



Praha 1. března 2025

Čj. ČTÚ-6 145 / 2017-620

Český telekomunikační úřad (dále jen „Úřad“) v rámci svých kompetencí provádí měření a vyhodnocování datových parametrů sítí elektronických komunikací. Měření a vyhodnocování datových parametrů pevných sítí je specifikováno v metodickém postupu

Metodika pro měření a vyhodnocení datových parametrů pevných sítí elektronických komunikací, verze 3.0, který je zveřejněn a je ze strany Úřadu uplatňován v případě kontrolních měření na pevných nebo semi-pevných sítích.

Měření jsou prováděna pomocí vlastních měřicích zařízení (terminálů) s jasně definovanými parametry, a to jak v pevných sítích, tak i v semi-pevných sítích. Použité měřicí metody vychází z doporučení IETF RFC 6349: *Framework for TCP Throughput Testing* a ze standardů ITU-T Y.1564: *Ethernet service activation test methodology* a ITU-T Y.1540: *Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters*.

I. Úvod

Účelem tohoto dokumentu (dále jen „Metodika“) je popsat a sjednotit postup pro měření a vyhodnocování datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací, a to z hlediska kvality přístupu koncového uživatele k službě přístupu k internetu, popřípadě i k dalším službám. Metodika navazuje především na dokumenty Nařízení (EU) 2015/2120, kterým se stanovují opatření týkající se přístupu k otevřenému internetu, dále všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, kterým se stanovují podmínky k poskytování služeb elektronických komunikací, a Směrnici (EU) 2018/1972, kterou se stanovuje evropský kodex pro elektronické komunikace. Metodika je v souladu s BEREK Pokyny BoR (22) 81: *Implementation of the Open Internet Regulation* a BoR (23) 164: *Very High Capacity Networks* (ve znění souvisejících aktuálně platných Pokynů), dále vychází z doporučení IETF RFC 6349 a ze standardů ITU-T Y.1564 a ITU-T Y.1540, včetně technické specifikace MEF 23.2: *Carrier Ethernet Class of Service*.

Nutnou podmínkou pro měření a vyhodnocení datových parametrů pevných či semi-pevných sítí elektronických komunikací je dostupnost síťových zdrojů (IP adres, portů, služeb) a s tím související transparentnosti síťových tras (v souladu s přístupem k otevřenému internetu).

Dokument plně respektuje nebo bere na vědomí mezinárodní doporučení IETF RFC 1191, RFC 8201 RFC 2544, RFC 2681, RFC 2697, RFC 2923, RFC 3393, RC 4443, RFC 4656, RFC 4821, RFC 4898, RFC 5136, RFC 5357 a RFC 7323, dále mezinárodní standardy ITU-T Y.1563, ITU-T Y.1564, ITU-T Y.1540, ITU-T Y.2617, dále doporučení CEPT ECC (15)03, a to včetně technických specifikací MEF 10.4 a 23.2.

II. Vymezení měřicích stran a přenosové trasy

1. Měřicí server

Měřicím serverem (MS) nazýváme měřicí stranu, která v případě sestupného směru poskytuje opačné straně služby (data) na vyžádání. Měřicí server je obecně zařízení připojené k internetu v místě s dostupnou konektivitou do peeringového uzlu. Měřicí server by měl mít dostatečný výkon a nezávislost datového připojení s kapacitní rezervou tak, aby byla zajištěna dostatečná prostupnost a garance datových parametrů, a to i v případě vícenásobného připojení měřicích zařízení (terminálů) ve stejném čase. Měřicí server je součástí Měřicího systému elektronických komunikací (dále jen „MSEK“) pod správou Úřadu. MSEK disponuje konektivitou s dostatečnou kapacitou do peeringového uzlu NIX.CZ včetně tranzitní konektivity pro případ filtrování výměny směrovacích informací v peeringovém uzlu NIX.CZ, nebo výměny směrovacích informací v zahraničním peeringovém uzlu.

2. Měřicí zařízení (terminál)

Měřicím zařízením, měřicím terminálem, (MT) nazýváme měřicí stranu, která v případě sestupného směru je ve funkci příjemce služby (dat). Měřicím zařízením se rozumí terminál s příslušným obslužným softwarem a měřicími nástroji, které jsou schopny provádět měření dle platného metodického postupu Úřadu a jehož výpočetní a síťový výkon je natolik vysoký, že žádným způsobem negativně neovlivňuje výsledky měření. Měřicí zařízení musí být schopno během měřicího procesu sledovat a zaznamenávat základní i rozšířený soubor datových parametrů, včetně souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN pevných a semi-pevných sítí elektronických komunikací, exportovat je ve formátu vhodném pro strojové či jiné další zpracování a následně umožňovat přenést takto získané naměřené hodnoty do centrálního úložiště MSEK, nebo je uchovat v interní paměti.

3. Přenosová trasa

Přenosovou trasou (NUT) nazýváme takovou posloupnost přenosových uzlů, kdy mezi každými dvěma po sobě jdoucími přenosovými uzly existuje spojení a zároveň prvním přenosovým uzlem je MT a posledním MS. Měřená síť elektronických komunikací je taková síť, která je součástí přenosové trasy a do které byl MT během měření připojen.

III. Vymezení souboru datových parametrů

Při vymezení souboru datových parametrů vycházel Úřad především z požadavku na srozumitelnost jednotlivých parametrů z pohledu běžného koncového uživatele. Dále přihlédl i ke skutečnosti, které datové parametry prezentují poskytovatelé služeb ve svých nabídkách služby přístupu k internetu s ohledem na Nařízení (EU) 2015/2120 (dále jen „Nařízení“) a s ním související všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které definuje podmínky smluvního garantování rychlostí stahování (download) a vkládání (upload) dat včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení.

Úřad vybral níže uvedené datové parametry v podobě základního a rozšířeného souboru z možných datových parametrů, doporučených pro sledování různých aspektů kvality služby přístupu k internetu včetně souboru identifikačních parametrů pro jednoznačnou identifikaci času a místa měření včetně informací o měřicím zařízení a měřené službě přístupu k internetu (aktivní přípojce), a dále v souladu s BEREC Pokyny vymezil soubor datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti pro síť s velmi vysokou kapacitou (dále jen „VHCN“).

1. Soubor základních datových parametrů

Úřad se rozhodl z hlediska významu pro běžného uživatele ve vztahu k běžně uzavíraným účastnickým smlouvám o poskytování služby přístupu k internetu a potřebě srozumitelnosti pro tři základní datové parametry, které určují kvalitu služby přístupu k internetu, a to vzestupnou TCP propustnost (upload; TCP aTR_{up}), resp. rychlost vkládání dat, dále sestupnou TCP propustnost (download; TCP aTR_{down}), resp. rychlost stahování dat, a zpoždění, resp. latenci, (Delay(avg)).

1.1. Vzestupná TCP propustnost (upload)

Vzestupnou TCP propustnost (upload; TCP aTR_{up}) si je možné představit jako datovou přenosovou rychlost ve směru od koncového uživatele směrem k poskytovateli služby přístupu k internetu odpovídající transportní vrstvě modelu ISO/OSI (L 4) a využívající spojově orientovaného protokolu TCP. Proces měření a stanovení vzestupné TCP propustnosti NUT by měl odpovídat postupu měření TCP propustnosti odvozeného od doporučení IETF RFC 6349, přičemž výslednou hodnotu TCP aTR_{up} můžeme zapsat ve tvaru:

$$\text{TCP aTR}_{\text{up}} = \frac{\text{TCP RWND}_{\text{up}} \cdot 8}{\text{Delay}(\text{avg})_{\text{up}}}; [\text{b/s}; \text{B}, \text{s}]. \quad (1)$$

Jedná se tedy o skutečně dosahovanou rychlost (SDR_{up}) v vzestupném směru (upload).

1.2. Sestupná TCP propustnost (download)

Sestupnou TCP propustnost (download; TCP aTR_{down}) si je možné představit jako datovou přenosovou rychlost ve směru od poskytovatele služby přístupu k internetu směrem ke koncovému uživateli odpovídající transportní vrstvě modelu ISO/OSI (L 4) a využívající spojově orientovaného protokolu TCP. Proces měření a stanovení sestupné TCP propustnosti NUT by měl odpovídat postupu měření TCP propustnosti odvozeného od doporučení IETF RFC 6349, přičemž výslednou hodnotu TCP aTR_{down} můžeme zapsat ve tvaru:

$$\text{TCP aTR}_{\text{down}} = \frac{\text{TCP RWND}_{\text{down}} \cdot 8}{\text{Delay}(\text{avg})_{\text{down}}}; [\text{b/s}; \text{B}, \text{s}]. \quad (2)$$

Jedná se tedy o skutečně dosahovanou rychlost (SDR_{down}) v sestupném směru (download).

1.3. Zpoždění

Zpoždění, Delay, si je možné představit v případě použití TCP protokolu v podobě uplynulé doby mezi odesláním prvního bitu segmentu TCP a příjmem posledního bitu odpovídajícího potvrzení segmentu TCP. Proces měření a stanovení zpoždění NUT by měl odpovídat postupu měření TCP propustnosti odvozeného od doporučení IETF RFC 6349, přičemž výsledná stanovená hodnota zpoždění by měla být definována v podobě Delay(avg):

$$\text{Delay}(\text{avg}) = \frac{1}{t} \sum_{i=0}^{N-1} \text{Delay}_i; [\text{s}; \text{s}, \text{s}], \quad (3)$$

kde Delay_i označuje jednotlivé hodnoty Delay, které jsou kontinuálně měřeny s periodou 1 s během daného testu, a parametr t označuje jeho celkovou délku trvání. Hodnota zpoždění Delay(avg) může být také odvozena z hodnoty TCP metriky Buffer delay (BD) a výchozí hodnoty zpoždění Delay_{baseline}, která odpovídá minimální naměřené hodnotě zpoždění NUT nezátíženému navázaným TCP spojením.

2. Soubor rozšířených datových parametrů

Soubor rozšířených datových parametrů vychází ze souboru základních datových parametrů, který je navíc doplněn o kvalitativní datové parametry, a to o vzestupnou informační rychlost (uplink; IR_{up}) a sestupnou informační rychlost (downlink; IR_{down}), které charakterizují dostupnou šířku pásma (bandwidth) v daném místě měření pro oba směry datové komunikace,

dále o zpoždění rámců (FTD), kolísání zpoždění rámců (IFDV) a ztrátovost rámců (FLR). Tyto doplňkové kvalitativní datové parametry jsou obecně úzce spojené s elementární funkčností sítě, a jsou tedy relevantní při zátěžovém testu (aktivační analýze). Na rozdíl od souboru základních datových parametrů, které odpovídají TCP protokolu transportní vrstvy modelu ISO/OSI, doplňující kvalitativní datové parametry odpovídají spojové vrstvě modelu ISO/OSI a jsou tak úzce spjaty se strukturou ethernetového rámce Ethernet II, přičemž se při samotném měřicím procesu využívá na transportní vrstvě modelu ISO/OSI nespojově orientovaného protokolu UDP. Kvalitativní datové parametry mohou přinést kromě informací o skutečné šířce pásma v daném místě měření důležité informace o schopnosti sítě poskytovat koncovým uživatelům další specifické služby, např. služby v reálném čase v podobě IPTV, VoIP apod.

