

Dopad kapacity sítí elektronických komunikací

Metodický postup pro vyhodnocování dopadu kapacity sítí elektronických komunikací
na výkon služeb přístupu k internetu

Ing. Petr Koudelka, Ph.D.

Oddělení kontroly datových služeb
Odbor kontroly

Workshop / 6. prosince 2022



Český **telekomunikační** úřad



- Vývoj metodického postupu pro vyhodnocování dopadu kapacity
- Přirozená agregace a její dopad na výkon služeb (SDR)
- Systém hromadné obsluhy (SHO): Poissonův proces
 - dopad na počet koncových bodů (NTP)
 - dopad na výkon služby (SDR)
 - dopad na průměrný pokles výkonu služeb (P_{SDR})
- Faktor využití sítě (UF)
 - dopad na hodnotu kapacity sítě (CAP) v rámci Poissonova procesu
 - dopad na počet koncových bodů (NTP)
 - dopad na výkon služby (SDR)
 - dopad na průměrný pokles výkonu služeb (P_{SDR})
- Způsob uplatnění metodického postupu
- Závěr



Metodický postup pro vyhodnocování dopadu kapacity sítí

Vývoj metodického postupu

- Vyhodnocování dopadu kapacity sítí bylo součástí Metodického postupu ČTÚ z roku 2016 (prezentovaného sektoru):
 - *Metodika pro měření a vyhodnocení datových parametrů pevných komunikačních sítí (verze 1.0.0)*
 - Příloha P2 (platná od 1.7.2016): *Měření a analýza pevné telekomunikační sítě **pro účely kontroly parametrů sítě a schopnosti přenosu dat.***
- Při novelizaci metodického postupu byla tato část vypuštěna s tím, že se jí bude věnovat samostatný metodický postup
- **Metodický postup (2016) pro kapacitu CAP → 1 Gb/s ≈ Poissonův proces**, metodika stanovena na základě empirického zjištění
- Nová metodika zohledňuje UF faktor (požadavek Evropské komise)

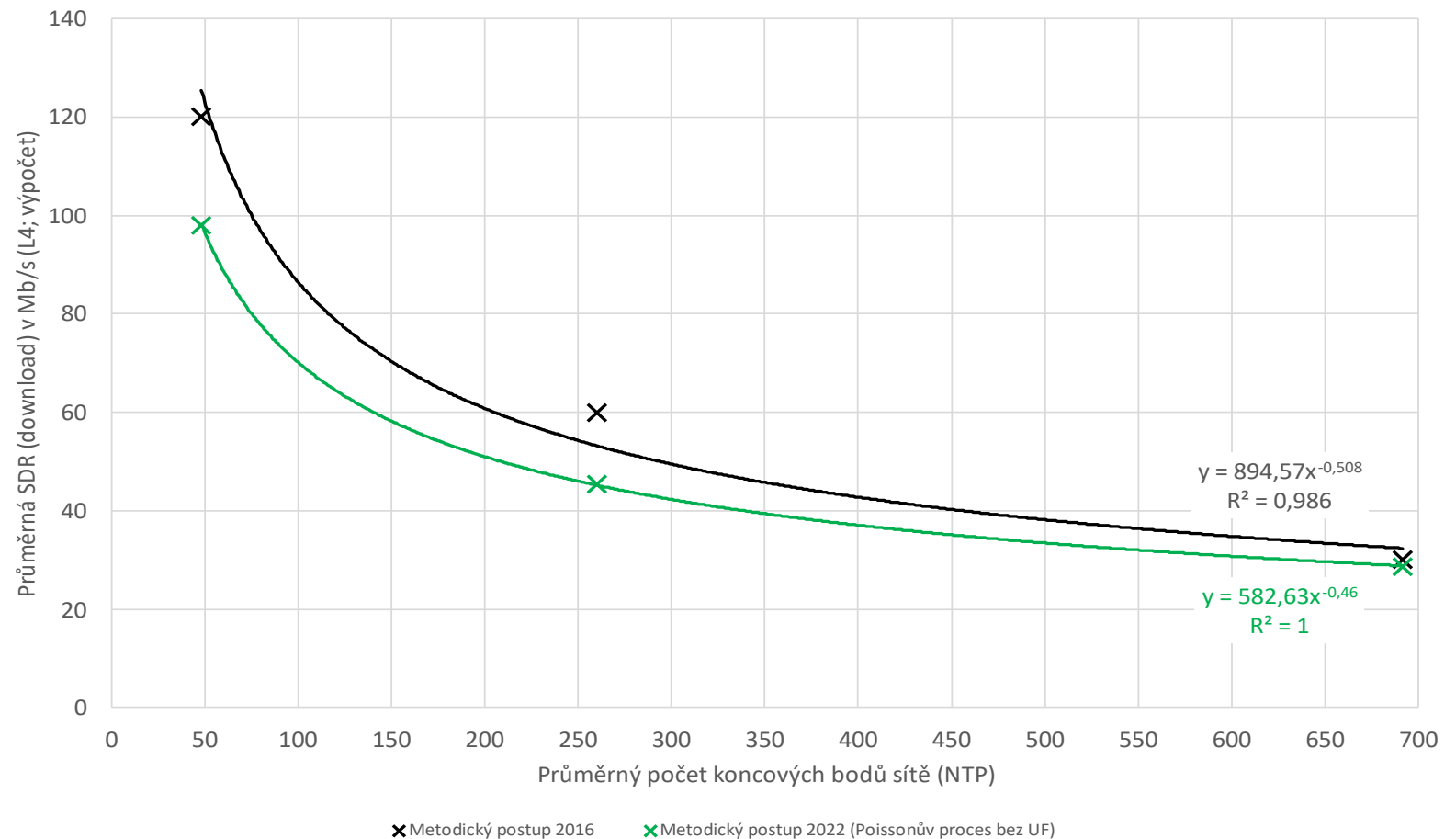


Metodický postup pro vyhodnocování dopadu kapacity sítí

Vývoj metodického postupu

- Graf zobrazuje porovnání výsledku z metodiky ČTÚ z roku 2016 a nové metodiky (2022)
- Poissonův proces pro dimenzování kapacity doporučují výrobci HW
 - Huawei (WTTx Capacity White Paper; 5G WTTx Planning)
 - NOKIA, Juniper a CISCO jen v rámci obecné zmínky
- Nová metodika zohledňuje chování uživatelů dle výsledků **monitoringu síťového provozu (UF)**

Porovnání původního metodického postupu ČTÚ (2016; v. 1.0.0) a nového metodického postupu (2022) na bázi Poissonova procesu
Kapacita sítě CAP = 896 Mb/s





Přirozená agregace

Měření dopadu přirozené agregace na výkon služby (SDR)

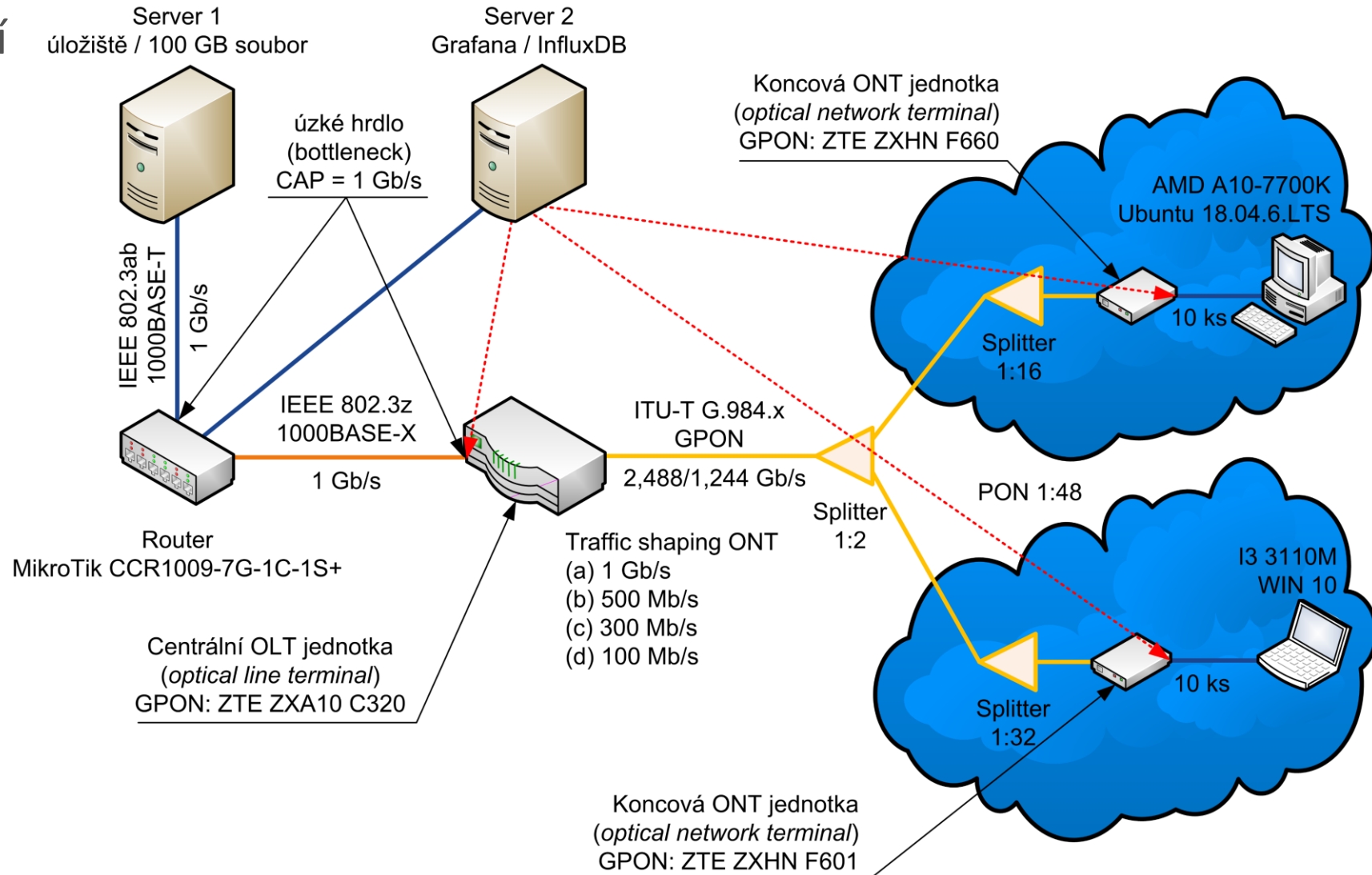
- Technologie přístupové sítě GPON
 - centrální OLT jednotka ZTE ZXA10 C320
 - standard ITU-T G.984.x
 - GPON umožňuje maximální šířku pásma SFP_{GPON} modulu (downlink) = 2,488 Gb/s
 - ve směr upstream přístup typu TDMA, ve směru downstream přístup typu broadcast
 - koncové ONT jednotky ZTE ZXHN F660 a ZXHN F601
 - celkem 10 + 10 ks ONT jednotek / 1 GE uživatelské rozhraní (IEEE 802.3ab)
 - pasivní optická síť PON s dělicím poměrem 1:48
- Kapacita centrální OLT jednotky CAP = 1 Gb/s (1 GE SFP modul)
- Použití PC k vytěžování služby (stahování 100 GB souboru)
 - i3 3110M/WIN 10 (10 ks) a AMD A10-7700K/Ubuntu 18.04.6.LTS (10 ks)
- Měření SDR nástrojem Grafana (monitoring/rozhraní OLT a ONT)



Přirozená agregace

Měření dopadu přirozené agregace na výkon služby (SDR)

- Měření SDR při stahování 100 GB souboru
 - časový interval 3,5 min.
 - průměrná hodnota SDR
- Prováděno 3krát opakované měření
- Časově odstupňované měření pro kategorie:
 - (a) traffic shaping 1 Gb/s
 - (b) traffic shaping 500 Mb/s
 - (c) traffic shaping 300 Mb/s
 - (d) traffic shaping 100 Mb/s
- Statistické vyhodnocení
 - boxplot
 - průměrné hodnoty (pomocí mocninné regresní funkce)

