýzu potřeb účastníků - diplomová práce:

- Prognóza požadavků na datové přenosy gigabitové společnosti, Ivan Lytvyn, ČVUT FEL, 2020
- <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/88054>

Typy služeb, uživatelů a datové toky



Typové služby

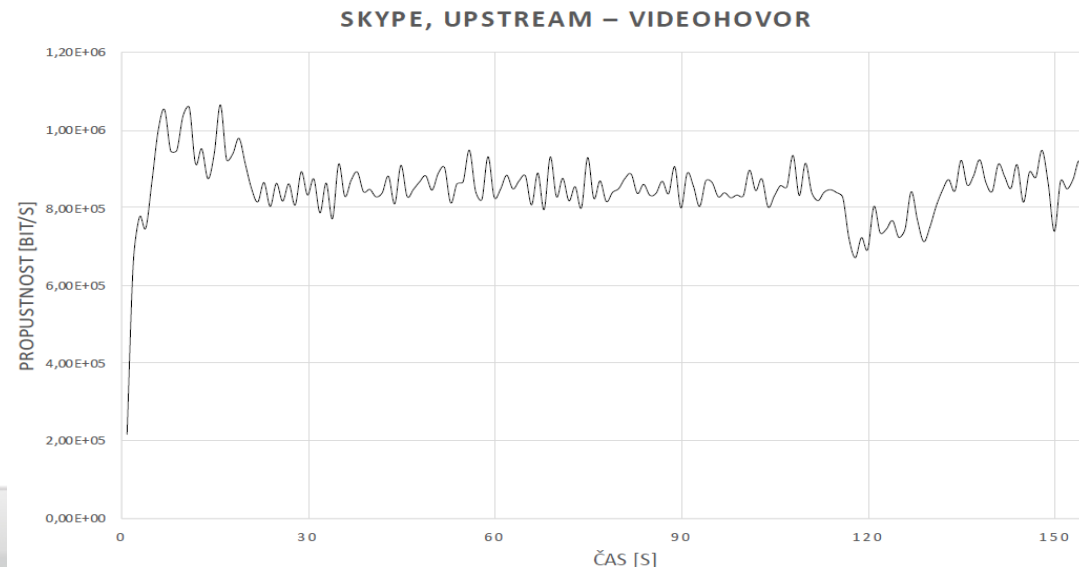
- Online video (youtube, Netflix)
- Cloudové služby (Google doc, MS SP)
- Audio a video komunikace (Skype, FaceTime)
- Sociální sítě (Facebook)
- Hraní her

Typy uživatelů

- Student
- Pracující osoba mimo domov
- Pracující osoba na dálku

Mix uživatelů v domácnosti v počtu 1 až 4

Scénáře využití služeb v čase (hod./den)



Objemy dat a rychlosti



Predikce pro rok 2025

Průměrné množství přenesených dat:

- pro 1 přípojku
- oba směry v součtu
- naše data: 46.5 GB/den (kontinuálně 4.3 Mbit/s)
- pro EU: 11 GB/den
- pro USA: 21.5 GB/den

		Počet účastníků			
		1	2	3	4
<i>Downlink</i>	Q _T [GB/den] Minimální	14.338	28.68	47.24	65.8
	Q _T [GB/den] Střední	16.639	33.278	51.36	69.924
	Q _T [GB/den] Maximální	18.564	37.127	55.691	74.254
<i>Uplink</i>	Q _T [GB/den] Minimální	0.794	1.59	2.38	3.18
	Q _T [GB/den] Střední	1.692	3.383	4.401	5.195
	Q _T [GB/den] Maximální	3.303	6.606	7.4	8.194

Studie TU Eindhoven pro rok 2022: 23.6 GB/den

Rychlost přípojky a objem přenesených dat jsou spojené nádoby...

	Počet účastníků					
	2		3		4	
	Rok					
	2020	2025	2020	2025	2020	2025
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	29.667	45.287	35.273	53.959	39.313	60.25
	Rok					
	2020	2025	2020	2025	2020	2025
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	5.023	7.043	5.943	8.317	6.559	9.171

Segmentace druhů přípojek



Možné řešení - rozlišit nabídku nejen dle přenosové rychlosti, ale i dalšími parametry, např.:

- Domácnosti ... počet uživatelů - kvalitativní úroveň
 - Vysoká - Gold
 - Střední - Silver
 - Nízká - Bronze
- Firmy, instituce - kvalitativní úroveň
 - Vysoká - Gold
 - Střední - Silver
 - Nízká - Bronze

Vyvážení

- Poptávky
- Parametrů
- Efektivity budování
- Ceny

Úrovně kvality by mělo odpovídat odstupňování ceny!

Kdo bude mít požadavek na 1 Gbit/s a kdy?

Musíme růst za každou cenu, politické cíle...

Riziko „stále puštěného vodovodního kohoutku“

FUP... platba za objem dat, služby?

Dimenzování sítě operátory



Je nutné sledovat objemy dat, navyšovat kapacity sítě a průběžně měřit přípojky

Výchozí plán

- Počty přípojek
- Struktura služeb
- Typy zákazníků

Sledování za provozu

- Sledování limitů
- Měření a validace
- Zpětná vazba od uživatelů

Rozvoj sítě

- Plánování rozvoje služeb
- Predikce objemu provozu
- Posilování sítě
- Budování nových kapacit

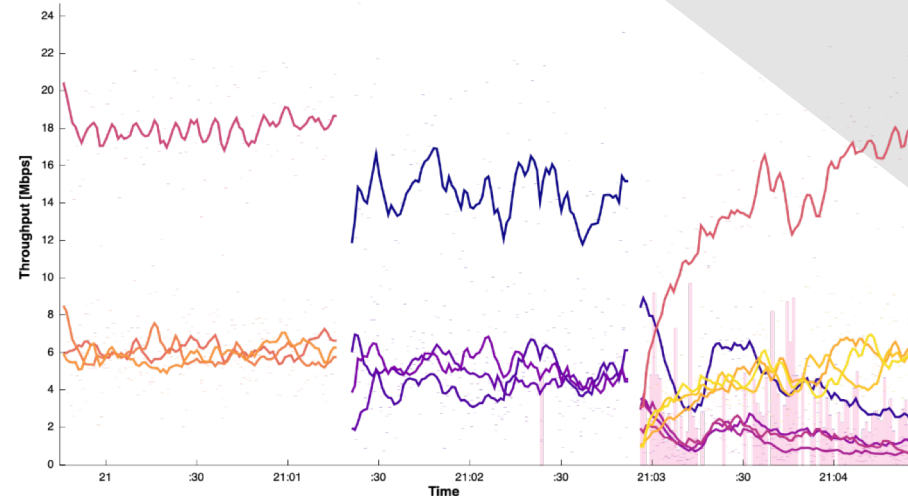


Platforma F-Tester

- **F-Tester NGA 1GE** – základní varianta pro fixní sítě s metalickými rozhraními 1 Gbit/s
- **F-Tester Wireless** – LTE a WiFi bezdrátové moduly s podporou MIMO – připraveno pro testy 5G sítí (a dále **4Drive-Box**)
- **F-Tester 10GE** – s optickými rozhraními 10 Gbit/s (SFP+) připraveno pro testy sítí s velmi vysokou kapacitou (VHCN)



<http://f-tester.fel.cvut.cz>





ČESKÉ
VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TELEKOMUNIKAČNÍ TECHNIKY



Děkuji za pozornost

<http://comtel.fel.cvut.cz>

Jiří Vodrážka
vodrazka@fel.cvut.cz