2.1. Vzestupná informační rychlost (uplink)

Vzestupnou informační rychlost (uplink; IR_{up}) si je možné představit jako datovou přenosovou rychlost ve směru od koncového uživatele směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet odpovídající spojové vrstvě modelu ISO/OSI (L 2) vycházející přitom ze struktury ethernetového rámce Ethernet II. Proces měření a stanovení vzestupné informační rychlosti (uplink) NUT by měl vycházet ze standardu ITU-T Y.1564. Maximálně dosažitelná hodnota informační rychlosti IR je limitována maximálním množstvím rámců FPS, které je možné přenést za 1 s, což lze zapsat ve tvaru:

$$FPS = \frac{NBR}{(IFG + Preamble + MAC DST + MAC SRC + EtherType + 802.1Q (802.1ad) + MTU + FCS) \cdot 8}; [1/s; b/s, B], \quad (4)$$

kde NBR označuje datovou přenosovou rychlost odpovídající fyzické vrstvě modelu ISO/OSI (L 1). Výslednou maximální vzestupnou informační rychlost (uplink) můžeme zapsat ve tvaru:

$$IR_{up}(max) = MTU \cdot 8 \cdot FPS; [b/s; B, 1/s]. \quad (5)$$

2.2. Sestupná informační rychlost (downlink)

Sestupnou informační rychlost (downlink; IR_{down}) si je možné představit jako datovou přenosovou rychlost ve směru od poskytovatele služby přístupu k síti internet směrem ke koncovému uživateli odpovídající spojové vrstvě modelu ISO/OSI (L 2) vycházející přitom ze struktury ethernetového rámce Ethernet II. Proces měření a stanovení vzestupné informační rychlosti (downlink) NUT by měl vycházet ze standardu ITU-T Y.1564. Výslednou maximální sestupnou informační rychlost (downlink) můžeme zapsat ve tvaru:

$$IR_{down}(max) = MTU \cdot 8 \cdot FPS; [b/s; B, 1/s]. \quad (6)$$

2.3. Zpoždění rámců

Zpoždění rámců, FTD, si lze představit jako výsledek měření časového zpoždění NUT mezi odesláním a příjmem ethernetového rámce. Obvykle se jedná o měření typu RTT z důvodu využití synchronizace na straně měřicího zařízení (terminálu), což odpovídá uplynulé době mezi odesláním prvního bitu rámce od koncového uživatele směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet a příjmem posledního bitu zpětně odeslaného rámce od poskytovatele služby směrem ke koncovému uživateli. Zpoždění rámců (obecně k-tého rámce) typu RTT můžeme také vyjádřit jako:

$$FTD_k(RTT) = t_2 - t_1 \leq 2 \cdot T_{max}; [s; s, s, s], \quad (7)$$

kde t_1 představuje čas odeslání prvního bitu k-tého rámce a t_2 představuje čas příjmu posledního bitu stejného k-tého rámce na měřicím zařízení (terminálu), přičemž T_{max} je maximální hodnota zpoždění rámce, při jejímž překročení je rámeček deklarován jako ztracený.

2.4. Kolísání zpoždění rámců

Kolísání zpoždění rámců, IFDV, často označovaný také jako rozptyl zpoždění, variace zpoždění nebo jitter, si lze představit jako rozdíl mezi referenčním časem doručení ethernetového rámce (c_k) a jeho skutečným časem doručení (d_k) na straně poskytovatele

služby přístupu k síti internet nebo na straně koncového uživatele, tzn. použití „end-to-end“ způsobu měření. Kolísání zpoždění můžeme zapsat ve tvaru:

$$\text{IFDV}_k = |d_k - c_k|; [s; s, s], \quad (8)$$

kde $c_k = d_j + \Delta t$, $k > j$ a Δt je interval mezi odesláním j -tého a k -tého ethernetového rámce.

2.5. Ztrátovost rámců

Ztrátovost rámců, FLR, si lze představit jako poměr všech nedoručených (ztracených) ethernetových rámců k celkovému počtu všech odeslaných ethernetových rámců směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet nebo ke koncovému uživateli, tzn. použití „end-to-end“ způsobu měření. Ztrátovost rámců můžeme zapsat ve tvaru:

$$\text{FLR} = \frac{\sum_{n=1}^N L_n}{\sum_{n=1}^N S_n} \cdot 100; [\%; -, -], \quad (9)$$

kde L_n představuje n -tý ztracený rámec a S_n představuje n -tý odeslaný rámec.

3. Soubor datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN

Soubor datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN, které je schopna síť elektronických komunikací za obvyklých podmínek v době provozní špičky dosahovat a které současně představují kritéria rovnocenné výkonnosti jako síť zajišťující pevné připojení s optickým vláknem zavedeným minimálně až do budovy, a to včetně budov s více bytovými jednotkami, nebo jako síť zajišťující bezdrátové připojení s optickým vláknem přivedeným minimálně až k základnové stanici či k přístupovému bodu, vychází z Pokynů BEREC VHCN a standardu ITU-T Y.1540. VHCN sítě jsou velmi důležité, protože jsou schopné poskytovat koncovým uživatelům služby přístupu k internetu se zvláště vysokou kvalitou. Pro posuzování rovnocenné výkonnosti je proto brán v úvahu především ohled na dosažitelnou kvalitu služeb. Soubor datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN z uvedených důvodů vychází ze souboru základních datových parametrů, který je dále doplněn o kvalitativní datové parametry, a to o vzestupnou IP propustnost (uplink; IP TR_{up}) a sestupnou IP propustnost (downlink; $\text{IP TR}_{\text{down}}$) charakterizující zatížení šířky pásma NUT pro oba směry datové komunikace během procesu měření zpoždění IP paketů (IPTD), kolísání zpoždění IP paketů (IPDV), ztrátovosti IP paketů (IPLR), chybovosti IP paketů (IPER) a také dostupnosti IP služby (IPAS).

3.1. Vzestupná IP propustnost (uplink)

Vzestupnou IP propustnost (uplink; IP TR_{up}), označovanou také jako šířku pásma pro uplink, si lze představit jako datovou přenosovou rychlost od koncového uživatele směrem k poskytovateli služby přístupu k internetu odpovídající síťové vrstvě modelu ISO/OSI (L 3) a vycházející ze struktury IPv4 (IPv6), kterou je NUT zatížena během procesu měření kvalitativních datových parametrů. Maximálně dosažitelná hodnota IP propustnosti IP TR_{up} při zatížení NUT je limitována maximálním množstvím rámců FPS, které je možné přenést za 1 s, jak je uvedeno ve vztahu (4), a dále velikostí záhlaví protokolu IPv4 (IPv6):

$$\text{IP TR}_{\text{up}}(\text{max}) = (\text{MTU} - \text{IP}_{\text{header}}) \cdot 8 \cdot \text{FPS}; [\text{b/s}; \text{B}, \text{B}, 1/\text{s}]. \quad (10)$$

3.2. Sestupná IP propustnost (downlink)

Sestupnou IP propustnost (downlink; $\text{IP TR}_{\text{down}}$), označovanou také jako šířku pásma pro downlink, si lze představit jako datovou přenosovou rychlost od směrem ve směru od poskytovatele služby přístupu k síti internet směrem ke koncovému uživateli odpovídající síťové vrstvě modelu ISO/OSI (L 3) a vycházející ze struktury IPv4 (IPv6), kterou je NUT zatížena během procesu měření kvalitativních datových parametrů. Maximálně dosažitelná hodnota IP propustnosti $\text{IP TR}_{\text{down}}$ při zatížení NUT je limitována maximálním množstvím rámců FPS, které je možné přenést za 1 s, jak je uvedeno ve vztahu (4), a dále velikostí záhlaví protokolu IPv4 (IPv6):

$$IP\ TR_{down}(max) = (MTU - IP_{header}) \cdot 8 \cdot FPS; [b/s; B, B, 1/s]. \quad (11)$$

3.3. Zpoždění IP paketů

Zpoždění paketů, IPTD, si lze představit jako výsledek měření časového zpoždění NUT mezi odesláním a příjmem IP paketu. Obvykle se jedná o měření typu RTT z důvodu využití synchronizace na straně MT, což odpovídá uplynulé době mezi odesláním prvního bitu IP paketu od koncového uživatele směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet a příjmem posledního bitu zpětně odeslaného IP paketu od poskytovatele služby směrem ke koncovému uživateli. Zpoždění IP paketů (obecně k-tého IP paketu) typu RTT můžeme také vyjádřit jako:

$$IPTD_k(RTT) = t_2 - t_1 \leq 2 \cdot T_{max}; [s; s, s, s], \quad (12)$$

kde t_1 představuje čas odeslání prvního bitu k-tého IP paketu a t_2 představuje čas příjmu posledního bitu stejného k-tého IP paketu na měřicím zařízení (terminálu), přičemž T_{max} je maximální hodnota zpoždění IP paketu, při jejímž překročení je IP paket deklarován jako ztracený.

3.4. Kolísání zpoždění IP paketů

Kolísání zpoždění IP paketů, IPDV, často označované také jako rozptyl zpoždění, variace zpoždění nebo jitter, si lze představit jako rozdíl mezi referenčním časem doručení IP paketu (c_k) a jeho skutečným časem doručení (d_k) na straně poskytovatele služby přístupu k síti internet nebo na straně koncového uživatele, tzn. použití „end-to-end“ způsobu měření. Kolísání zpoždění IP paketů můžeme zapsat ve tvaru:

$$IPDV_k = |d_k - c_k|; [s; s, s], \quad (13)$$

kde $c_k = d_j + \Delta t$, $k > j$ a Δt je interval mezi odesláním j-tého a k-tého IP paketu.

3.5. Ztrátovost IP paketů

Ztrátovost IP paketů, IPLR, si lze představit jako poměr všech nedoručených (ztracených) IP paketů k celkovému počtu všech odeslaných IP paketů směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet nebo ke koncovému uživateli, tzn. použití „end-to-end“ způsobu měření. Ztrátovost IP paketů můžeme zapsat ve tvaru:

$$IPLR = \frac{\sum_{n=1}^N L_n}{\sum_{n=1}^N S_n} \cdot 100; [%; -, -], \quad (14)$$

kde L_n představuje n-tý ztracený IP paket a S_n představuje n-tý odeslaný IP paket.

3.6. Chybovost IP paketů

Chybovost IP paketů, IPER, si lze představit jako poměr všech chybně doručených IP paketů k celkovému počtu všech odeslaných IP paketů směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet nebo ke koncovému uživateli, tzn. použití „end-to-end“ způsobu měření. Chybovost IP paketů můžeme zapsat ve tvaru:

$$IPER = \frac{\sum_{n=1}^N E_n}{\sum_{n=1}^N S_n} \cdot 100; [%; -, -], \quad (15)$$

kde E_n představuje n-tý chybně doručený IP paket a S_n představuje n-tý odeslaný IP paket.