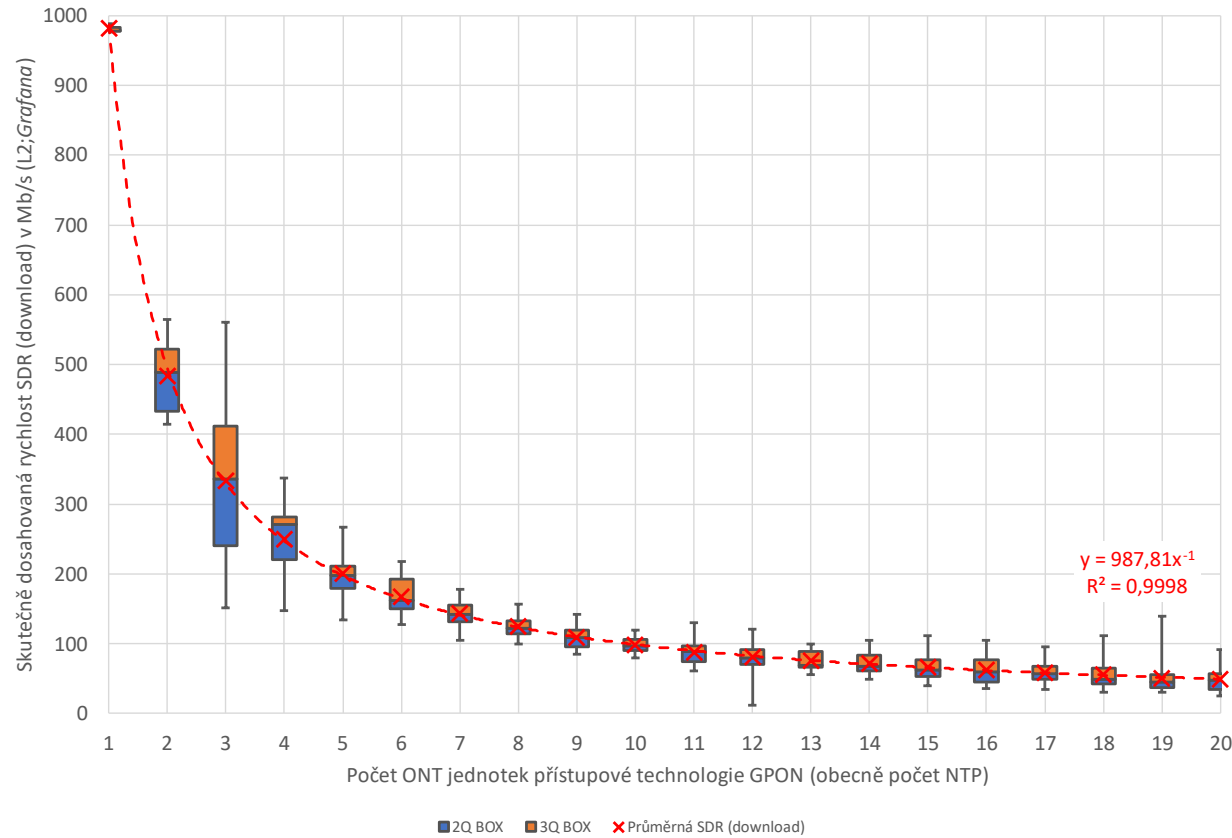




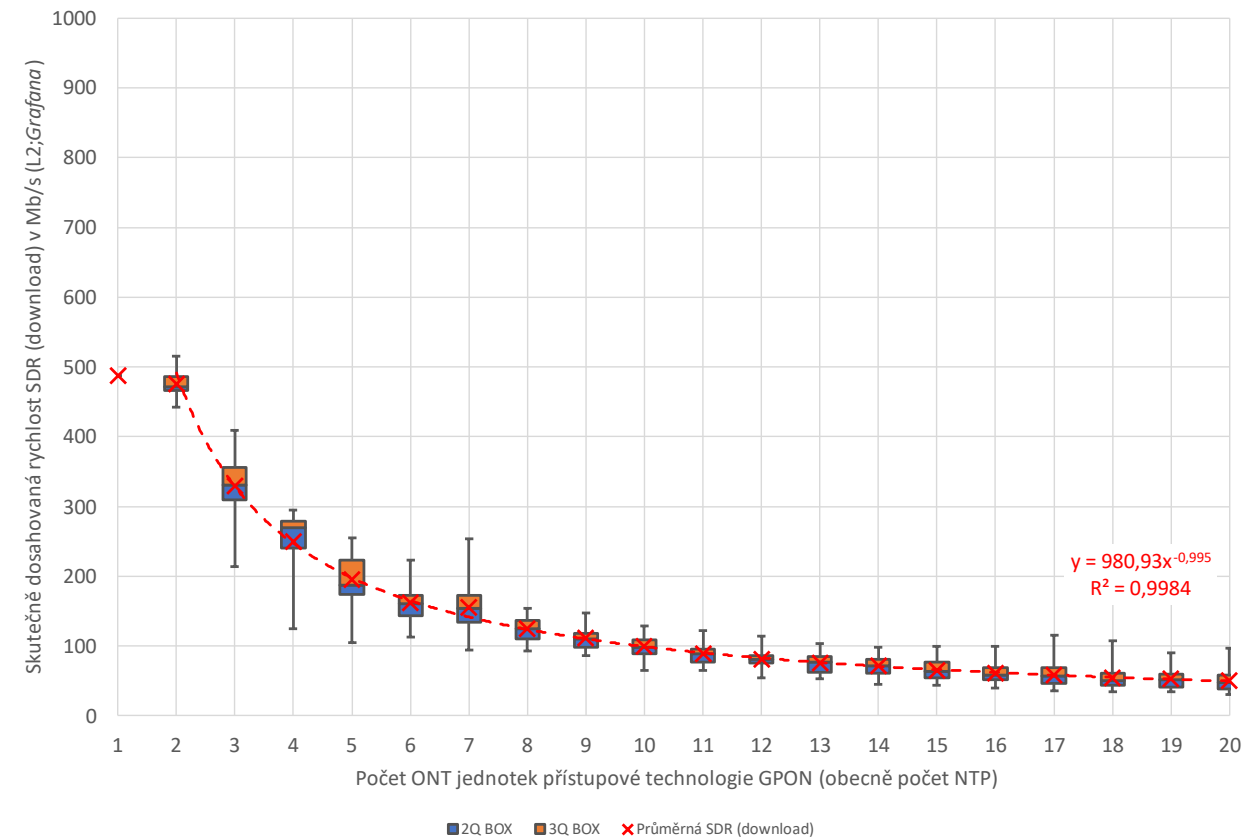
Přirozená agregace

Výsledky měření na GPON / Traffic shaping 1 Gb/s a 500 Mb/s

(a) Traffic shaping 1 Gb/s



(b) Traffic shaping 500 Mb/s

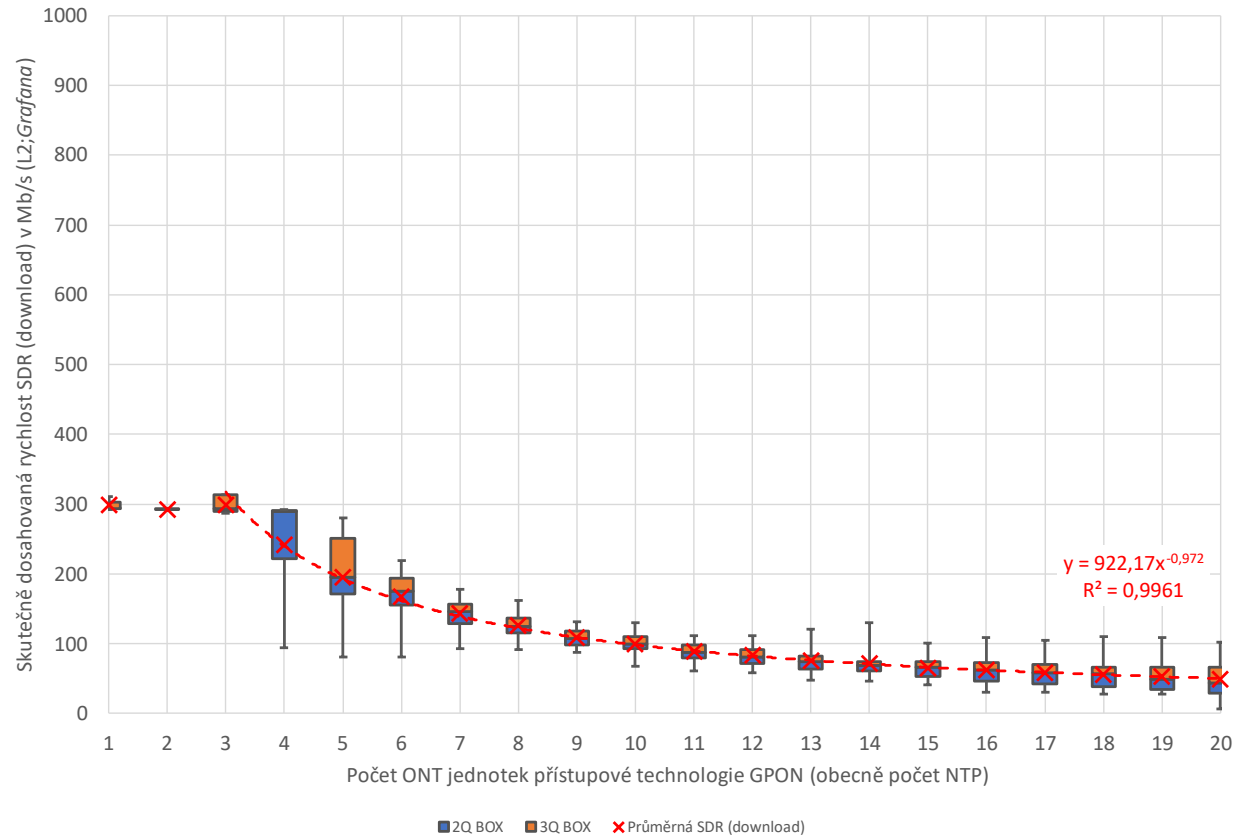




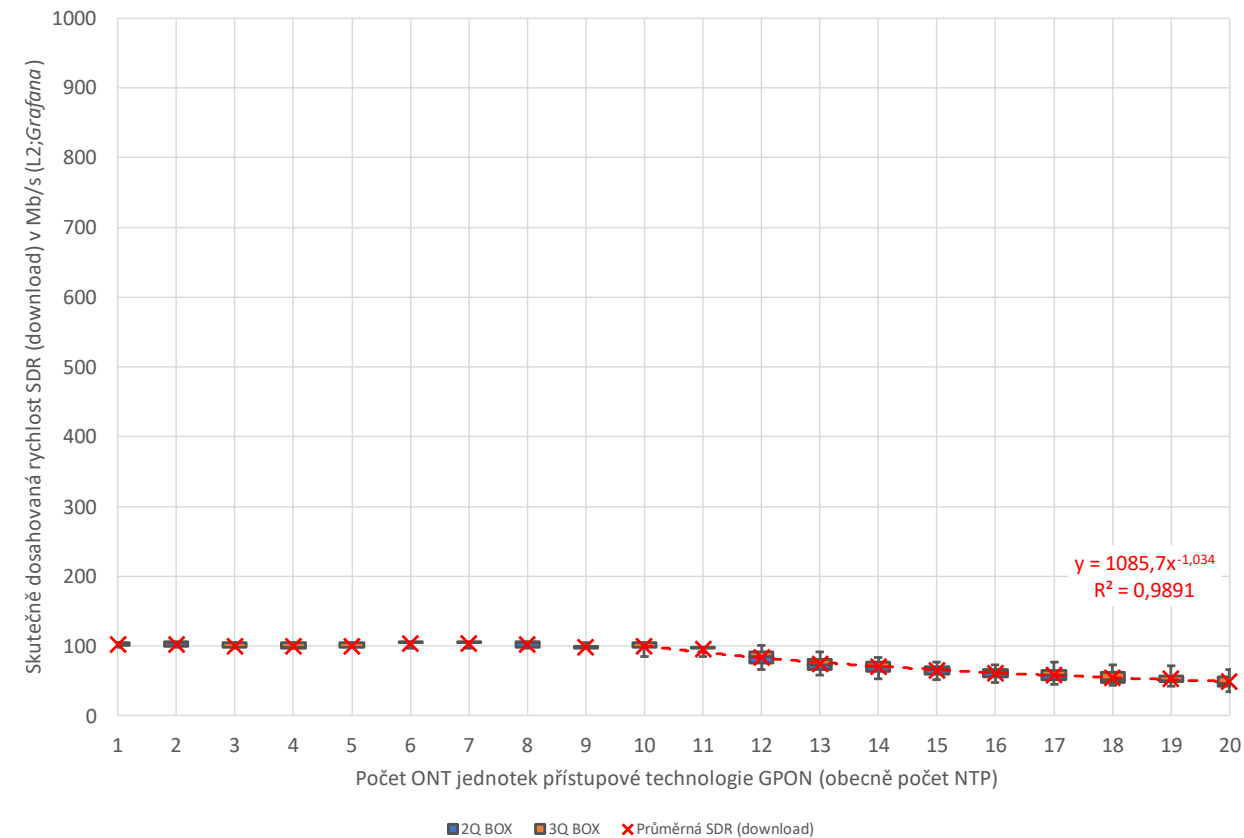
Přirozená agregace

Výsledky měření na GPON / Traffic shaping 300 Mb/s a 100 Mb/s

(c) Traffic shaping 300 Mb/s



(d) Traffic shaping 100 Mb/s

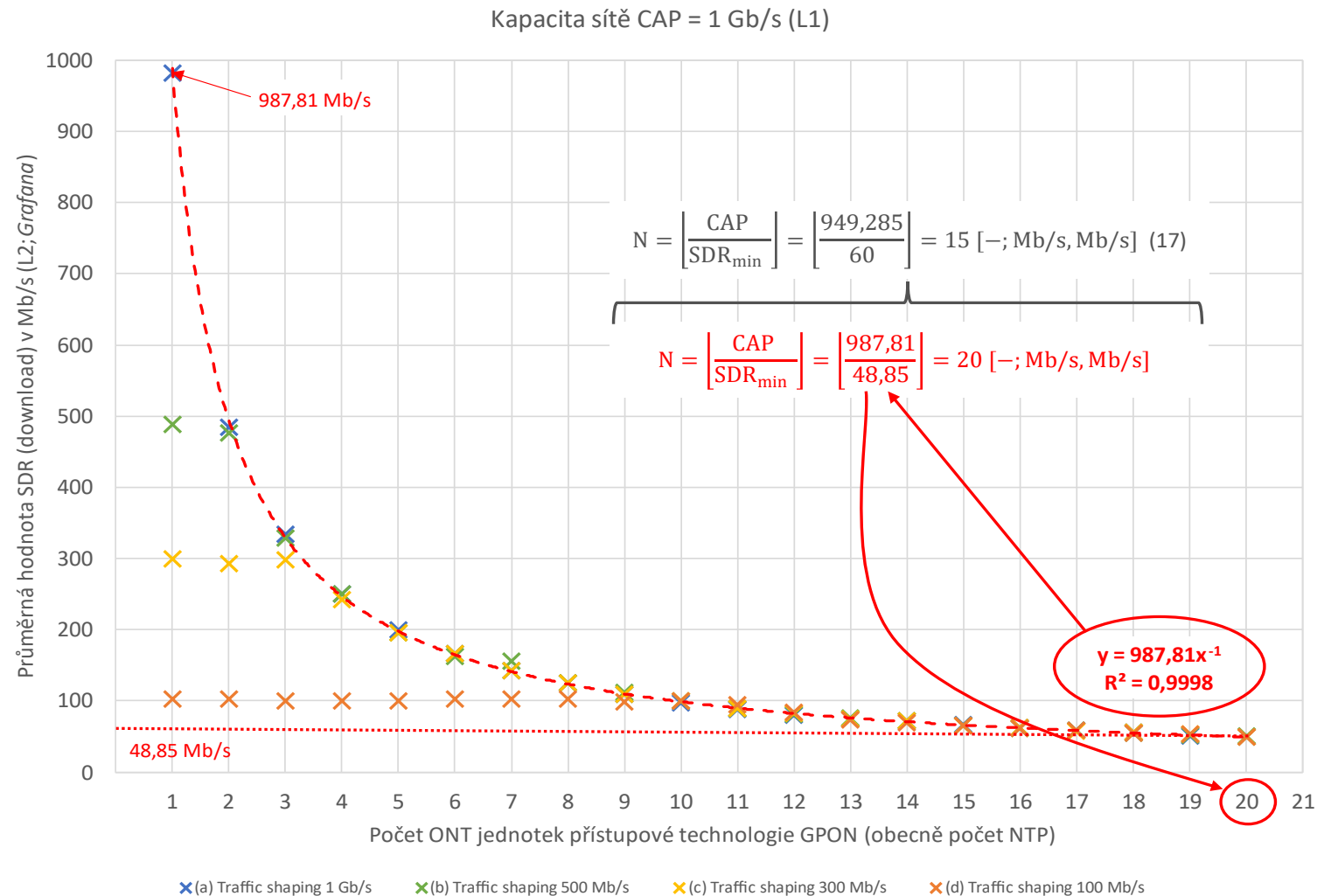




Přirozená agregace

Výsledná závislost výkonu služby (SDR) na počtu ONT (NTP)

- Výsledný graf průměrných hodnot SDR (traffic shaping)
 - N = počet ONT (NTP)
 - přirozená agregace → mocninná závislost průměrné hodnoty SDR na N
- Obecně odpovídá počet koncových bodů sítě N podílu kapacity CAP sítě a SDR
- Příklad GPON s 64 ONT (NTP): požadavek **SDR = 60 Mb/s** → zajištění **CAP = 3,84 Gb/s**
 - prakticky by to odpovídalo kvalitě vyhrazených linek ($SDR_{min} = BDR$)





Teorie hromadné obsluhy (THO)

Elementární vstupní datový tok tvořící Poissonův proces

- **System hromadné obsluhy (SHO)**
 - Kendallova klasifikace SHO: $X / Y / n / m \rightarrow M / M / 1 / \infty$
 - (X): M označuje elementární vstupní datový tok s exponenciální dobou mezi příchody \rightarrow Poisson
 - (Y): M označuje exponenciální dobu obsluhy
 - (n): 1 označuje počet distribučních/přípojních sítí (identifikované úzké hrdlo)
 - (m): ∞ znamená, že počet posuzovaných míst v SHO není explicitně omezen
- **Elementární vstupní datový tok (tvořící Poissonův proces)**
 - Stacionárnost: počet datových toků, které přichází k SHO za čas Δt závisí pouze na délce intervalu a ne na poloze v čase t
 - Regulárnost: pravděpodobnost výskytu více než 1 datového toku v dostatečně malém intervalu Δt je zanedbatelně malá