3.7. Dostupnost IP služby

Dostupnost IP služby, IPSA, si lze představit jako datový parametr, který je odvozen na základě znalosti počtu ztracených a chybně doručených IP paketů v průběhu trvání testu Δt , jehož délka je stanovena jako $\Delta t = t_n - t_1$, kde t_1 představuje čas odeslání prvního bitu prvního IP paketu a t_n představuje čas příjmu posledního bitu n-tého IP paketu na MT, potom:

$$IPSA = \frac{\Delta t}{\left(\Delta t + \frac{\Delta t}{\sum_{n=1}^N S_n} (\sum_{n=1}^N L_n + \sum_{n=1}^N E_n) \right)} \cdot 100; [%; s, s, -, -, s], \quad (16)$$

kde L_n představuje n-tý ztracený IP paket, E_n představuje n-tý chybně doručený IP paket, S_n představuje n-tý odeslaný IP paket a Δt odpovídá délce trvání jednoho testu.

4. Soubor identifikačních parametrů

Soubor identifikačních parametrů jako nedílná součást měřicího procesu definuje jednoznačným způsobem čas a místo prováděného měření datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací včetně informací o měřicím zařízení (terminálu). Soubor identifikačních parametrů obsahuje přesný čas měření, který se dále skládá z data a přesného času zahájení měřicího procesu, přesného času zahájení jednotlivých testů a délky trvání měřicího procesu a jednotlivých testů, včetně přesného času ukončení měřicího procesu, a dále obsahuje pozici umístění měřicího zařízení (terminálu), definovanou v podobě GPS souřadnice doplněné případně o konkrétní adresní místo, pokud je jeho identifikace možná. Tento soubor obsahuje také údaje jednoznačně identifikující měřicí zařízení (terminál) a jeho měřicí rozhraní (fyzický port), které bylo během procesu měření připojené k měřené pevné či semi-pevné síti elektronických komunikací, a to včetně IP adres.

4.1. Přesný čas měření

Přesný čas měření obsahuje datum a přesný čas zahájení a ukončení měřicího procesu včetně přesného času zahájení jednotlivých testů a dále délky trvání celého měřicího procesu včetně jednotlivých testů. Pro určení přesného času je doporučeno použít interního nebo externího GPS modulu použitého měřicího zařízení (terminálu). Pokud není GPS modul dostupný, lze využít pro určení času vnitřní hodiny měřicího zařízení (terminálu), přičemž se předpokládá dodržování termínu kalibrace měřicího zařízení (terminálu).

Datum provedení měřicího procesu musí být uvedeno ve formátu DD. měsíc RRRR, například 01. ledna 2021. Požadovaná přesnost uvedení času zahájení a ukončení měřicího procesu, času zahájení jednotlivých testů a délky celého trvání měřicího procesu včetně délky trvání jednotlivých testů, je v sekundách a výsledný údaj musí být uveden ve formátu HH:MM:SS, například 08:03:24.

4.2. Přesná pozice měřicího zařízení

Přesná pozice měřicího zařízení představuje jednoznačně identifikované místo, kde bylo během měřicího procesu dle Metodiky umístěno měřicí zařízení (terminál). Pro určení přesné pozice je doporučeno použít interního nebo externího GPS modulu použitého měřicího zařízení. Pokud není GPS modul dostupný, lze zadat polohu měřicího zařízení manuálně. Doporučeno je uvést i konkrétní adresní místo měření, pokud je jeho identifikace možná. GPS souřadnice musí být uvedeny ve formátu xx.xxxxxxxN, yy.yyyyyyyE, například 50.1106225N, 14.4996508E. Pokud je možná identifikace adresního místa, musí být konkrétní adresní místo měření uvedeno ve formátu Ulice č.p./č.o., PSČ Obec/Město, například Sokolovská 58/219, 190 00 Praha.

4.3. Identifikace měřicího zařízení (terminálu) a jeho rozhraní

Identifikace měřicího zařízení (terminálu) a jeho rozhraní představuje soubor údajů jednoznačně identifikující měřicí zařízení (terminál) v podobě ID chassis MT a ID měřicího modulu MT včetně uvedení měřicího rozhraní, které bylo během procesu měření připojené ke koncovému nebo předávacímu bodu (zařízení), respektive k jeho rozhraní při měřené pevné nebo semi-pevné síti elektronických komunikací. Je doporučeno, aby bylo uvedeno i ID chassis MS a ID měřicího modulu MS pro jednoznačné identifikování celého měřicího řetězce. Součástí těchto údajů je i název měřené technologie a název měřené služby přístupu k síti internet, název poskytovatele, jeho sídlo včetně údaje IČO a také údaje vycházející z Nařízení a souvisejícího všeobecného oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které konkretizuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování (download) a vkládání (upload) dat včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení.

IV. Postup měření

Tato část definuje postupy a techniky měření datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací tak, aby bylo možné ověřit jejich skutečně dosahované hodnoty. Postupy a techniky měřicího procesu se liší podle toho, jaký soubor datových parametrů má být sledován z hlediska různých aspektů kvality služeb přístupu k internetu, respektive jestli se jedná o základní nebo rozšířený soubor datových parametrů, případně soubor datových parametrů tvořící kritéria výkonosti VHCN.

Měření datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací je obecně podmíněno správnou funkčností prvních čtyř vrstev modelu ISO/OSI, tj. od fyzické až po transportní vrstvu, přičemž je před samotným zahájením měření vhodné ověřit jejich funkčnost, případně i kapacitu přenosové trasy a další parametry na druhé vrstvě (L 2) modelu ISO/OSI. Doporučené kroky před zahájením měřicího procesu jsou následující:

- Před zahájením stanovení parametrů daného měření je doporučeno ověřit programem pro zachytávání paketů (Wireshark), co se skutečně na síťovém rozhraní odehrává (jaké je skutečné TCP RWND, zda dochází k opakovaným přenosům paketů a zda nedochází v průběhu přenosu k vyčerpání TCP RWND apod.).
- Prostřednictvím příkazu *tracert* (*traceroute*) a IP adresy MS diagnostikovat cestu přes jednotlivé demarkační body do systému MSEK, pokud to aktivní síťové prvky umožňují.
- Ověření, zda nedochází k prioritizaci nebo opatření řízení provozu na základě IP adresy všeobecně známých nebo referenčních měřicích serverů. Je tedy vhodné provést prvotní měření TCP propustnosti vůči referenčnímu měřicímu serveru, případně použít doplňkovou metodu pro měření skutečné přenosové rychlosti (aktuální rychlosti) v podobě TCP propustnosti v garantované délce trvání T_{TCP} . Stejné měření doplňkovou metodou je doporučeno provést na konci daného měření pro srovnání.
- Vhodným postupem je i ověření plnění přístupu k otevřenému internetu, tzn. ověření, zda nedochází k prioritizaci provozu některé služby. V tomto případě zda např. nedochází k prioritizaci portů, které vyžadují větší kapacitu přenosové trasy. Speciálním případem může být prioritizace portů, které využívají měřicí zařízení (terminály) Úřadu. V tomto případě by samozřejmě byly výsledky značně zkresleny.
- V případě vysoké pravděpodobnosti, že vědomě dochází k prioritizaci provozu směrem ke standardním měřicím serverům, ať už na základě IP adresy, či portu, je nutné provést srovnávací měření dle výše uvedených bodů. Pokud se výsledky standardního a srovnávacího měření budou značně lišit, je nutné to uvést v záznamu o měření.

1. Měření souboru základních datových parametrů

Následující postup popisuje sekvenci kroků, které jsou nezbytné pro získání korektních výsledků procesu měření. Před postupem měření uvedeným v částí 1.5, která se plně věnuje samotnému měření TCP propustnosti, jsou v částích 1.1 až 1.3 popsány nutné podmínky, jejichž splnění musí předcházet samotnému měření dle části 1.5. V případě nedodržení tohoto postupu může docházet ke zkreslení výsledku měření špatným nastavením měřicích stran (hlavně z hlediska jejich přijímacích, respektive vysílacích kapacit).

1.1. Úvodní ujednání a rizika

Pomocí TCP protokolu nelze spolehlivě měřit nefunkční sítě elektronických komunikací (tzn. takové sítě, které jsou vystaveny velké ztrátě paketů/rámců nebo velkému kolísání zpoždění paketů/rámců). Dle doporučení IETF RFC 6349 může jako reference sloužit práh ztráty paketů $IPLR = 5\%$ a kolísání zpoždění paketů s hodnotou $IPDV = 150\text{ ms}$. Tyto či vyšší hodnoty již nasvědčují o poruchovém nebo mimořádném stavu sítě (např. přetížení, nedostatečné kapacity sítě, nebo o uplatnění opatření řízení provozu), v těchto případech je nutné zvolit alternativní způsob měření základních datových parametrů dle přílohy č. 1. Nelze

také spolehlivě měřit sítě, kde dochází k poměrně rychlé variaci parametrů v čase (parametrů dle uvedených částí 1.2 a 1.3). Dále musí být zajištěno dodržení a respektování následujících ujednání:

- Dostupnost služeb na jednom portu nemusí znamenat dostupnost služeb na jiných portech. Proto test TCP propustnosti dle Postupu měření části 1.5 je vhodné doplnit měřicí proces o srovnávací test měření portů – dostupnost známých portů (TCP/UDP).
- V každém bodě měření (testu) musí být zajištěna nezávislost měření – tzn. při každém měření nesmí být realizován žádný další datový tok v koncovém bodě sítě (zařízení), který není součástí měření. To zvláště platí v případě koncových zařízení, které kromě rozhraní odpovídajícím standardu IEEE 802.3 (Ethernet, rozhraní RJ-45/SFP/SFP+) disponují i možností bezdrátového připojení dle standardu IEEE 802.11, které musí být po dobu provádění procesu měření deaktivováno.

1.2. Identifikace MTU

Identifikace MTU přenosové trasy je zásadní pro správné nastavení měřicího systému tak, aby nedocházelo k fragmentaci, a bylo tak možné měřit kapacitu přenosové trasy co nej přesněji, respektive musí platit:

$$MTU(TCP TTD) = MTU(NUT); [B; B]. \quad (17)$$

Pro identifikaci MTU přenosové trasy může být použito několik metod, které se od sebe liší převážně síťovou oblastí, ve které mohou být nasazeny. Pro správnou identifikaci MTU přenosové trasy mohou být použity metody:

- identifikace dle doporučení IETF RFC 1191,
- identifikace dle doporučení IETF RFC 1981,
- identifikace dle doporučení IETF RFC 4821.

Následující části 1.2.1 až 1.2.4 stručně popisují jednotlivé metody identifikace MTU přenosové trasy, podrobnosti je možné najít v příslušných doporučeních IETF RFC.

1.2.1. Identifikace dle doporučení IETF RFC 1191

Doporučení IETF RFC 1191 nabízí pro IPv4 nejjednodušší a nejrychlejší způsob zjištění MTU. Jedná se o využití vlastností IPv4 paketů s pevnou volbou velikosti MTU a s nastaveným příznakem DF=1 (nefragmentovat). Pokud je nastavené MTU příliš velké pro danou přenosovou trasu, respektive pro některý síťový prvek na trase, pak daný síťový prvek IP datagram zahodí a odpoví zpět odesílateli ICMP zprávou o nemožnosti průchodu datagramu a zablokované možnosti fragmentace pomocí příznaku DF. Tato metoda může být použita pouze v případech, kdy síťový administrátor přenosové trasy neblokuje použití ICMP zpráv v síti a síťové prvky tyto ICMP zprávy skutečně v dané situaci odesílají.

1.2.2. Identifikace dle doporučení IETF RFC 8201

Doporučení IETF RFC 8201 nabízí pro IPv6 podobný princip identifikace MTU jako doporučení RFC 1191. Avšak z podstaty protokolu IPv6 není možné využít nastavení bitu příznaku DF=1. Při absenci této možnosti se zde využívá principu zaslání ICMPv6 zprávy (s obsahem *packet too big* dle IETF RFC 4443) tím síťovým prvkem, který není schopen paket dané velikosti přenést. Z této zprávy lze také jednoznačně identifikovat maximální velikost MTU daného síťového prvku. Nicméně tato metoda může být znovu použita opět pouze v případech, kdy síťový administrátor neblokuje použití ICMPv6 zpráv v síti a síťové prvky tyto ICMPv6 zprávy skutečně v dané situaci odesílají.

1.2.3. Identifikace dle doporučení IETF RFC 4821

Tento postup řeší situace, kde z nějakého důvodu (část 1.2.4) nelze využít předchozích dvou postupů identifikace MTU. Jedná se především o případy, kde je z nějakého důvodu blokováno zaslání ICMPv4 nebo ICMPv6 zpráv. Operační systémy Windows i Linux umožňují

využití implementace standardizované techniky PMTUD (*Path MTU Discovery*) pomocí volby *black hole detection* (BHD).

1.2.4. Problémy se zjišťováním velikosti MTU přenosové trasy

Problémy se zjišťováním velikosti MTU přenosové trasy řeší IETF RFC 2923.

1.3. Měření zpoždění (Delay)

Zpoždění (Delay) si je možné představit v případě použití TCP protokolu v podobě uplynulé doby mezi odesláním prvního bitu segmentu TCP a příjmem posledního bitu odpovídajícího potvrzení segmentu TCP. Jedná se tedy o obousměrné zpoždění (RTT) charakteristické pro spojově orientovaný přenos dat. Měření zpoždění, stejně jako identifikaci MTU, je možné realizovat několika způsoby, které se od sebe liší přesností a robustností. Počáteční měření zpoždění je doporučeno provést v procesu zkušebního intervalu. V rámci zkušebního intervalu je doporučeno stanovit měřením hodnotu parametru $\text{Delay}_{\text{baseline}}$, která odpovídá nejmenší naměřené hodnotě zpoždění nezatížené navázaným TCP spojením.

Parametr $\text{Delay}_{\text{baseline}}$ se uplatní nejen při stanovení TCP metriky BD, ale je také nezbytný k následnému výpočtu dále definovaných parametrů, jako jsou BDP, TCP RWND_{min} a velikosti tzv. socket bufferů. Výsledné hodnoty jsou následně využity k zajištění dostatečné kapacity jak přijímací, tak odesílací strany před samotným měřením.

1.3.1. Protokol ICMP (nástroj ping)

Použití protokolu ICMP, resp. nástroje ping, může být považováno za adekvátní způsob odhadu hodnoty zpoždění za předpokladu, že je zohledněna velikost datagramu. Nicméně vzhledem k povaze protokolu ICMP není možné označit tuto metodu za dostatečně přesnou (problémy na straně síťových prvků, prioritizace QoS) a proto se nedoporučuje a výsledek nástroje ping můžeme označit jako orientační hodnotu zpoždění (Delay).

1.3.2. Použití rozšíření MIB statistik

Využití statistik dostupných v MIB pro měření hodnoty zpoždění (Delay) je uvedeno v doporučení IETF RFC 4898.

1.3.3. Použití vhodných nástrojů

K měření zpoždění (Delay) je vhodné použít iPerf, FTP nebo jiné nástroje pracující na základě zachytávání paketů z testovacích TCP relací. Je důležité si uvědomit, že výsledky založené na zprávách SYN → SYN-ACK na začátku TCP relace by neměly být použity k měření hodnoty zpoždění (Delay).

1.3.4. Použití protokolu TWAMP

Nejrobustnější a nejvhodnější metodou pro měření zpoždění je postup dle doporučení RFC 5357, kde je pro samotné měření doporučeno využít protokolu TWAMP.

1.4. Stanovení hodnoty šířky pásma (BB)

Před samotným měřením TCP propustnosti je nutné provést měření nejnižší hodnoty šířky pásma měřené přenosové trasy (*Bottleneck Bandwidth*) nebo její hodnotu stanovit na základě podmínek smluvního garantování rychlostí stahování (download) a vkládání (upload) dat dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení během administrativního procesu. Hodnota parametru BB odpovídá v případě pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací smluvně definované hodnotě maximální rychlosti služby přístupu k internetu. Z pohledu modelu ISO/OSI odpovídá dle doporučení IETF RFC 6349 při procesu měření hodnota BB fyzické vrstvě (L 1) a je proto nutné ji prostřednictvím znalosti hodnoty MTU přepočítat ze smluvně uvedených hodnot, které odpovídají transportní vrstvě (L 4).

Pokud je hodnota BB neznámá, je zapotřebí použít ke stanovení BB některý ze způsobů měření šířky pásma prostřednictvím nespojově orientovaného protokolu transportní vrstvy (UDP). Měření je vhodné realizovat v obou směrech, zejména pokud se jedná o asymetrickou

technologii sítě elektronických komunikací. Měření je doporučeno provádět opakovaně, tzn. v různých časových intervalech, případně i mimo provozní špičku tak, aby bylo dosaženo relevantních hodnot a hodnoty byly v co nejmenší míře ovlivněny lokálními nebo časově proměnlivými výkyvy v dostupnosti síťových zdrojů. Je také zapotřebí mít stále na paměti, že na BB má vliv nejen kapacita přenosové trasy daného datového spojení, ale např. i nevhodné koncové zařízení uživatele, které je výkonově neadekvátní, či použití v daném místě nevhodné přístupové technologie (např. bezdrátová síť s velkým zarušením, nastavení pomalého přenosového režimu, nedostatečná šířka pásma, nebo i nevhodné šifrování). K měření BB lze také využít několik metod dle doporučení IETF:

- měření BB dle IETF RFC 2544,
- měření BB dle IETF RFC 5136.

1.4.1. Měření BB dle IETF RFC 2544

Tato metoda měření je vhodná pro kvalifikovaný odhad BB, nicméně je zapotřebí mít stále na paměti, že tato metoda měření BB byla navržena pro testování síťových prvků v laboratorních podmínkách a její užití mimo laboratorní podmínky není doporučeno.

1.4.2. Měření BB dle IETF RFC 5136

Jedná se o měření dle doporučení IETF RFC 5136, které je zaměřeno na měření v reálných podmínkách, proto měření dle tohoto doporučení by se mělo stát standardní metodou odhadu BB. Bohužel, toto doporučení neobsahuje žádné konkrétní postupy, jakým způsobem BB měřit, pouze definuje obecné matematické výpočty, proto jeho využitelnost je v dnešní době minimální.

1.5. Matematický aparát

Před samotným zahájením měření TCP propustnosti je nezbytné provést potřebné výpočty a nastavení důležitých parametrů, mezi které patří BDP, velikost bufferu BS a velikost TCP RWND. K těmto výpočtům je nutné použít získanou hodnotu $\text{Delay}_{\text{baseline}}$, respektive změřenou výchozí hodnotu zpoždění dle metod uvedených v části 1.3 postupu měření, a také stanovený parametr BB dle části 1.4 postupu měření.

1.5.1. Výpočet BDP

Výpočet BDP se provede násobením získaných hodnot $\text{Delay}_{\text{baseline}}$ a BB, respektive:

$$\text{BDP} = \text{Delay}_{\text{baseline}} \cdot \text{BB}; [b; s, b/s]. \quad (18)$$

1.5.2. Výpočet velikosti bufferu BS

Nastavení velikosti bufferu (BS) je nutné provést dle:

$$\text{BS} \geq \text{BDP}; [b; b]. \quad (19)$$

1.5.3. Nastavení velikosti TCP RWND

Nastavení velikosti TCP RWND okna na přijímací straně vychází z hodnoty parametru $\text{TCP RWND}_{\text{min}}$, kterou je možné stanovit pomocí vztahu:

$$\text{TCP RWND}_{\text{min}} = \frac{\text{BDP}}{8}; [B; b]. \quad (20)$$

Všeobecné nastavování BS a TCP RWND na vysokou hodnotu může u nízkých hodnot BB vést k přetížení vyrovnávací paměti síťového prvku, jenž směrem k měřicímu zařízení (terminálu) vygeneruje v první fázi velké množství segmentů, které síťové zařízení nedokáže odeslat přes BB, a proto dojde ke zbytečnému zahazování paketů vlivem velikosti bufferu síťového prvku.

1.5.4. Jedno nebo vícenásobné TCP spojení

Rozhodnutí, zda při samotném měření použít jedno nebo vícenásobné TCP spojení, závisí na velikosti BDP, respektive na hodnotě $\text{TCP RWND}_{\text{min}}$, v souvislosti s nastavenou

hodnotou TCP RWND okna na přijímací straně (např. 64 kB). Cílem využití vícenásobných TCP spojení je co nejvěrohodnější pokrytí celé kapacity přenosové trasy. Jestliže platí, že:

$$\text{TCP RWND}_{\min} > \text{TCP RWND}; [B; B], \quad (21)$$

měl by počet TCP spojení odpovídat výsledku rovnice (zaokrouhлено na nejbližší vyšší celé číslo):

$$n = \left\lceil \frac{\text{TCP RWND}_{\min}}{\text{TCP RWND}} \right\rceil; [-; B, B], \quad (22)$$

kde n je počet TCP spojení a TCP RWND představuje skutečně nastavenou velikost okna na přijímací straně. Příkladem může být situace, kde je účastníkovi k dispozici síť elektronických komunikací s kapacitou přenosové trasy $BB = 500 \text{ Mb/s}$ a $\text{minDelay} = 5 \text{ ms}$. Parametr BDP je možné stanovit podle rovnice (18), respektive 312,5 kB. V rámci každé sekvence testů musí být navázán příslušný počet TCP spojení tak, aby bylo možné dosáhnout maximálního využití kapacity přenosové trasy. Pokud nastavíme $\text{TCP RWND} = 64 \text{ kB}$, což odpovídá základnímu používanému maximu, měl by počet TCP spojení odpovídat hodnotě $n = 5$.

Obecné doporučení:

- Je vhodnější provádět měření pro vícenásobné TCP spojení, a to i v případě, kdy není zdánlivě měření s vícenásobným TCP spojením dle rovnice (22) potřeba. Může totiž s ohledem na nastavení parametrů sítě elektronických komunikací docházet k přidělení větší kapacity přenosové trasy. Proto je doporučeno využívat $n \geq 2$.
- TCP RWND o velikosti vyšší než 64 kB nemusí být vždy k dispozici, jelikož je možné ho nastavit pouze v případě použití TCP rozšíření (tzv. *TCP window scale option*). Navíc může u reálných implementací docházet k situaci, kdy může být programem nastavená velikost okna ignorována, či rekonfigurována na defaultní hodnotu (např. 64 kB).
- V případě použití jakéhokoliv aplikačního měřicího vybavení je nezbytné mít přístup ke konfiguraci a výpisům obou měřicích stran. Výchozí hodnoty nastavení nemusí totiž být dostatečné a mohou vést k mylným výsledkům.
- Je nutné identifikovat, zda měřicí nástroj využívá pevně nastavené TCP RWND, případně hodnotu TCP RWND sám určí na základě stavu NUT před zahájením měření a dále ji během měření udržuje konstantní, případně tuto hodnotu během měření mění.