 - Nezávislost přírůstků: počet datových toků, které se vyskytnou v intervalu Δt , nezávisí na počtu datových toků v jiných intervalech



Teorie hromadné obsluhy (THO)

Dopad Poissonova procesu na SHO $M/M/1/\infty$

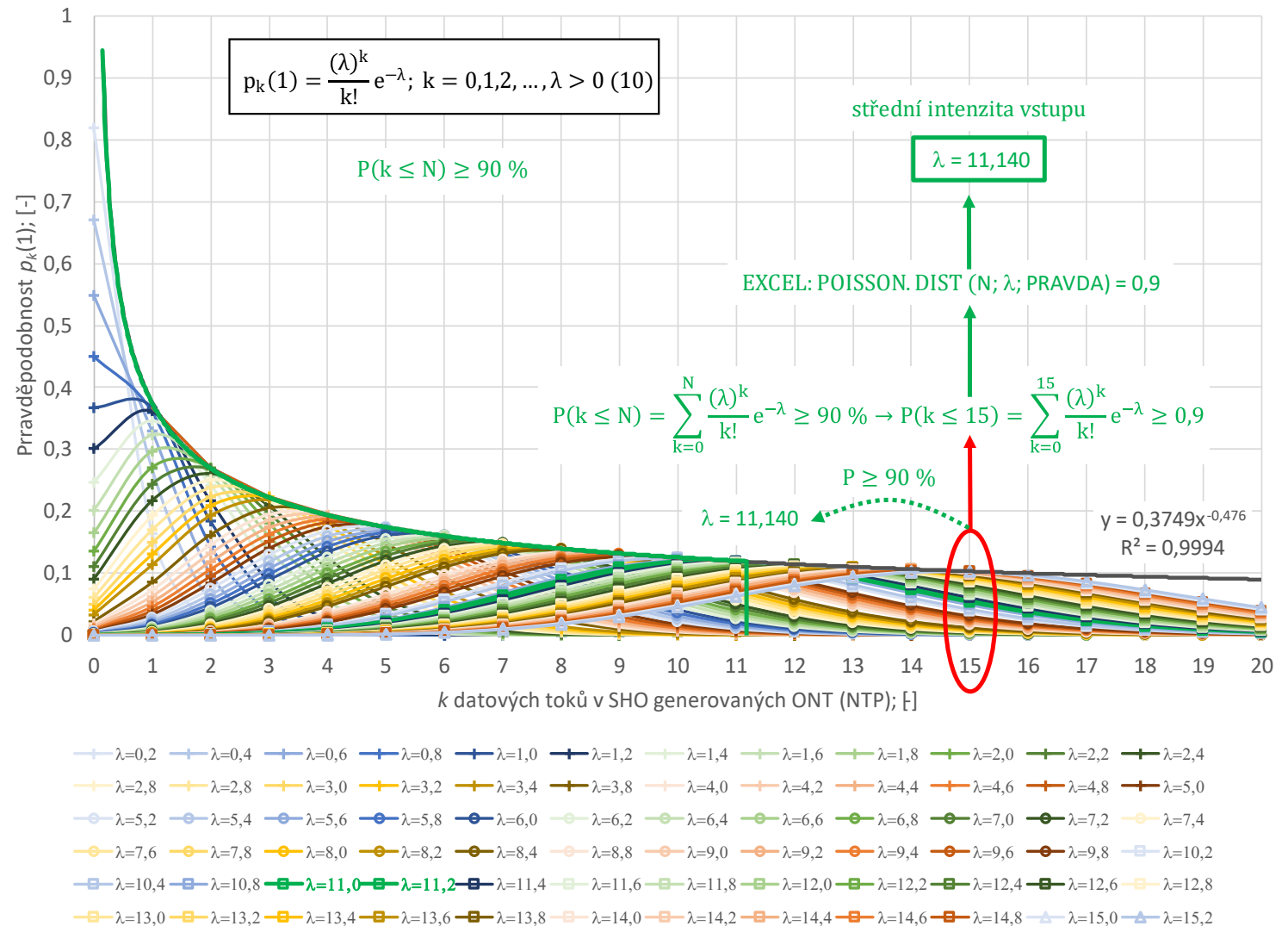
- Pravděpodobnost $p_k(t)$ znamená, že:
 - v čase t je v SHO (v posuzované síti EK) k datových toků
 - Regulárnost způsobuje, že pravděpodobnost, že v čase $t + \Delta t$ bude v SHO k datových toků, se rovná pravděpodobnosti, že v čase t bylo v SHO $(k - 1)$ datových toků a právě během intervalu Δt vstoupil do SHO 1 datový tok s pravděpodobností $\lambda \Delta t$:
 - $p_k(t + \Delta t) = p_{k-1}(t) \cdot \lambda \Delta t + p_k(t) \cdot (1 - \lambda \Delta t); k = 1, 2, \dots$
 - $p_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}; k = 0, 1, 2, \dots, \lambda > 0, t > 0.$
- Koncoví uživatelé využívají službu přístupu k internetu náhodně a nezávisle, ovšem na základě stejně pravděpodobnosti
 - Pravděpodobnost, že koncoví uživatelé (N) budou službu využívat ve stejnou dobu, má Poissonovo rozdělení s distribuční funkcí:
 - $P(k \leq N) = P(k = 0) + P(k = 1) + \dots + P(k = N) = \sum_{k=0}^N p_k(t)$



Teorie hromadné obsluhy (THO)

Dopad Poissonova procesu na SHO $M/M/1/\infty$

- V čase $t = 1$ lze výslednou distribuční funkci zapsat ve tvaru:
 - $P(k \leq N) = \sum_{k=0}^N \frac{(\lambda)^k}{k!} e^{-\lambda}; \lambda > 0$
- Výsledná distribuční funkce popisuje pravděpodobnost, že do SHO přijde současně N datových toků (ONT; NTP)
- Příklad (z metodiky):
 - $N = \left\lfloor \frac{CAP}{SDR_{min}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{949,285}{60} \right\rfloor = 15$





Poissonův proces

Dopad kapacity sítě (CAP) na počet koncových bodů sítě (NTP)