1.5.5. Výpočet hodnoty TCP propustnosti

Doporučení IETF RFC 6349 definuje dvě odlišné metody výpočtu parametrů určujících hodnotu TCP propustnosti. První metoda výpočtu je teoretická, vycházející ze složení jednotlivých vrstev modelu ISO/OSI, a stanovuje ideální hodnotu TCP propustnosti TCP iTR . Druhá metoda je praktická a vychází z aktuálního stavu NUT. Výsledkem této metody je aktuální hodnota TCP propustnosti TCP aTR .

Příkladem může být rozhraní odpovídající standardu IEEE 802.3u, 100BASE-TX, kde je na první vrstvě modelu ISO/OSI dosahována rychlost $\text{NBR} = 100 \text{ Mb/s}$. Maximálně dosažitelná informační rychlost IR spojové vrstvy modelu ISO/OSI je limitována maximálním množstvím rámců FPS dle rovnice (ethernetový rámeček Ethernet II):

$$\text{FPS} = \frac{\text{NBR}}{(\text{IFG} + \text{Preamble} + \text{MAC DST} + \text{MAC SRC} + \text{Ethertype} + 802.1Q(802.1ad) + \text{MTU} + \text{FCS}) \cdot 8}; [1/\text{s}; \text{b/s}, B], \quad (4)$$

V uvedeném případě, pokud budeme předpokládat, že hodnoty $\text{IFG} = 12 \text{ B}$, $\text{Preamble} = 8 \text{ B}$, $\text{MAC DST} = 6 \text{ B}$, $\text{MAC SRC} = 6 \text{ B}$, $802.1Q(802.1ad) = 0 \text{ B}$, $\text{Ethertype} = 2 \text{ B}$, $\text{MTU} = 1500 \text{ B}$ a $\text{FCS} = 4 \text{ B}$, dosahuje rozhraní odpovídající standardu IEEE 802.3u (100BASE-TX) dle vztahu (4) hodnoty $\text{FPS} = 8127 \text{ 1/s}$. Hodnota parametru TCP iTR na transportní vrstvě modelu ISO/OSI je v případě použití IPv4 protokolu jako protokolu síťové vrstvy bez volitelných částí záhlaví (20 B) a TCP záhlaví bez jakýchkoliv rozšíření (20 B) stanovena dle rovnice:

$$\text{TCP iTR} = (\text{MTU} - \text{IP}_{\text{header}} - \text{TCP}_{\text{header}}) \cdot 8 \cdot \text{FPS}; [\text{b/s}; B, 1/\text{s}]. \quad (23)$$

V uvedeném případě je hodnota TCP iTR = 94,92 Mb/s. Jestliže je v procesu měření TCP datové propustnosti využíváno rozšířené TCP/IP záhlaví (20 až 60 B), je nutné toto rozšířené záhlaví zohlednit ve vztahu (23). Metoda stanovení aktuální hodnoty TCP propustnosti TCP aTR vychází z kontinuálního měření zpoždění Delay a následného stanovení průměrné hodnoty tohoto zpoždění Delay(avg) během dané délky trvání testu. Průměrnou hodnotu zpoždění Delay(avg) je tedy možné definovat jako:

$$\text{Delay}(\text{avg}) = \frac{1}{t} \sum_{i=0}^{N-1} \text{Delay}_i; [s; s, s], \quad (3)$$

kde Delay_i označuje jednotlivé hodnoty Delay, které jsou kontinuálně měřeny s periodou 1 s a zaznamenávány během daného testu, a parametr t označuje celkovou délku trvání daného testu. Výslednou aktuální hodnotu TCP propustnosti TCP aTR transportní vrstvy modelu ISO/OSI je možné zapsat ve tvaru:

$$\text{TCP aTR} = \frac{\text{TCP RWND} \cdot 8}{\text{Delay}(\text{avg})}; [b/s; B, s]. \quad (2)$$

1.5.6. Výpočet TCP metrik

Doporučení IETF RFC 6349 definuje tři základní TCP metriky, které mohou být použity pro lepší porozumění a porovnání jednotlivých výsledků měření. Tyto metriky navíc umožňují porovnání TCP propustnosti v různých síťových podmínkách a nastavení měřicích stran, a z těchto důvodů je doporučeno, aby byly stanoveny během každého testu TCP. Nezbytnou podmínkou je, aby všechny tři základní TCP metriky byly stanovené pro každý směr zvlášť.

TCP transfer time ratio

TCP transfer time ratio (TCP TTR) je poměr mezi skutečně dosahovanou hodnotou TCP aTT (aktuální hodnotou doby přenosu) a její ideální podobou (TCP iTT). Tato TCP metrika, která definuje, kolikrát je skutečná doba TCP přenosu delší než její ideální hodnota, odpovídá:

$$\text{TCP TTR} = \frac{\text{TCP aTT}}{\text{TCP iTT}}; [-; s, s], \quad (24)$$

kde TCP aTT je skutečně dosahovaná doba přenosu souboru dat prostřednictvím TCP spojení, zatímco ideální hodnota TCP iTT je předpovězená doba, za kterou by daný soubor dat měl být přenesen prostřednictvím TCP spojení. Ideální doba TCP iTT je odvozena od ideálně dosažitelné propustnosti TCP datového toku (TCP iTR) na transportní vrstvě modelu ISO/OSI. Ideální dobu přenosu souboru dat TCP iTT je možné stanovit dle rovnice:

$$\text{TCP iTT} = \frac{SD}{\text{TCP iTR}}; [s; b, b/s], \quad (25)$$

kde SD označuje velikost souboru dat určeného k přenosu.

TCP efficiency

TCP efficiency (TCP EFF) reprezentuje procento úspěšně přenesených bitů bez nutnosti jejich opětovného zaslání. Tato metrika udává představu o chybovosti celého TCP spojení. Výpočet efektivity TCP přenosu lze provést dle následující rovnice:

$$\text{TCP EFF} = \frac{TB - rTB}{TB} \cdot 100; [%; b, b], \quad (26)$$

kde TB označuje počet přenesených bitů a rTB označuje počet bitů, které musely být po detekované chybě odeslány opětovně.

Buffer delay

Buffer delay (BD) reprezentuje vztah mezi nárůstem průměrné hodnoty zpoždění Delay(avg) během daného měřicího procesu (testu) a výchozí hodnotou zpoždění $\text{Delay}_{\text{baseline}}$ stanovenou před samotným zahájením daného testu. Výslednou hodnotu BD je možné definovat jako:

$$\text{BD} = \frac{\text{Delay}(\text{avg}) - \text{Delay}_{\text{baseline}}}{\text{Delay}_{\text{baseline}}} \cdot 100; [%; s, s]. \quad (27)$$

1.6. Sekvence měření

Měření v pevných nebo semi-pevných sítích elektronických komunikací z hlediska umístění MT odpovídá stacionárnímu měření. Pro všechna měření ve stacionárním bodě je doporučeno provádět opakovaná měření s dostatečnou časovou a provozní diverzitou. Dále je doporučeno provádět tři hlavní, nezávislé, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity, tzn. minimálně jedno měření v provozní špičce a minimálně jedno měření mimo provozní špičku. S ohledem na koncového uživatele a vzhledem k časové náročnosti procesu měření TCP propustnosti je přípustné provést všechny tři hlavní měření v provozní špičce, nebo měření provést s ohledem na definici časové dostupnosti (časového rozměru) běžné dostupné rychlosti.

Jedno měření by nemělo přesahovat časový rámec 30 minut, ve kterém proběhne sekvence tří testů. Protože výsledné datové parametry měřicího procesu patří do souboru základních datových parametrů, který tvoří vzestupná TCP propustnost (upload) TCP aTR_{up}, sestupná TCP propustnost (download) TCP aTR_{down} a zpoždění Delay, resp. Delay(avg), zavádí se označení základní test (*basic test*, dále jen „testB“). Jeden test kategorie testB musí garantovat délku měření TCP propustnosti splňující podmínku:

$$T_{TCP} \geq 210 \text{ s.} \quad (28)$$

Důvodem stanovení této hodnoty je detekce vzniku velké opakující se odchylky skutečného výkonu služby od běžně dostupné rychlosti. Vzhledem k samotnému procesu zpracování naměřených hodnot (T_{proc}) použitými měřicími nástroji by celková délka trvání jednoho testu neměla překračovat hodnotu T_{testB} (viz obr. 1):

$$T_{testB} = T_{TCP} + T_{proc} \leq 300 \text{ s.} \quad (29)$$

Výsledný proces měření by se měl skládat z následujících kroků (viz obr. 1):

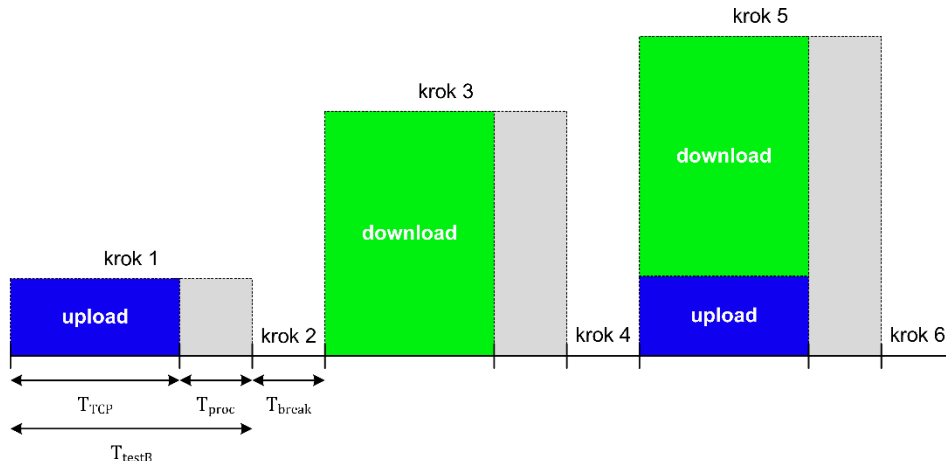
- krok 1 – jednosměrný test vzestupné TCP propustnosti (upload) TCP aTR_{up} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{testB} \leq 300 \text{ s}$,
- krok 2 – pauza (uložení předcházejících výsledků testu) o délce $T_{break} \leq 90 \text{ s}$,
- krok 3 – jednosměrný test sestupné TCP propustnosti (download) TCP aTR_{down} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{testB} \leq 300 \text{ s}$,
- krok 4 – pauza (uložení předcházejících výsledků testu) o délce $T_{break} \leq 90 \text{ s}$,
- krok 5 – obousměrný test TCP propustnosti (upload + download) TCP aTR_{up} a TCP aTR_{down} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{testB} \leq 600 \text{ s}$,
- krok 6 – pauza do zahájení další sekvence měření odpovídající časovému odstupu (uložení předcházejících výsledků testu, příprava na další test) o délce $T_{break} \leq 90 \text{ s}$.