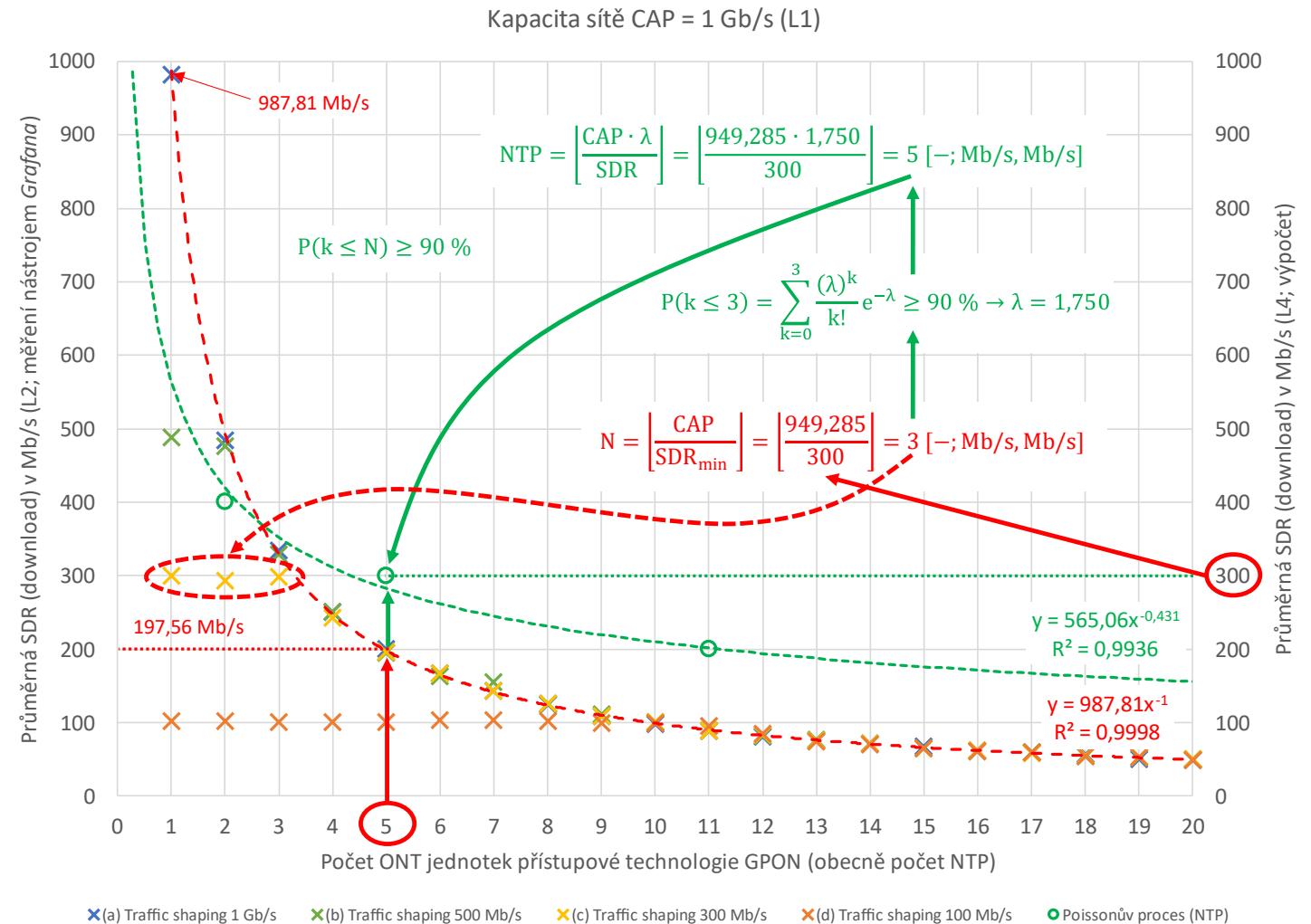
- Pro výchozí situaci označme skutečný počet NTP = N:
 - $$\frac{NTP}{\lambda} = \frac{\frac{CAP}{SDR_{\min}}}{\frac{CAP}{SDR_{\max}}} = \frac{SDR_{\max}}{SDR_{\min}} [-; -, -, -]$$
- Pro maximální využití kapacity sítě CAP lze počet koncových bodů sítě (NTP) stanovit jako:
 - $$SDR_{\max} = CAP \Rightarrow \frac{NTP}{\lambda} = \frac{CAP}{SDR_{\min}} \Rightarrow \mathbf{NTP} = \frac{CAP \cdot \lambda}{SDR} [-; Mb/s, -, Mb/s]$$
 - *Poznámka: V tomto případě ovšem platí $NTP \neq N$, protože $SDR_{\max} = CAP$!*
- Pro příklad $SDR = 60 \text{ Mb/s}$ a střední intenzity vstupu $\lambda = 11,140$:
 - $$NTP = \left\lfloor \frac{CAP \cdot \lambda}{SDR} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{949,285 \cdot 11,140}{60} \right\rfloor = 176 [-; Mb/s, -, Mb/s]$$



Poissonův proces

Dopad kapacity sítě (CAP) na počet koncových bodů sítě (NTP)

- **Příklad pro SDR = 300 Mb/s**
 - v případě přirozené agregace se bude počet **NTP = N = 3**
 - podle Poissonova procesu s $P(k \leq 3) \geq 90\%$ bude současně využívat službu s SDR = 300 Mb/s celkový počet **NTP = 5**
 - $\lambda = 1,750$
- **Příklad pro SDR = 95 Mb/s**
 - v případě přirozené agregace se bude počet **NTP = N = 9**
 - podle Poissonova procesu s $P(k \leq 9) \geq 90\%$ bude současně využívat službu s SDR = 95 Mb/s celkový počet **NTP = 62**
 - $\lambda = 6,215$





Poissonův proces

Dopad kapacity sítě (CAP) na výkon služby přístupu k internetu (SDR)

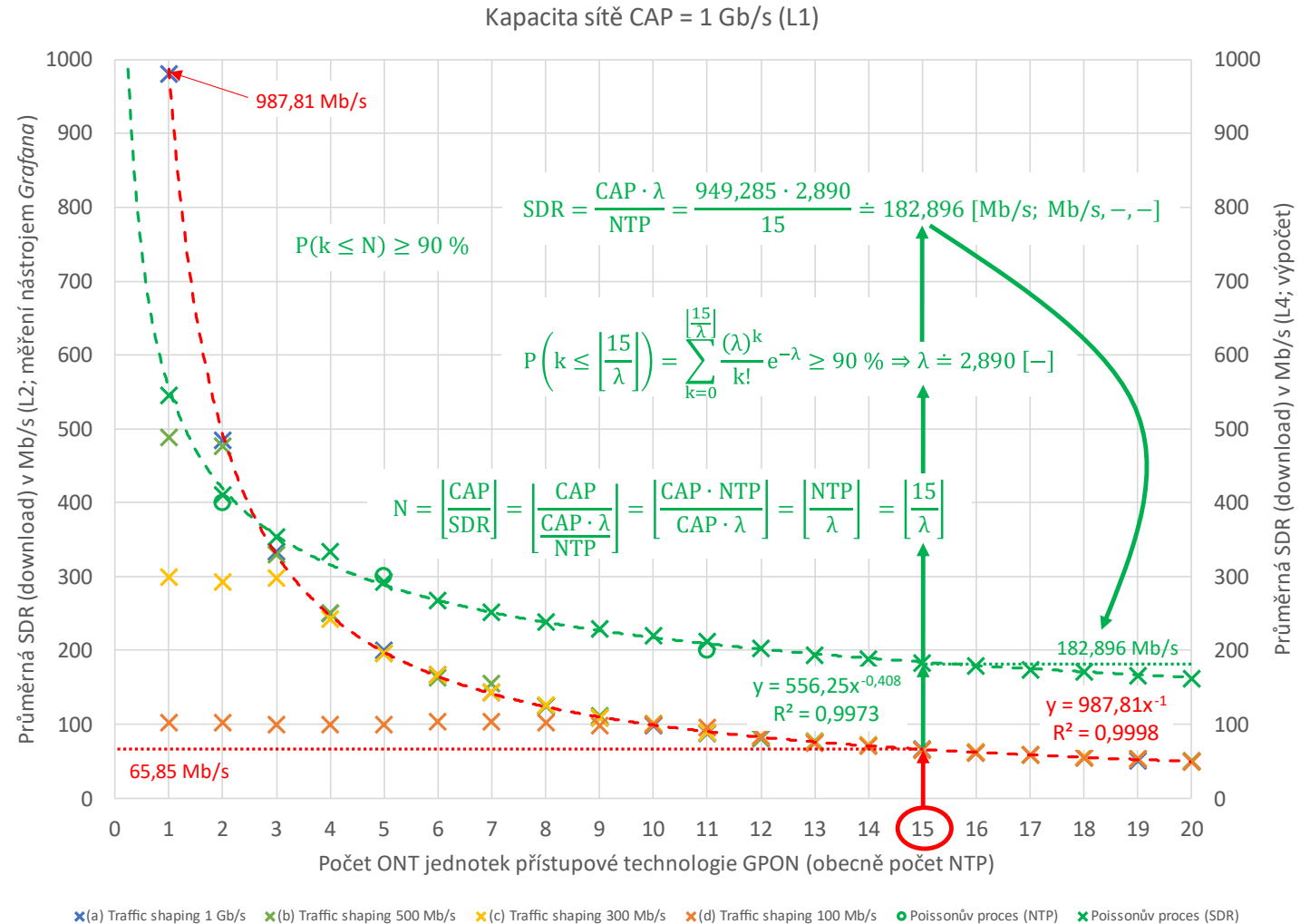
- Neznáme hodnotu SDR potřebnou pro výpočet hodnoty N
- Hodnotu N lze odvodit jako (příklad pro $N_{TP} = 15$):
 - $$N = \left\lfloor \frac{CAP}{SDR} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{CAP}{\frac{CAP \cdot \lambda}{N_{TP}}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{CAP \cdot N_{TP}}{CAP \cdot \lambda} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{N_{TP}}{\lambda} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{15}{\lambda} \right\rfloor [-; -]$$
- Střední intenzita vstupu λ se spočítá na základě Poissonova rozdělení prostřednictvím již známé distribuční funkce:
 - $$P\left(k \leq \left\lfloor \frac{15}{\lambda} \right\rfloor\right) = \sum_{k=0}^{\left\lfloor \frac{15}{\lambda} \right\rfloor} \frac{(\lambda)^k}{k!} e^{-\lambda} \geq 90 \% \Rightarrow \lambda \doteq 2,890 [-]$$
- Výslednou hodnotu výkonu služby (SDR) lze stanovit jako:
 - $$SDR = \frac{CAP \cdot \lambda}{N_{TP}} = \frac{949,285 \cdot 2,890}{15} \doteq 182,896 [\text{Mb/s}; \text{Mb/s}, -, -]$$



Poissonův proces

Dopad kapacity sítě (CAP) na výkon služby přístupu k internetu (SDR)

- **Příklad pro NTP = 64**
 - v případě přirozené agregace se bude **SDR = 14,833 Mb/s**
 - podle Poissonova procesu s $P\left(k \leq \left\lfloor \frac{64}{\lambda} \right\rfloor\right) \geq 90\%$ bude výkon služby v místě NTP dosahovat **SDR = 96,189 Mb/s**
 - $\lambda = 6,485$
- **Příklad pro NTP = 256**
 - v případě přirozené agregace se bude **SDR = 3,708 Mb/s**
 - s $P\left(k \leq \left\lfloor \frac{256}{\lambda} \right\rfloor\right) \geq 90\%$ bude výkon služby v místě NTP dosahovat **SDR = 51,024 Mb/s**
 - $\lambda = 13,760$





Poissonův proces

Dopad kapacity sítě (CAP) na průměrný pokles výkonu služeb (P_{SDR})