Pokud měřicí nástroj neumožňuje nastavení pořadí sekvence testů v doporučené podobě, je možné uvedené pořadí změnit, aniž by byla porušena integrita měření. Stejně tak je možné vypustit obousměrný test TCP propustnosti (krok 5), nebo sekvenci pauz mezi jednotlivými testy (kroky 2, 4 a 6). Minimální přípustná podoba procesu měření TCP propustnosti se musí skládat z jednosměrného vzestupného testu (upload; krok 1) a z jednosměrného sestupného testu (download; krok 3) TCP propustnosti.

1.6.1. Vstupní parametry sekvence měření

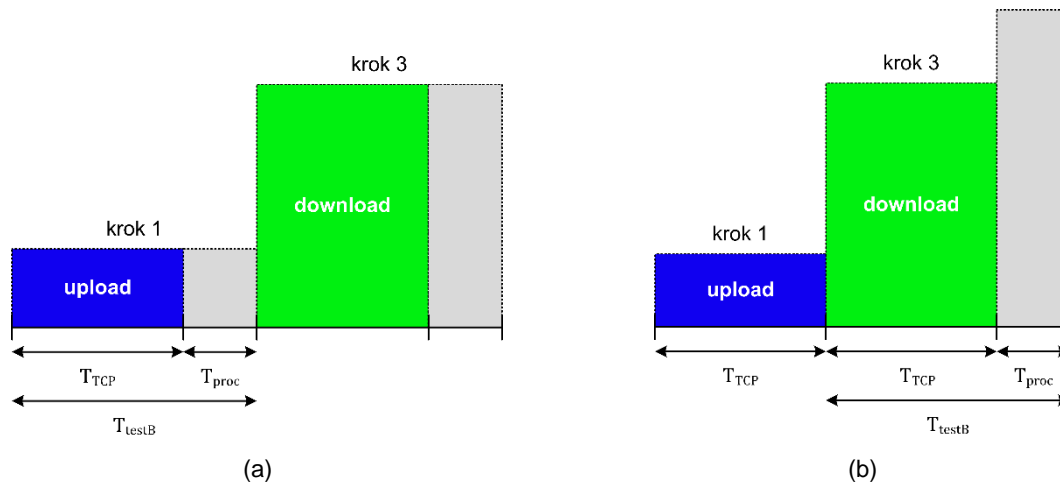
Vstupní parametry sekvence měření musí vycházet z parametrů prezentovaných poskytovateli služeb elektronických komunikací ve svých nabídkách služby přístupu k internetu s ohledem na Nařízení a s ním souvisejícím všeobecným oprávněním č. VO-S/1/08.2020-9, které konkretizuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování (download) a vkládání (upload) dat včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení. Při definování vstupních parametrů byly brány v potaz také vlastnosti přístupových technologií. Úřad uvedl na základě Nařízení čtyři definice rychlostí související s poskytováním služby přístupu k internetu v pevných či semi-pevných sítích v rozsahu od bodu předání služby koncovému uživateli (DeP 7, resp. DeP 6) po bod přístupu MSEK

peeringovým uzlem NIX.CZ (DeP 1), včetně možnosti využití tranzitní konektivity pro případ filtrování výměny směrovacích informací v peeringovém uzlu NIX.CZ, nebo výměny směrovacích informací v zahraničním peeringovém uzlu. V případě rychlostí stahování dat (download) a vkládání dat (upload) dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení jsou definice uvedeny v rámci všeobecného oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9.



Obr. 1: Doporučená podoba procesu měření souboru základních datových parametrů

Možné kombinace realizace minimální přípustné podoby procesu měření závisí především na použitých měřicích nástrojích. Teoreticky možné kombinace jsou uvedeny na obr. 2, přičemž se vzájemně liší pouze procesem zpracování naměřených hodnot.



Obr. 2: Varianty minimální přípustné podoby procesu měření souboru základních datových parametrů: (a) proces zpracování každého jednosměrného testu zvlášť, (b) proces zpracování všech jednosměrných testů na závěr samotného procesu měření

Měřicí proces založený na doporučení IETF RFC 6349 definuje jako vstupní parametry BB, $\text{Delay}_{\text{baseline}}$, TCP RWND a MTU. Většina dostupných měřicích nástrojů umožňuje nastavit vstupní parametry BB a MTU, ostatní parametry jsou schopny tyto měřicí nástroje stanovit sami dle kritérií uvedených v doporučení IETF RFC 6349. Někteří výrobci měřicích nástrojů chybně uvádějí v souvislosti s parametrem BB označení CIR. Toto označení je zavádějící, protože to inklinuje k chybnému nastavení hodnoty BB odpovídající svojí hodnotou spojové vrstvě modelu ISO/OSI (*Committed Information Rate*), ale ve skutečnosti se jedná o vrstvu fyzickou. Je tedy doporučeno dotazovat se výrobce měřicího nástroje, na které vrstvě modelu ISO/OSI se zadává vstupní parametr BB. V případě měření základního souboru datových parametrů bude vstupní parametr BB roven smluvně definované hodnotě maximální rychlosti převedené na hodnotu fyzické vrstvy (L 1) stahování dat (download) a vkládání dat (upload):

$$\text{BB (L 1)} = \text{CIR (L 1)} = R_{\text{max}} (\text{L 1}); [\text{b/s}; \text{b/s}]. \quad (30)$$

Hodnotu MTU měřené přenosové trasy NUT, pokud není známa (např. pro technologii VDSL2 odpovídající standardu ITU-T G.993.2 s využitím protokolů PPP a PPPoE je MTU = 1492 B), je doporučeno identifikovat pomocí dostupných testovacích nástrojů, např. programem pro zachytávání paketů Wireshark, nebo případně nástrojem pracujícím na základě doporučení IETF RFC 4821: *Packetization Layer Path MTU Discovery*.

2. Měření souboru rozšířených datových parametrů

Postup měření souboru rozšířených datových parametrů vychází z postupu měření základních datových parametrů, který je doplněn o kvalitativní datové parametry, a to konkrétně o vzestupnou informační rychlost (uplink; IR_{up}) a sestupnou informační rychlost (downlink; IR_{down}), které charakterizují dostupnou šířku pásma (bandwidth) v daném místě měření pro oba směry datové komunikace, dále o zpoždění rámců (FTD), kolísání zpoždění rámců (IFDV) a ztrátovost rámců (FLR).

2.1. Sekvence měření

Stejně jako v případě postupu měření souboru základních datových parametrů, je doporučeno provádět opakovaná měření s dostatečnou časovou a provozní diverzitou. Dále je doporučeno provádět tři hlavní, nezávislé, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity, tzn. minimálně jedno měření v provozní špičce a minimálně jedno měření mimo provozní špičku. S ohledem na koncového uživatele a vzhledem k časové náročnosti procesu měření TCP propustnosti, navíc rozšířeného o proces měření kvalitativních datových parametrů, je přípustné provést všechny tři hlavní měření v provozní špičce, nebo měření provést s ohledem na definici časové dostupnosti běžně dostupné rychlosti.

Jedno měření by nemělo přesahovat časový rámec 30 minut, ve kterém proběhne sekvence tří testů základních (*basic test*, „testB“) vycházejících z doporučení IETF RFC 6349 a jednoho testu doplňujícího (*complementary test*, dále jen „testC“) vycházejícího ze standardu ITU-T Y.1564. Jeden test kategorie testB musí garantovat celkovou délku měření TCP propustnosti včetně časové náročnosti procesu zpracování výsledků měření splňující podmínku:

$$T_{\text{testB}} \leq 300 \text{ s.} \quad (29)$$

Standard ITU-T Y.1564 doporučuje provést základní test výkonnosti pevné či semi-pevné sítě elektronických komunikací alespoň o celkové délce 15 minut. Protože je doporučeno v rámci měřicího procesu provádět 3 hlavní, nezávislá, měření, musí jeden testC, resp. jeho zátěžová část (zátěžový test), garantovat délku měření kvalitativních datových parametrů:

$$T_{\text{perf}} \geq 300 \text{ s.} \quad (31)$$

Zátěžový test dle standardu ITU-T Y.1564 je vhodné použít pro ověření kvalitativních datových parametrů typu zpoždění rámců (FTD), kolísání zpoždění rámců (IFDV) a ztrátovost rámců (FLR), přičemž dle doporučení CEPT ECC (15)03 se v případě zpoždění rámců (FTD) a kolísání zpoždění rámců (IFDV) jedná o jejich výsledné průměrné hodnoty. Výsledek měřicího procesu v rámci zátěžového testu lze využít pro ověření definovaných hodnot jednotlivých parametrů kategorií/tříd dle technické specifikace MEF 23.2.

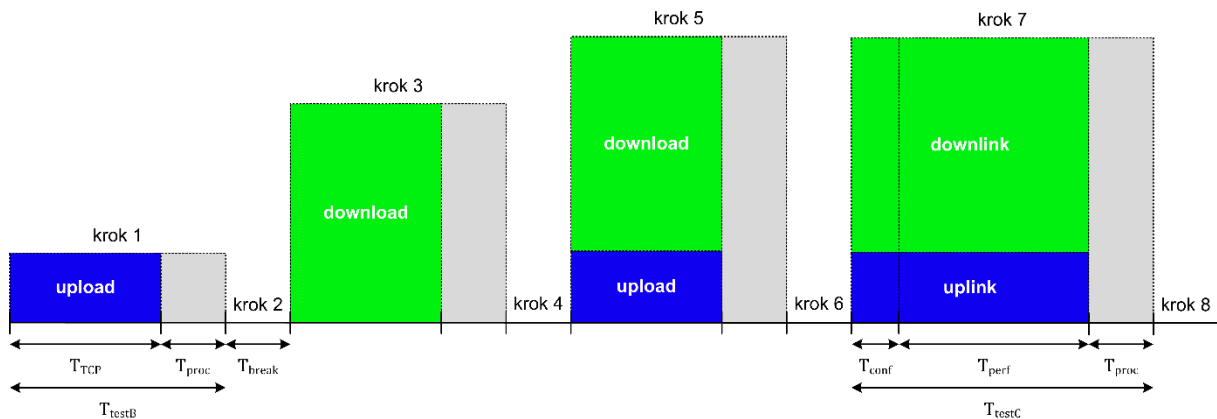
Standard ITU-T Y.1564 také doporučuje, aby součástí byl i tzv. konfigurační test. Tento test představuje měření kvalitativních datových parametrů v závislosti na změně vstupní hodnoty CIR v šesti krocích, konkrétně při 50 % CIR, 75 % CIR, 90 % CIR a 100 % CIR, dále při CIR + EIR a max NBR. Každý krok by měl odpovídat délce testu od 1 do 60 s. Úřad se rozhodl s ohledem k parametrům rychlostí služeb přístupu k internetu v pevném a semi-pevném místě využít pouze prvních pět kroků při délce jednoho kroku 5 s ($T_{\text{conf}} = 25 \text{ s}$). Výslednou hodnotu informační rychlosti v případě konfiguračního testu při vstupní podmínce CIR + EIR lze využít k ověřování dosažitelné šířky pásma (bandwidth) sítě elektronických komunikací v místě NTP. Vzhledem k samotnému procesu zpracování naměřených hodnot (T_{proc}) použitými měřicími nástroji by celková délka trvání jednoho testu neměla překračovat hodnotu T_{testC} :

$$T_{\text{testC}} = T_{\text{conf}} + T_{\text{perf}} + T_{\text{proc}} \leq 420 \text{ s.} \quad (32)$$

Výsledný proces měření by se měl skládat z následujících kroků (viz obr. 3):

- krok 1 – jednosměrný test vzestupné TCP propustnosti (upload) TCP aTR_{up} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{\text{testB}} \leq 300 \text{ s}$,
- krok 2 – pauza (uložení předcházejících výsledků testu) o délce $T_{\text{break}} \leq 45 \text{ s}$,
- krok 3 – jednosměrný test sestupné TCP propustnosti (download) TCP aTR_{down} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{\text{testB}} \leq 300 \text{ s}$,
- krok 4 – pauza (uložení předcházejících výsledků testu) o délce $T_{\text{break}} \leq 45 \text{ s}$,
- krok 5 – obousměrný test TCP propustnosti (upload + download) TCP aTR_{up} a TCP aTR_{down} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{\text{testB}} \leq 600 \text{ s}$,
- krok 6 – pauza do zahájení další sekvence měření odpovídající časovému odstupu (uložení předcházejících výsledků testu, příprava na další test) o délce $T_{\text{break}} \leq 45 \text{ s}$,
- krok 7 – obousměrný test kvalitativních datových parametrů dle standardu ITU-T Y.1564 o celkové délce testu $T_{\text{testC}} \leq 420 \text{ s}$,
- krok 8 – pauza do zahájení další sekvence měření odpovídající časovému odstupu (uložení předcházejících výsledků testu, příprava na další sekvenci testů/měření) o délce $T_{\text{break}} \leq 45 \text{ s}$.

Pokud měřicí nástroj neumožňuje nastavení pořadí sekvence testů v doporučené podobě, je možné uvedené pořadí změnit, aniž by byla porušena integrita měření. Stejně tak je možné vypustit obousměrný test TCP propustnosti (krok 5), nebo sekvenci pauz mezi jednotlivými testy (kroky 2, 4, 6 a 8). Minimální přípustná podoba procesu měření rozšířeného souboru datových parametrů se musí skládat z jednosměrného vzestupného testu (upload; krok 1), z jednosměrného sestupného testu (download; krok 3) TCP propustnosti a z obousměrného testu kvalitativních datových parametrů dle standardu ITU-T Y.1564 (uplink + downlink; krok 7). Možné kombinace realizace minimální přípustné podoby procesu měření závisí především na použitých měřicích nástrojích.



Obr. 3: Doporučená podoba procesu měření rozšířeného souboru datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací

2.1.1. Vstupní parametry sekvence měření

Při měření kvalitativních datových parametrů v rámci rozšířeného souboru datových parametrů je nutné vycházet ze standardu ITU-T Y.1564, který definuje mimo jiné jako vstupní parametry CIR, CIR + EIR a velikost ethernetového rámce FS (od 64 B do 1526 B). Jak už plyne z označení CIR a EIR, jedná se o parametry odpovídající spojové vrstvě modelu ISO/OSI. Někteří výrobci měřicích nástrojů chybně označují v souvislosti s parametrem CIR a EIR hodnoty odpovídající fyzické vrstvě modelu ISO/OSI. Je tedy doporučeno dotazovat se výrobce měřicího nástroje, na které vrstvě modelu ISO/OSI se zadávají vstupní parametry CIR a CIR + EIR.

V případě měření kvalitativních datových parametrů by měl být vstupní parametr CIR roven smluvně definované hodnotě běžně dostupné rychlosti (BDR) stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) služby přístupu k internetu v pevném nebo semi-pevném místě:

$$\text{CIR (L 1)} = \text{BDR (L 1)}; [\text{b/s}; \text{b/s}], \quad (33)$$

a to z důvodů eliminace možnosti zkreslení dosahovaných hodnot kvalitativních datových parametrů v podobě zpoždění rámců (FTD), kolísání zpoždění rámců (IFDV) a ztrátovost rámců (FLR) dané NUT, pokud se informační rychlost během procesu měření blíží definované hodnotě maximální rychlosti (R_{\max}), což je i v souladu podmínkami měření dle standardu ITU-T Y.1564. Pro účely konfiguračního testu je vhodné nastavit parametr CIR + EIR v podobě smluvně definované hodnoty maximální rychlosti (R_{\max} stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) služby přístupu k internetu v pevném nebo semi-pevném místě) přepočítané na hodnotu odpovídající fyzické vrstvě modelu ISO/OSI:

$$\text{CIR} + \text{EIR (L 1)} = R_{\max} (\text{L 1}); [\text{b/s}; \text{b/s}]. \quad (34)$$

Takto definované nastavení poskytuje možnost ověření schopnosti dané NUT poskytovat smluvně stanovené hodnoty maximální rychlosti stahování dat (download) a vkládání dat (upload) z hlediska ověřování dosažitelné šířky pásma (bandwidth) sítě elektronických komunikací v místě NTP. Výsledkem je poté informační rychlost IR odpovídající spojové vrstvě modelu ISO/OSI pro oba směry, respektive skutečná šířka pásma ve vzestupném směru (uplink; IR_{up}) a ve sestupném směru (downlink; IR_{down}). Při stanovení hodnoty velikosti rámce FS je vhodné vycházet z určené hodnoty MTU použité při měření souboru základních datových parametrů, respektive:

$$\text{FS} = \text{MTU} + \text{MAC DST} + \text{MAC SRC} + 802.1\text{Q (802.1ad)} + \text{Ethertyp} + \text{FCS}; [\text{B}; \text{B}], \quad (35)$$

pokud bude pro danou NUT stanovena hodnota $\text{MTU} = 1500 \text{ B}$, potom pro případ $\text{MAC SRC} = 6 \text{ B}$, $\text{MAC DST} = 6 \text{ B}$, $802.1\text{Q (802.1ad)} = 0 \text{ B}$, $\text{Ethertyp} = 2 \text{ B}$ a $\text{FCS} = 4 \text{ B}$ bude $\text{FS} = 1518 \text{ B}$.

3. Alternativní měření souboru základních datových parametrů

Alternativní způsob měření souboru základních parametrů je nutné použít v případech, kdy pevná nebo semi-pevná síť elektronických komunikací vykazuje velkou ztrátovost paketů (rámců) a velké kolísání zpoždění paketů (rámců). Dle doporučení IETF RFC 6349 může jako reference sloužit práh ztráty paketů $\text{IPLR} = 5 \%$ a kolísání zpoždění paketů s hodnotou $\text{IPDV} = 150 \text{ ms}$. Tyto či vyšší hodnoty již nasvědčují o poruchovém nebo mimořádném stavu sítě (např. přetížení, nedostatečné kapacitě sítě, nebo o uplatnění opatření řízení provozu). V těchto případech je nutné zvolit alternativní způsob měření základních datových parametrů. Jako alternativní způsob měření je možné zvolit měření kvalitativních datových parametrů dle standardu ITU-T Y.1564, který využívá během samotného procesu měření na transportní vrstvě nespojově orientovaný protokol UDP. Výsledkem jsou hodnoty vzestupné informační rychlosti (uplink; IR_{up}) a sestupné informační rychlosti (downlink; IR_{down}), které představují dosažitelnou šířku pásma (bandwidth) sítě elektronických komunikací v místě NTP pro oba směry datové komunikace, a dále zpoždění rámců (FTD), kolísání zpoždění rámců (IFDV) a ztrátovost rámců (FLR). V krajních případech, pokud $\text{IPLR} \gg 5 \%$, lze využít i měření dle standardu ITU-T O.150, který využívá místo standardních protokolů pseudonáhodnou binární sekvenci délky 31 (PRBS31).

Na základě získaných hodnot kvalitativních datových parametrů, pokud možno doplněných o výsledky příkazu *tracert* (*traceroute*) doplněné o měření skutečné přenosové rychlosti (aktuální rychlosti) v podobě TCP propustnosti v garantované délce trvání T_{TCP} , je možné dovodit, v jakém stavu se nachází celá NUT a co je příčinou znemožnění měření souboru základních datových parametrů dle doporučení IETF RFC 6349, resp. zda stav vykazuje příznaky vzniku velkých odchylek, případně výpadku služby, nebo uplatnění opatření řízení provozu, např. z důvodů nedostatečné kapacity sítě.

3.1. Sekvence měření

Stejně jako v případě postupu měření základních datových parametrů, je doporučeno provádět opakovaná měření s dostatečnou časovou a provozní diverzitou. Dále je doporučeno provádět tři hlavní, nezávislé, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity, tzn. minimálně jedno měření v provozní špičce a minimálně jedno měření mimo provozní špičku. Je přípustné provést všechny tři hlavní měření v provozní špičce, nebo měření provést s ohledem na definici časové dostupnosti (časového rozměru) běžně dostupné rychlosti.

Jedno měření by nemělo přesahovat časový rámec 30 minut, ve kterém proběhne jeden test alternativní (*alternative test*, dále jen „testA“) vycházející ze standardu ITU-T Y.1564. Standard ITU-T Y.1564 doporučuje provést základní test výkonnosti o celkové délce 15 minut. Protože je doporučeno v rámci měřicího procesu provádět 3 hlavní, nezávislá, měření, musí jeden test kategorie testA, resp. jeho zátěžová část (test), garantovat délku procesu měření kvalitativních datových parametrů:

$$T_{\text{perf}} \geq 300 \text{ s.} \quad (31)$$

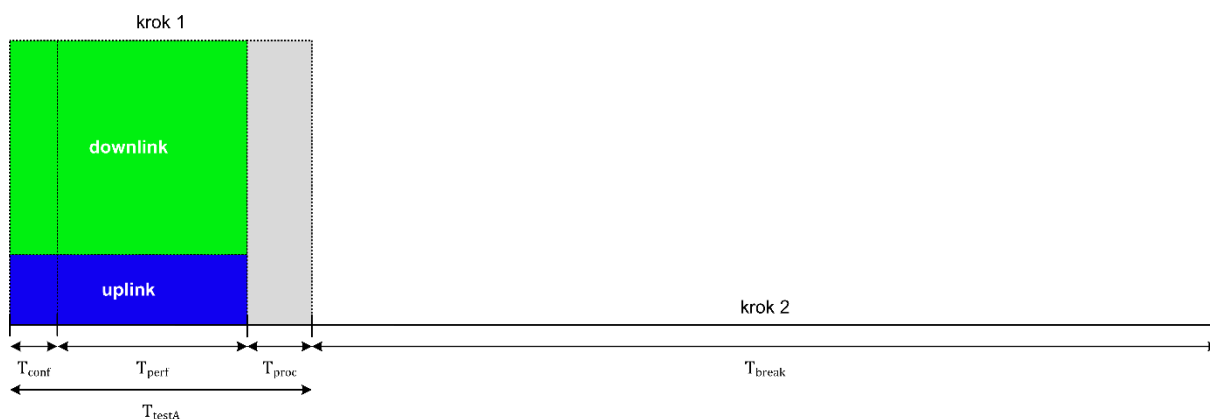
Zátěžový test dle standardu ITU-T Y.1564 je vhodné použít pro ověření kvalitativních datových parametrů typu zpoždění rámců (FTD), kolísání zpoždění rámců (IFDV) a ztrátovost rámců (FLR), přičemž dle doporučení CEPT ECC (15)03 se v případě zpoždění rámců (FTD) a kolísání zpoždění rámců (IFDV) jedná o jejich výsledné průměrné hodnoty.