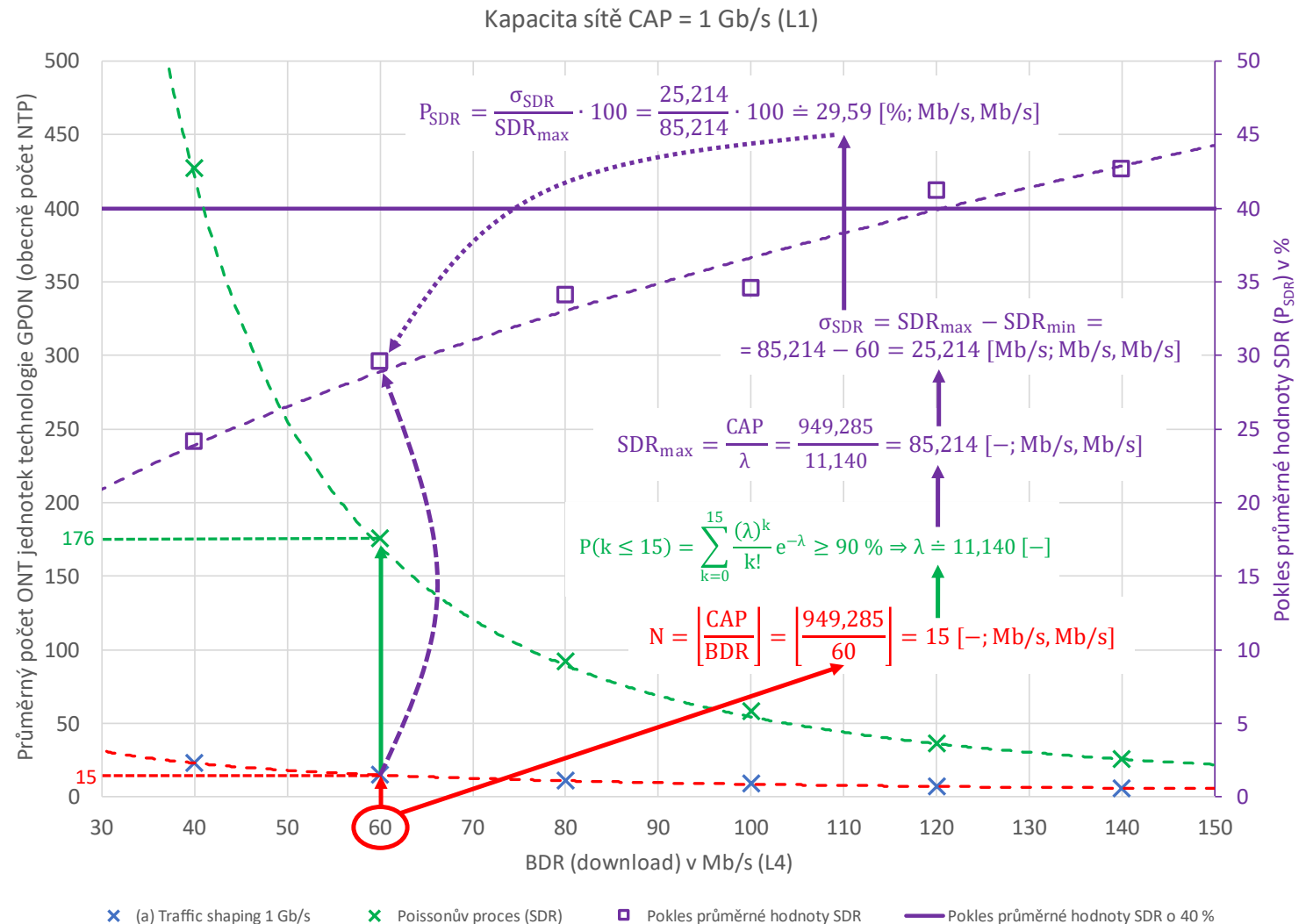
- Hodnotu SDR_{\min} lze označit jako BDR
- Hodnotu N stanovíme (příklad pro $SDR_{\min} = BDR = 60 \text{ Mb/s}$):
 - $N = \left\lfloor \frac{CAP}{SDR_{\min}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{CAP}{BDR} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{949,285}{60} \right\rfloor = 15 [-]$
- Střední intenzita vstupu λ se spočítá na základě Poissonova rozdělení prostřednictvím již známé distribuční funkce:
 - $P(k \leq N) = \sum_{k=0}^N \frac{(\lambda)^k}{k!} e^{-\lambda} \geq 90 \% \Rightarrow \lambda \doteq 11,140 [-]$
- Při znalosti λ lze následně stanovit výkon služby přístupu k internetu SDR_{\max} jako:
 - $SDR_{\max} = \frac{CAP}{\lambda} = \frac{949,285}{11,140} \doteq 85,214 [\text{Mb/s}]$



Poissonův proces

Dopad kapacity sítě (CAP) na průměrný pokles výkonu služeb (P_{SDR})

- Rozptyl výkonu služby přístupu k internetu, tedy průměrné hodnoty SDR dosahované v místě NTP, se stanoví jako:
 - $\sigma_{SDR} = SDR_{max} - SDR_{min} = 85,214 - 60 = 25,214$ [Mb/s; Mb/s, Mb/s]
- Výsledný pokles průměrné hodnoty SDR (P_{SDR}):
 - $P_{SDR} = \frac{\sigma_{SDR}}{SDR_{max}} \cdot 100 = \frac{25,214}{85,214} \cdot 100 \doteq 29,59$ [%; Mb/s, Mb/s]

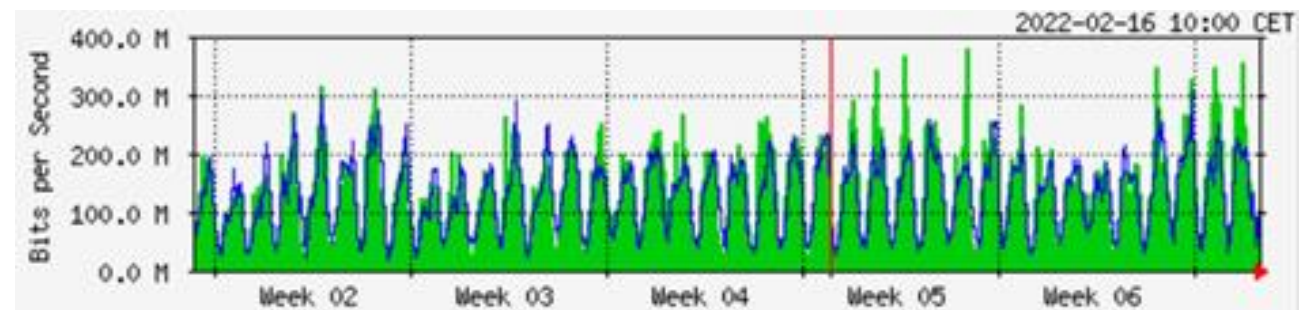




Faktor využití sítě (UF)

Dopad na hodnotu kapacity (CAP) v rámci Poissonova procesu

- Mezi běžně používanou metodu identifikace míry využití sítě patří stanovení parametru využití jednotlivých datových spojů (LU):
 - $LU = \frac{NBR}{CAP} [-; Mb/s, Mb/s]$
- Faktor využití sítě (UF) charakterizuje typické chování koncových uživatelů vzhledem k typu datového provozu a konkrétní lokalitě:
 - Parametr UF se stanovuje na základě monitoringu síťového provozu (měsíční, alternativně denní)
 - $UF = \frac{NBR_{avg}}{NBR_{max}} [-; Mb/s, Mb/s]$
 - Příklad přípojné sítě (A):
 - $UF = \frac{NBR_{avg}}{NBR_{max}} = \frac{127,3}{302,2} = \mathbf{0,421} [-; Mb/s, Mb/s]$





Faktor využití sítě (UF)

Dopad na hodnotu kapacity (CAP) v rámci Poissonova procesu

- Ze znalosti hodnoty faktoru využití UF lze vyjádřit nominální hodnotu rychlosti ve špičce:
 - $UF = \frac{NBR_{avg}}{NBR_{max}} \Rightarrow NBR_{max} = \frac{NBR_{avg}}{UF}$ [Mb/s; Mb/s, –]
- Kapacitu datového spoje můžeme na základě znalosti hodnoty parametru využití LU_{max} (v čase provozní špičky) definovat jako:
 - $LU_{max} = \frac{NBR_{max}}{CAP} \Rightarrow \mathbf{CAP} = \frac{NBR_{max}}{LU_{max}} = \frac{\mathbf{NBR_{avg}}}{\mathbf{UF \cdot LU_{max}}}$ [Mb/s; Mb/s, –, –]
- Samotná znalost hodnoty faktoru využití UF je pro posouzení dopadu kapacity nedostatečná
- Je nutné znát i **průměrnou hodnotu bitové rychlosti NBR_{avg}**



Faktor využití sítě (UF)

Dopad na hodnotu kapacity (CAP) v rámci Poissonova procesu

- V teoretickém případě při maximálním možném využití datového spoje LU, kdy maximální bitová rychlost $NBR_{\max} = CAP$:
 - $LU = \frac{NBR}{CAP} \Rightarrow LU_{\max}(NBR = CAP) = \frac{CAP}{CAP} = 1$
 - $UF = \frac{NBR_{\text{avg}}}{NBR_{\max}} = \frac{NBR_{\text{avg}}}{CAP} \Rightarrow NBR_{\text{avg}} = UF \cdot CAP$
- Dopad této kombinace lze vyjádřit pomocí upravené kapacity CAP' (*adjusted capacity*) jako teoretické změny původní kapacity:
 - $CAP'_{\text{pro } LU_{\max}=1} = \frac{NBR_{\text{avg}}}{UF \cdot LU_{\max}} = \frac{UF \cdot CAP}{UF \cdot \frac{CAP}{NBR_{\max}}} = \frac{UF \cdot CAP}{UF \cdot \frac{CAP}{CAP}} = \frac{UF \cdot CAP}{UF} = CAP$
- Pokud UF zohledníme obecně v podobě faktoru úpravy (korekce) κ :
 - $CAP' = \kappa \cdot CAP$ (Pro Poissonův proces bez dopadu UF je $\kappa = 1$)

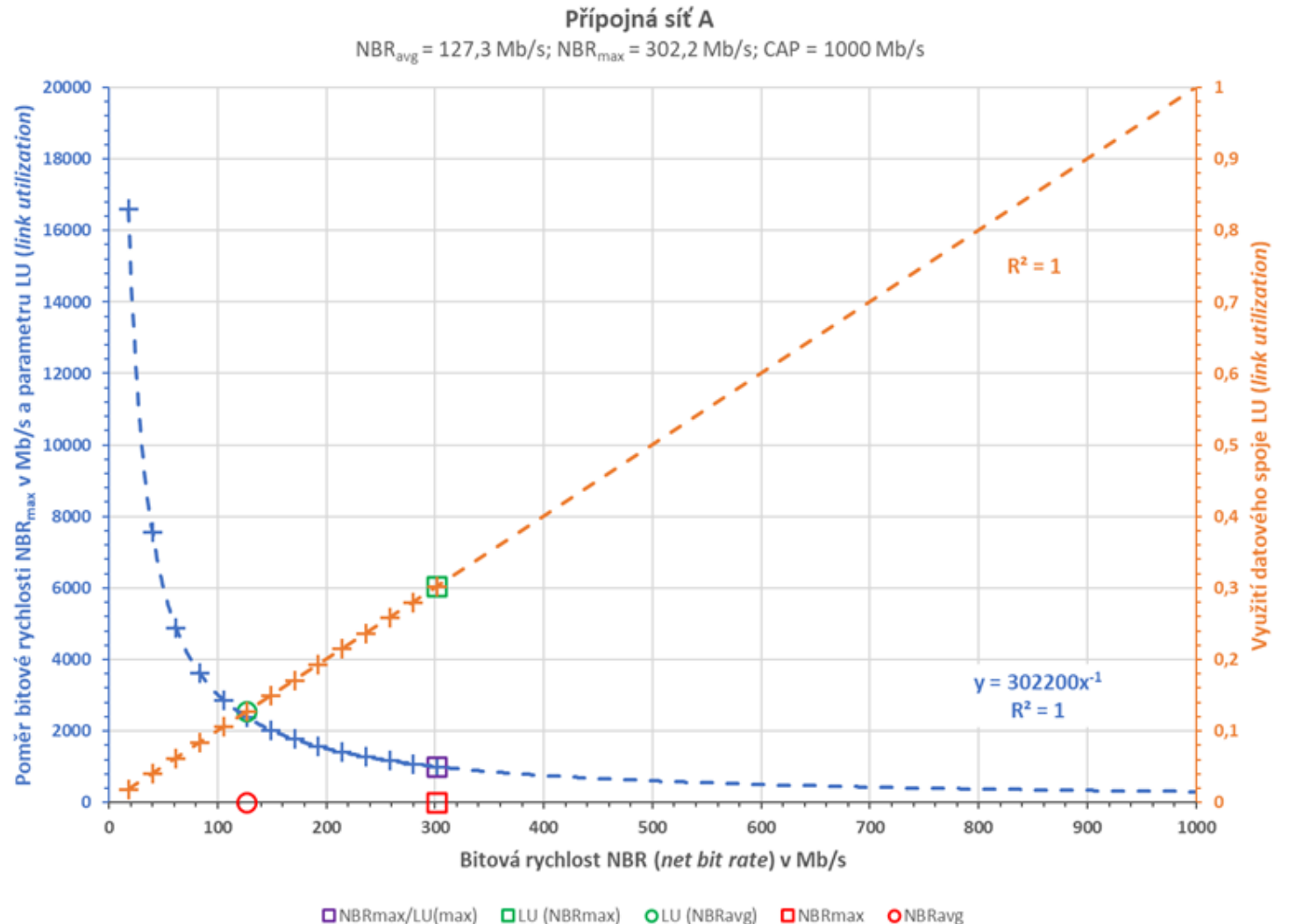


Faktor využití sítě (UF)

Dopad na hodnotu kapacity (CAP) v rámci Poissonova procesu

- Při stanovení faktoru úpravy κ je nutné vycházet z poměru hodnoty NBR_{max} a hodnoty parametru využití datového spoje LU
- Při stanovení faktoru úpravy κ se musí zohlednit stávající využití kapacity datového spoje (NBR_{max}) dle monitoringu:

$$\kappa = \frac{\frac{NBR_{max}}{LU}}{NBR_{max}} = \frac{NBR_{max}}{LU \cdot NBR_{max}} = \frac{1}{LU}$$





Faktor využití sítě (UF)

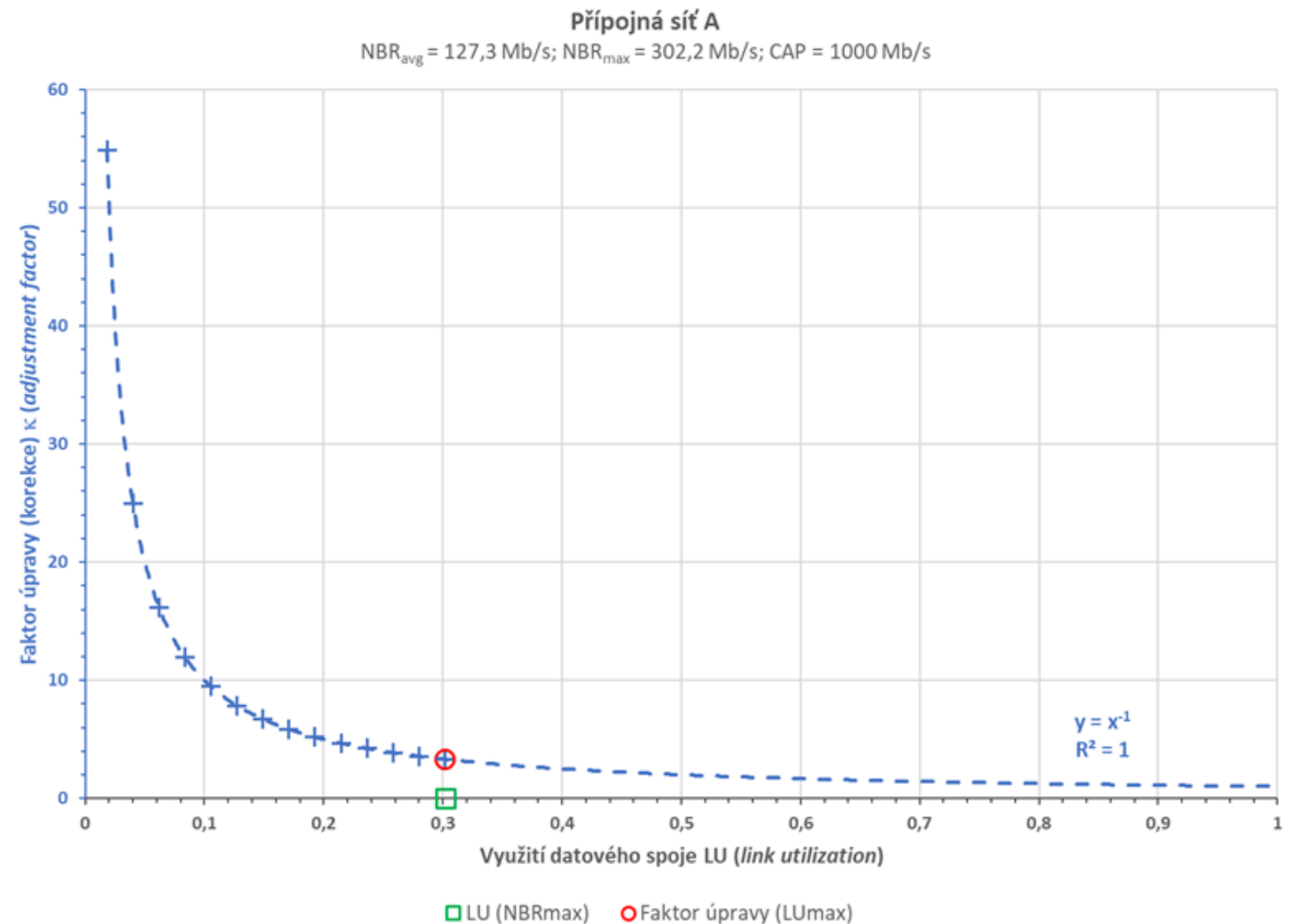
Dopad na hodnotu kapacity (CAP) v rámci Poissonova procesu

- Hodnota faktoru úpravy κ je převrácenou hodnotou využití datového spoje LU, potom hodnotu upravené kapacity CAP' lze stanovit:

$$CAP' = \kappa \cdot CAP = \frac{CAP}{LU}$$

- V příkladu přípojné sítě A, kdy $NBR_{max} = 302,2 \text{ Mb/s} \Rightarrow LU_{max} \doteq 0,302$, lze stanovit κ jako:

$$\kappa = \frac{1}{LU_{max}} = \frac{1}{0,302} \doteq 3,307$$





Faktor využití sítě (UF)

Dopad na hodnotu kapacity (CAP) v rámci Poissonova procesu

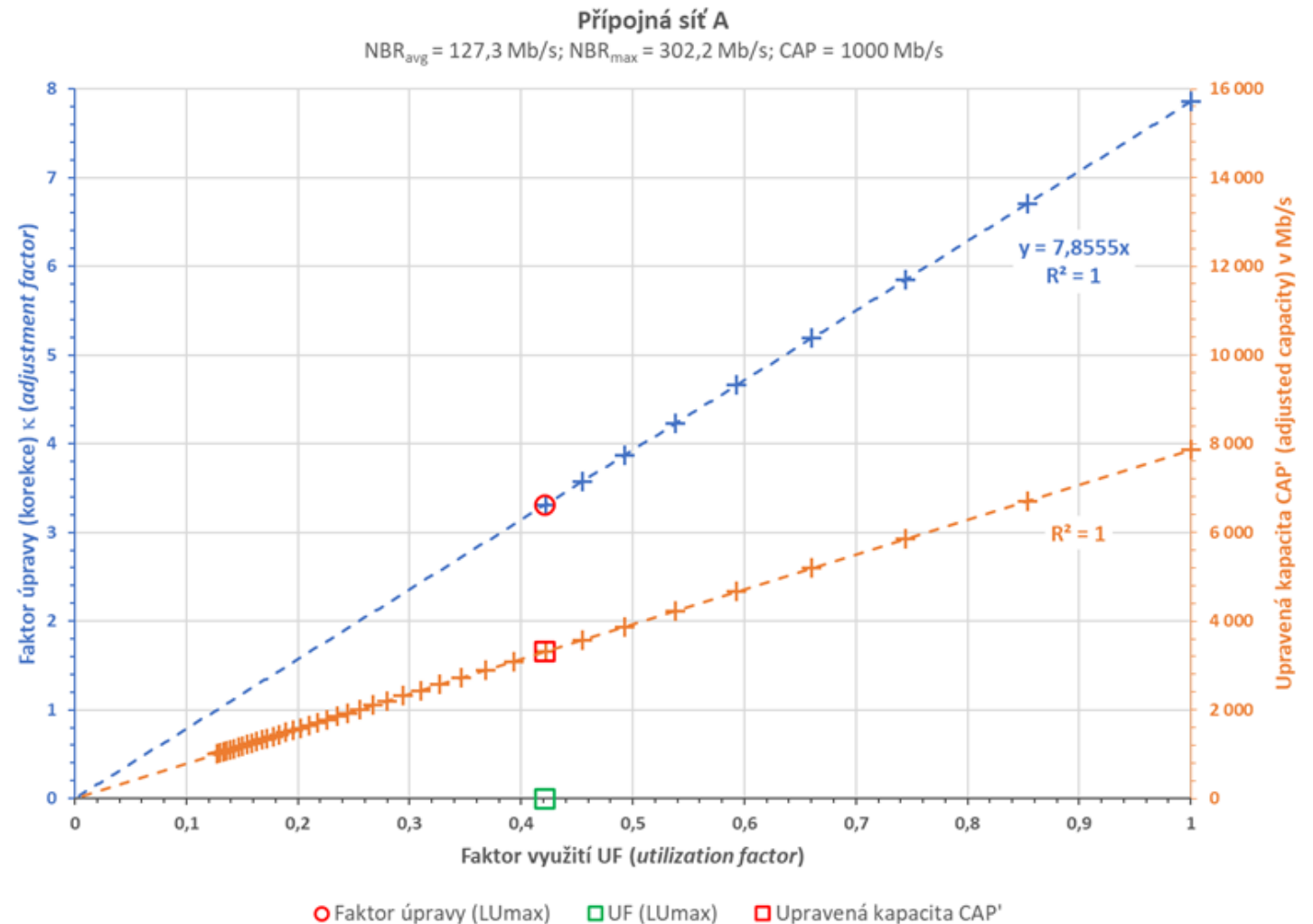
- Pro zohlednění hodnoty faktoru využití UF při výpočtu hodnoty upravené kapacity CAP' lze vztah pro κ dále upravit do podoby:

$$\kappa = \frac{1}{LU_{max}} = \frac{1}{\frac{NBR_{max}}{CAP}} = \frac{CAP}{NBR_{max}}$$

$$\frac{NBR_{avg}}{NBR_{avg}} = \frac{CAP \cdot UF}{NBR_{avg}}$$

- Výslednou hodnotu CAP' můžeme stanovit jako:

$$CAP' = \kappa \cdot CAP = \frac{CAP \cdot UF}{NBR_{avg}} \cdot CAP = \frac{CAP^2 \cdot UF}{NBR_{avg}}$$





Poissonův proces

Dopad faktoru využití (UF) na počet koncových bodů sítě (NTP)

- Při zohlednění dopadu faktoru využití (UF) na kapacitu sítě CAP lze počet koncových bodů sítě (NTP) stanovit jako:

$$\begin{aligned}
 \text{NTP} &= \left\lfloor \frac{\text{CAP}' \cdot \lambda}{\text{SDR}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\kappa \cdot \text{CAP} \cdot \lambda}{\text{SDR}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\frac{\text{CAP}^2 \cdot \text{UF} \cdot \lambda}{\text{NBR}_{\text{avg}}} \cdot \lambda}{\text{SDR}} \right\rfloor = \\
 &= \left\lfloor \frac{\text{UF} \cdot \text{CAP}^2 \cdot \lambda}{\text{SDR} \cdot \text{NBR}_{\text{avg}}} \right\rfloor [-; -, (\text{Mb/s})^2, -, \text{Mb/s}, \text{Mb/s}]
 \end{aligned}$$

- Pro příklad SDR = 60 Mb/s, střední intenzity vstupu $\lambda = 11,140$ a příkladu přípojně sítě A, tedy UF = 0,421 a $\text{NBR}_{\text{avg}} = 127,3$ Mb/s:

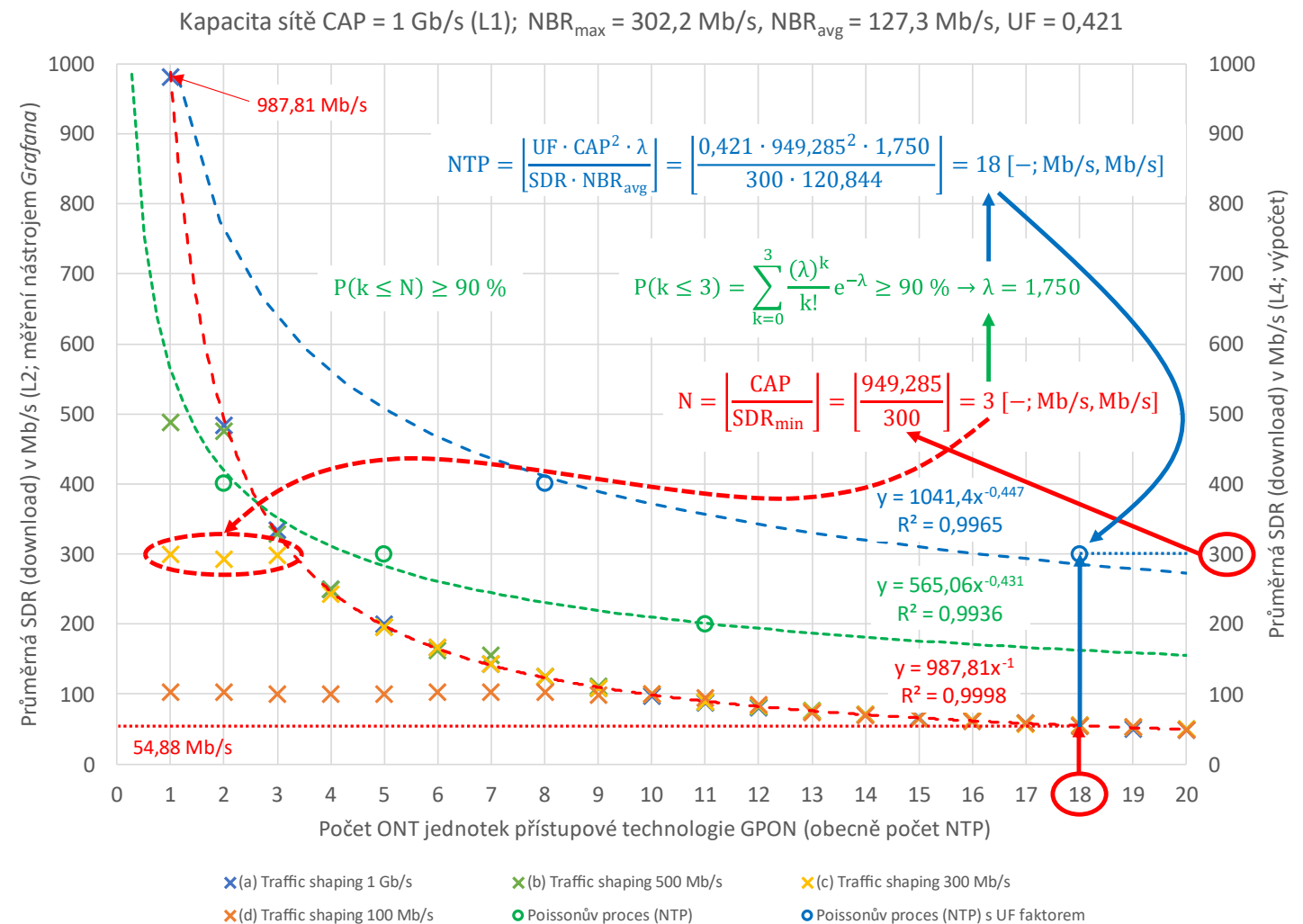
$$\text{NTP} = \left\lfloor \frac{\text{UF} \cdot \text{CAP}^2 \cdot \lambda}{\text{SDR} \cdot \text{NBR}_{\text{avg}}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{0,421 \cdot 949,285^2 \cdot 11,140}{60 \cdot 120,844} \right\rfloor = 582 [-; \text{Mb/s}, -, \text{Mb/s}]$$



Poissonův proces

Dopad faktoru využití (UF) na počet koncových bodů sítě (NTP)

- **Příklad pro SDR = 300 Mb/s**
 - v případě přirozené agregace se bude počet **NTP = N = 3**
 - podle Poissonova procesu s $P(k \leq 3) \geq 90\%$ bude současně využívat službu s SDR = 300 Mb/s celkový počet **NTP = 5**
 - $UF = 0,421 \rightarrow$ **NTP = 18**
- **Příklad pro SDR = 95 Mb/s**
 - v případě přirozené agregace se bude počet **NTP = N = 9**
 - podle Poissonova procesu s $P(k \leq 9) \geq 90\%$ bude současně využívat službu s SDR = 300 Mb/s celkový počet **NTP = 62**
 - $UF = 0,421 \rightarrow$ **NTP = 205**





Poissonův proces

Dopad faktoru využití (UF) na výkon služby přístupu k internetu (SDR)

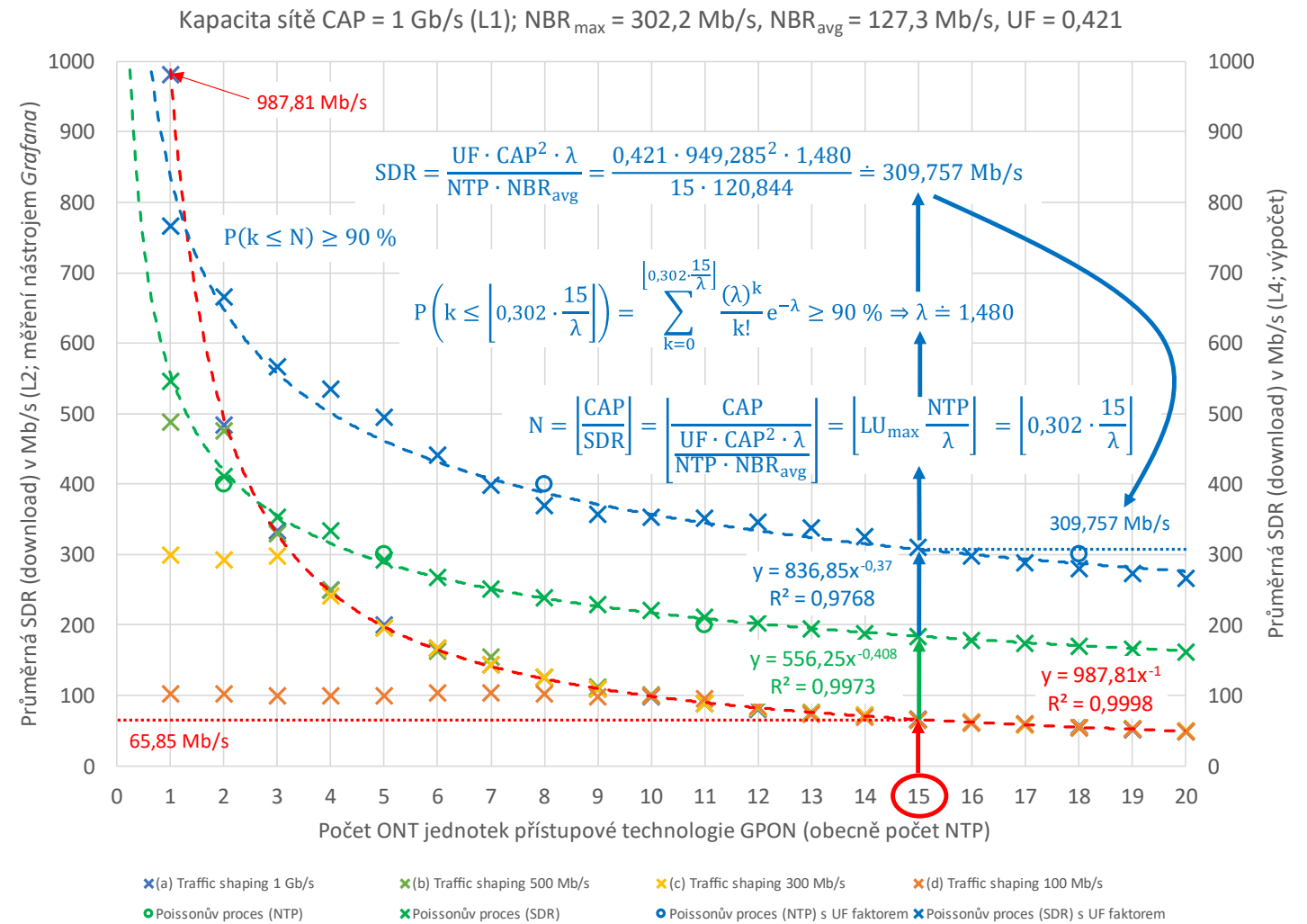
- Opět neznáme hodnotu SDR potřebnou pro výpočet hodnoty N
- Hodnotu N lze odvodit jako (příklad pro $NTP = 15$; $LU_{\max} = 0,302$):
 - $$N = \left\lfloor \frac{CAP}{SDR} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{CAP}{\frac{UF \cdot CAP^2 \cdot \lambda}{NTP \cdot NBR_{avg}}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{NTP \cdot NBR_{avg}}{UF \cdot CAP \cdot \lambda} \right\rfloor = \left\lfloor LU_{\max} \frac{NTP}{\lambda} \right\rfloor = \left\lfloor 0,302 \cdot \frac{15}{\lambda} \right\rfloor$$
- Střední intenzita vstupu λ se spočítá na základě Poissonova rozdělení prostřednictvím již známé distribuční funkce:
 - $$P\left(k \leq \left\lfloor 0,302 \cdot \frac{15}{\lambda} \right\rfloor\right) = \sum_{k=0}^{\left\lfloor 0,302 \cdot \frac{15}{\lambda} \right\rfloor} \frac{(\lambda)^k}{k!} e^{-\lambda} \geq 90 \% \Rightarrow \lambda \doteq 1,480 [-]$$
- Výslednou hodnotu výkonu služby (SDR) lze stanovit jako:
 - $$SDR = \frac{UF \cdot CAP^2 \cdot \lambda}{NTP \cdot NBR_{avg}} = \frac{0,421 \cdot 949,285^2 \cdot 1,480}{15 \cdot 120,844} \doteq 309,757 [\text{Mb/s}; \text{Mb/s}, -, -]$$



Poissonův proces

Dopad faktoru využití (UF) na výkon služby přístupu k internetu (SDR)

- **Příklad pro NTP = 64**
 - v případě přirozené agregace se bude **SDR = 14,833 Mb/s**
 - podle Poissonova procesu s $P\left(k \leq \left\lfloor \frac{64}{\lambda} \right\rfloor\right) \geq 90\%$ bude výkon služby v místě NTP dosahovat **SDR = 96,189 Mb/s**
 - $UF = 0,421 \rightarrow$ **SDR = 164,329 Mb/s**
- **Příklad pro NTP = 256**
 - v případě přirozené agregace se bude **SDR = 3,708 Mb/s**
 - s $P\left(k \leq \left\lfloor \frac{256}{\lambda} \right\rfloor\right) \geq 90\%$ bude výkon služby v místě NTP dosahovat **SDR = 51,024 Mb/s**
 - $UF = 0,421 \rightarrow$ **SDR = 88,260 Mb/s**





Poissonův proces

Dopad faktoru využití (UF) na průměrný pokles výkonu služeb (P_{SDR})

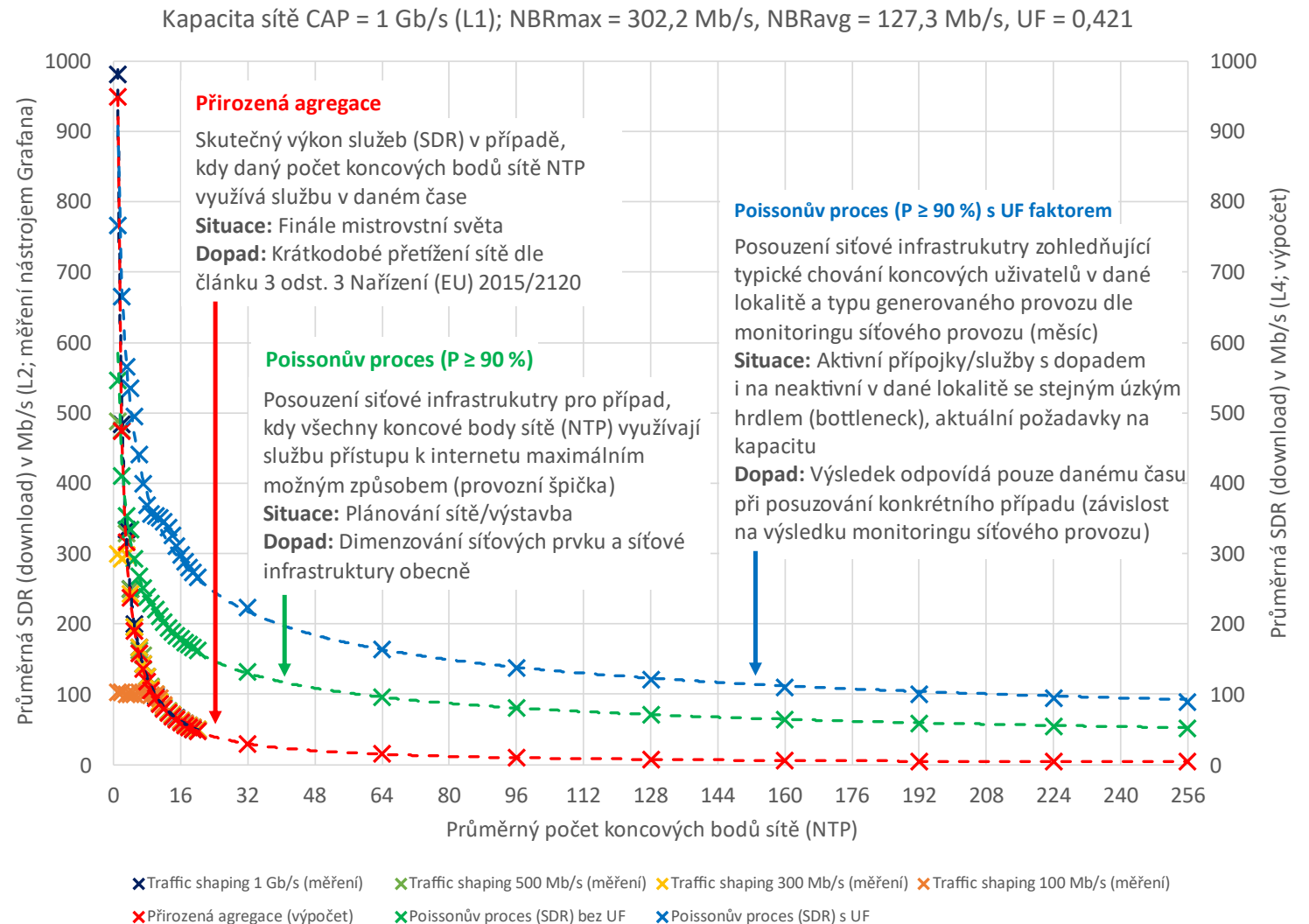
- Hodnotu SDR_{\min} lze označit jako BDR
- Hodnotu N stanovíme (příklad pro $SDR_{\min} = BDR = 60 \text{ Mb/s}$):
 - $$N = \left\lfloor \frac{CAP'}{SDR_{\min}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{CAP'}{BDR} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\frac{CAP}{NBR_{\text{avg}}} \cdot UF \cdot CAP}{BDR} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{UF \cdot CAP^2}{BDR \cdot NBR_{\text{avg}}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{0,421 \cdot 949,285^2}{60 \cdot 120,844} \right\rfloor = 52 [-]$$
- Střední intenzita vstupu λ se spočítá na základě Poissonova rozdělení prostřednictvím již známé distribuční funkce:
 - $$P(k \leq N) = \sum_{k=0}^N \frac{(\lambda)^k}{k!} e^{-\lambda} \geq 90 \% \Rightarrow \lambda \doteq 44,000 [-]$$
- Při znalosti λ lze následně stanovit výkon služby přístupu k internetu SDR_{\max} jako:
 - $$SDR_{\max} = \frac{CAP'}{\lambda} = \frac{\frac{CAP}{NBR_{\text{avg}}} \cdot UF \cdot CAP}{\lambda} = \frac{UF \cdot CAP^2}{\lambda \cdot NBR_{\text{avg}}} = \frac{0,421 \cdot 949,285^2}{44,000 \cdot 120,844} \doteq 71,351 [\text{Mb/s}]$$



Metodický postup pro vyhodnocování dopadu kapacity

Souhrnné výsledky pro příklad GPON (1:256) s kapacitou 1 Gb/s

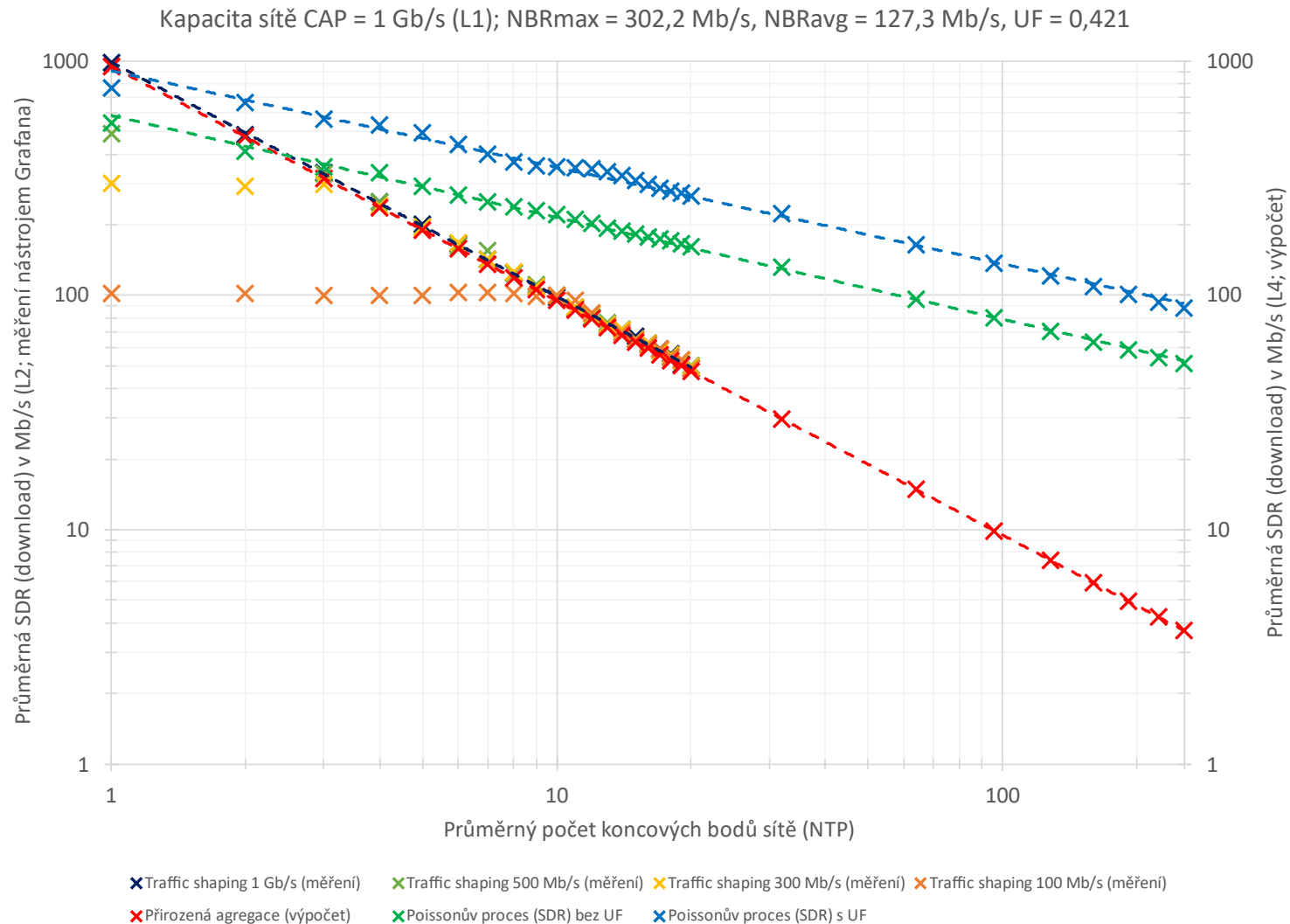
- Interní metodika ČTÚ (2022) pro jednotný postup při posuzování dopadu kapacity sítě EK:
 - Při řešení podnětů a stížností
 - Při posuzování projektů v rámci spolupráce ČTÚ s orgány státní správy
- Je pro sektor nezávazný
- Je prezentován z důvodů transparentnosti
- Lze ho uplatnit i při projektování výstavby sítí





Metodický postup pro vyhodnocování dopadu kapacity

Souhrnné výsledky pro příklad GPON (1:256) s kapacitou 1 Gb/s





Metodický postup pro vyhodnocování dopadu kapacity

Příloha řešení: příklad GPON (1:256) s kapacitou 1 Gb/s



Český telekomunikační úřad

Odbor kontroly
Mírové náměstí 3007/37, 400 01 Ústí nad Labem

Čj. ČTÚ-xx xxx/2022-yyy

Brno, okres Brno-město 06.12.2022

Příloha řešení č.

podle Metodiky pro vyhodnocování dopadu kapacity sítě elektronických komunikací na výkon služeb přístupu k internetu, verze 1.0

A. Vstupní parametry sítě elektronických komunikací (segmentu sítě tvořící bottleneck)

- Kapacita sítě (CAP):** Mb/s fyzická vstup (L 1)
(distribuční nebo přístupná síť elektronických komunikací související s posuzovaným počtem NTP)
- Velikost síťového (IP) záhlaví:** B
(defaultní velikost síťového (IP) záhlaví = 20 B odpovídá protokolu IPv4, v případě protokolu IPv6 se doporučuje použít hodnotu 40 B)
- Hodnota MTU:** B
(maximální velikost datové jednotky; defaultní hodnota MTU = 1 500 B; v případě sítě protokolu IPv6 je MTU = 1 492 B)
- Počet koncových bodů sítě (NTP):** (hodnota odpovídá agregacím poměru)
(počet koncových bodů sítě (NTP), které jsou považovány za fyzická dopadová kapacita sítě na výkon služeb přístupu k internetu)

B. Výsledky monitoringu síťového provozu posuzovaného segmentu sítě (nepovinné údaje)

- Maximální bitová rychlost (NBR_{max}):** Mb/s fyzická vstup (L 1)
- Průměrná bitová rychlost (NBR_{avg}):** Mb/s fyzická vstup (L 1)
- Faktor využití (UF):**
(utilization factor, odpovídá poměru NBR_{avg}/NBR_{max})

C. Vstupní parametry Poissonova procesu

- Pravděpodobnost (P):** % (defaultní hodnota P = 90 %, obecně platí, že P > 90 %)

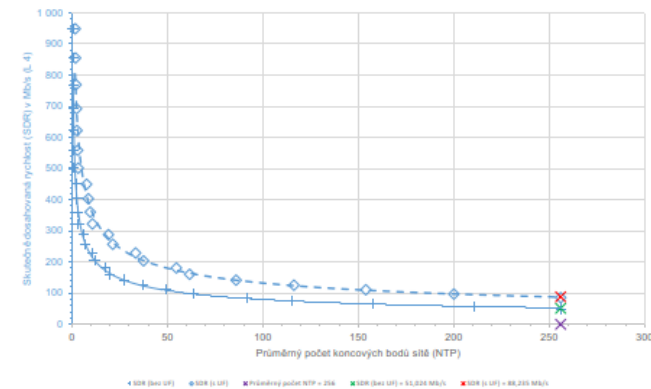
D. Vyhodnocení dopadu kapacity sítě na výkon služby přístupu k internetu

- Skutečné dosažované rychlosti (SDR):** Mb/s (bez dopadu UF faktoru) / Mb/s (s dopadem UF faktoru) transportní vstup (L 4)
(výsledný dopad hodnoty kapacity sítě (CAP, A.1) a počtu koncových bodů sítě (NTP, A.4) je počet průměrné hodnoty skutečné dosažované rychlosti (SDR) při ideálních GoS)

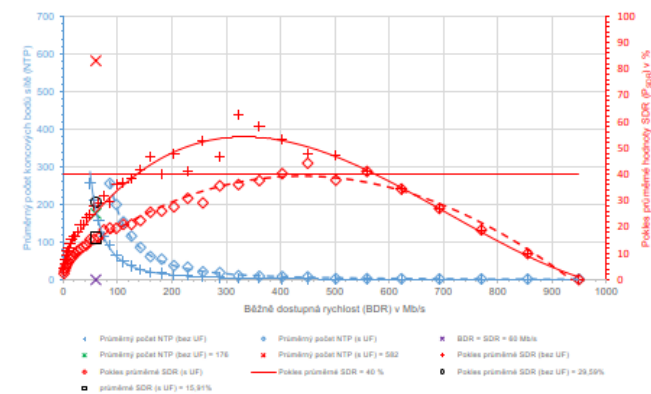
E. Vyhodnocení dopadu kapacity sítě na výkon služby přístupu k internetu

- Posuzovaná hodnota SDR:** Mb/s transportní vstup (L 4)
(přizpůsobená hodnota skutečné dosažované rychlosti (SDR) pro poskytování služby přístupu k internetu zvaženým počtem NTP současně (A.4) a při ideálních GoS)
- Průměrný počet NTP:** (bez dopadu UF faktoru) / (s dopadem UF faktoru)
(průměrný počet koncových bodů sítě (NTP) odpovídající požadované hodnotě skutečné dosažované rychlosti (SDR, E.1) při posuzované kapacitě sítě (CAP, A.1) a při ideálních GoS)
- Průměrný pokles výkonu služby P_{SDR} :** % (bez dopadu UF faktoru) / % (s dopadem UF faktoru)
(průměrný pokles výkonu služeb pro posuzovanou hodnotu skutečné dosažované rychlosti (SDR = SDR, E.1) při vstupní kapacitě sítě (CAP, A.1) a při ideálních GoS)
- Potřebná kapacita sítě:** Mb/s (bez dopadu UF faktoru) / Mb/s (s dopadem UF faktoru) fyzická vstup (L 1)
(kvalitativní odhad hodnoty kapacity sítě potřebné pro zaplnění hodnoty skutečné dosažované rychlosti (SDR, E.1) a zvaženého počtu NTP současně (A.4) při ideálních GoS)

F. Závislost hodnoty SDR na průměrném počtu NTP



G. Závislost průměrného počtu NTP a poklesu průměrné hodnoty SDR (P_{SDR}) na hodnotě BDR



Děkujeme za pozornost

Odbor kontroly Českého telekomunikačního úřadu
Tým oddělení kontroly datových služeb



Český telekomunikační úřad