Standard ITU-T Y.1564 také doporučuje, aby součástí byl i tzv. konfigurační test. Tento test představuje měření kvalitativních datových parametrů v závislosti na změně vstupní hodnoty CIR v šesti krocích, konkrétně při 50 % CIR, 75 % CIR, 90 % CIR a 100 % CIR, dále při CIR + EIR a max NBR. Každý krok by měl odpovídat délce testu od 1 do 60 s. Úřad se rozhodl s ohledem na parametrické definice služeb přístupu k internetu využít pouze prvních pět kroků při délce jednoho kroku 5 s ($T_{\text{conf}} = 25 \text{ s}$). Výslednou hodnotu informační rychlosti v případě konfiguračního testu při vstupní podmínce CIR + EIR = R_{max} lze využít k ověřování skutečné šířky pásma (bandwidth). Vzhledem k samotnému procesu zpracování naměřených hodnot (T_{proc}) použitými měřicími nástroji by celková délka trvání jednoho testu neměla překračovat hodnotu T_{testA} :

$$T_{\text{testA}} = T_{\text{conf}} + T_{\text{perf}} + T_{\text{proc}} \leq 420 \text{ s.} \quad (32)$$

Výsledný alternativní proces měření by se měl skládat z následujících kroků (viz obr. 4):

- krok 1 – obousměrný test kvalitativních datových parametrů dle standardu ITU-T Y.1564 (ITU-T O.150) o celkové délce testu $T_{\text{testA}} \leq 420 \text{ s}$,
- krok 2 – pauza do zahájení další sekvence měření odpovídající časovému odstupu (uložení předcházejících výsledků testu, příprava na další sekvenci testů/měření) o délce $T_{\text{break}} \leq 1380 \text{ s}$.



Obr. 4: Doporučená podoba alternativního procesu měření základního souboru datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací

4. Měření souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN

Postup měření souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN vychází z postupu měření základních datových parametrů, který je doplněn na základě aktuálně platných Pokynů BEREC VHCN a standardu ITU-T Y.1540 o měření kvalitativních datových parametrů se stanovenými prahovými hodnotami, které představují kritéria rovnocenné výkonnosti k celo-optickým sítím. Jedná se o vzestupnou IP propustnost (uplink; IP TR_{up}) a sestupnou IP propustnost (downlink; IP TR_{down}), které charakterizují zatížení šířky pásma NUT pro oba směry datové komunikace během procesu měření zpoždění IP paketů IPTD, kolísání zpoždění IP paketů IPLR, chybovosti IP paketů IPER, ztrátovosti IP paketů IPLR a dostupnosti IP služby IPAS. Pokyny BEREC VHCN rozdělují prahové hodnoty výkonnostních kritérií zvláště pro pevné sítě a bezdrátové sítě elektronických komunikací.

4.1. Sekvence měření

Stejně jako v případě postupu měření souboru základních datových parametrů, je doporučeno provádět tři hlavní, nezávislé, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity. S ohledem na koncového uživatele a vzhledem k časové náročnosti procesu měření s možností kombinace s postupem měření souboru základních datových parametrů (příloha č. 1), je přípustné provést všechny tři hlavní měření v provozní špičce, nebo měření provést s ohledem na definici časové dostupnosti běžně dostupné rychlosti.

Jedno měření by nemělo přesahovat časový rámec 30 minut, ve kterém je vymezen časový prostor pro sekvenci tří základních testů (*basic test*, „testB“) vycházejících z doporučení IETF RFC 6349 a pro jeden test kvalitativních datových parametrů VHCN (*VHCN performance test*, dále jen „testVHCN“) vycházejícího ze standardu ITU-T Y.1540. Standard ITU-T Y.1540 doporučuje délku měření jednoho testu od 5 sekund do 60 sekund, resp. $\Delta t = \langle 5; 60 \rangle$ s. Protože je doporučeno v rámci měřicího procesu provádět 3 hlavní, nezávislá, měření, musí jeden test kategorie testVHCN garantovat pevně stanovenou délku měření datových parametrů Δt :

$$\Delta t = 60 \text{ s}, \quad (36)$$

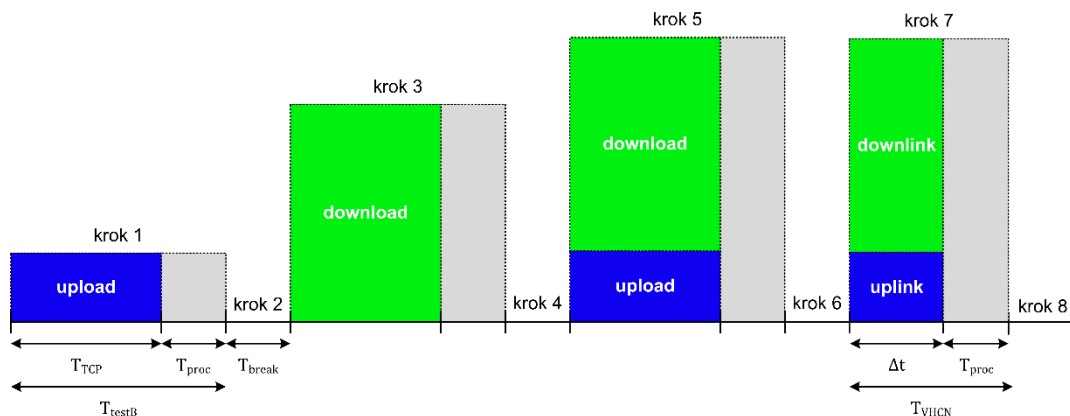
přičemž se v případě výsledných hodnot zpoždění IP paketů (IPTD) a kolísání zpoždění IP paketů (IPDV) bude jednat o jejich průměrné hodnoty v souladu s doporučením CEPT ECC (15)03. Vzhledem k samotnému procesu zpracování naměřených hodnot (T_{proc}) použitým měřicím nástrojem by celková délka trvání jednoho testu neměla překračovat hodnotu T_{VHCN} :

$$T_{\text{VHCN}} = \Delta t + T_{\text{proc}} \leq 180 \text{ s}. \quad (37)$$

Výsledný proces měření datových parametrů tvořících kritéria výkonnosti VHCN by se měl skládat z následujících kroků (viz obr. 5):

- krok 1 – jednosměrný test vzestupné TCP propustnosti (upload) TCP aTR_{up} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{\text{testB}} \leq 300 \text{ s}$,
- krok 2 – pauza (uložení předcházejících výsledků testu) o délce $T_{\text{break}} \leq 90 \text{ s}$,
- krok 3 – jednosměrný test sestupné TCP propustnosti (download) TCP aTR_{down} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{\text{testB}} \leq 300 \text{ s}$,
- krok 4 – pauza (uložení předcházejících výsledků testu) o délce $T_{\text{break}} \leq 90 \text{ s}$,
- krok 5 – obousměrný test TCP propustnosti (upload + download) TCP aTR_{up} a TCP aTR_{down} včetně hodnoty zpoždění Delay(avg) o celkové délce testu $T_{\text{testB}} \leq 600 \text{ s}$,
- krok 6 – pauza do zahájení další sekvence měření odpovídající časovému odstupu (uložení předcházejících výsledků testu, příprava na další test) o délce $T_{\text{break}} \leq 90 \text{ s}$,
- krok 7 – obousměrný test kvalitativních datových parametrů VHCN dle standardu ITU-T Y.1540 o celkové délce testu $T_{\text{VHCN}} \leq 180 \text{ s}$,
- krok 8 – pauza do zahájení další sekvence měření odpovídající časovému odstupu (uložení předcházejících výsledků testu, příprava na další sekvenci testů/měření) o délce $T_{\text{break}} \leq 150 \text{ s}$.

Pokud měřicí nástroj neumožňuje nastavení pořadí sekvence testů v doporučené podobě, je možné uvedené pořadí změnit, aniž by byla porušena integrita měření. Stejně tak je možné vypustit obousměrný test TCP propustnosti (krok 5), nebo sekvenci pauz mezi jednotlivými testy (kroky 2, 4, 6 a 8). Minimální přípustná podoba procesu měření rozšířeného souboru datových parametrů se musí skládat z jednosměrného vzestupného testu (upload; krok 1), z jednosměrného sestupného testu (download; krok 3) TCP propustnosti a z obousměrného testu kvalitativních datových parametrů VHCN dle standardu ITU-T Y.1540 (uplink + downlink; krok 7). Možné kombinace realizace minimální přípustné podoby procesu měření závisí především na použitých měřicích nástrojích.



Obř. 6: Doporučená podoba procesu měření souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN dle aktuálně platných Pokynů BEREC VHCN a standardu Y.1540

4.1.1. Vstupní parametry sekvence měření

Při měření souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN je nutné vycházet ze standardu ITU-T Y.1540 a aktuálního znění BEREC Pokynů VHCN. Standard ITU-T Y.1540 definuje mimo jiné jako vstupní parametry CIR, velikost ethernetového rámce FS (od 64 B do 1526 B), a typ protokolu IP. Jak už plyne z označení CIR, jedná se o parametr odpovídající spojové vrstvě modelu ISO/OSI, nikoliv tedy síťové vrstvě modelu ISO/OSI. Někteří výrobci měřicích nástrojů chybně označují v souvislosti s parametrem CIR hodnoty odpovídající fyzické vrstvě modelu ISO/OSI. Je tedy doporučeno dotazovat se výrobce měřicího nástroje na odpovídající vrstvu modelu ISO/OSI parametru CIR.

V případě měření kvalitativních datových parametrů VHCN by měl být vstupní parametr CIR roven smluvně definované hodnotě běžně dostupné rychlosti (BDR) stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) služby přístupu k internetu v případě pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací, což současně odpovídá zatížení šířky pásma NUT pro oba směry datové komunikace během procesu měření:

$$CIR(L1) = BDR(L1); [b/s; b/s], \quad (33)$$

a to z důvodů eliminace možného zkreslení dosahovaných hodnot kvalitativních datových parametrů v podobě zpoždění IP paketů (IPTD), kolísání zpoždění IP paketů (IPDV), ztrátovosti IP paketů (IPLR), chybovosti IP paketů (IPER) a dostupnosti IP služby (IPAS) dané NUT, pokud měla síťová propustnost IP TR (CIR) během procesu měření překračovat dostupnou šířku pásma posuzované sítě elektronických komunikací. Takto definované nastavení poskytuje možnost ověření schopnosti dané NUT dosahovat požadovaných výkonnostních kritérií pro kvalitativní datové parametry VHCN v době provozní špičky. Při stanovení hodnoty velikosti rámce FS je vhodné vycházet z určené hodnoty MTU použité při měření souboru základních datových parametrů:

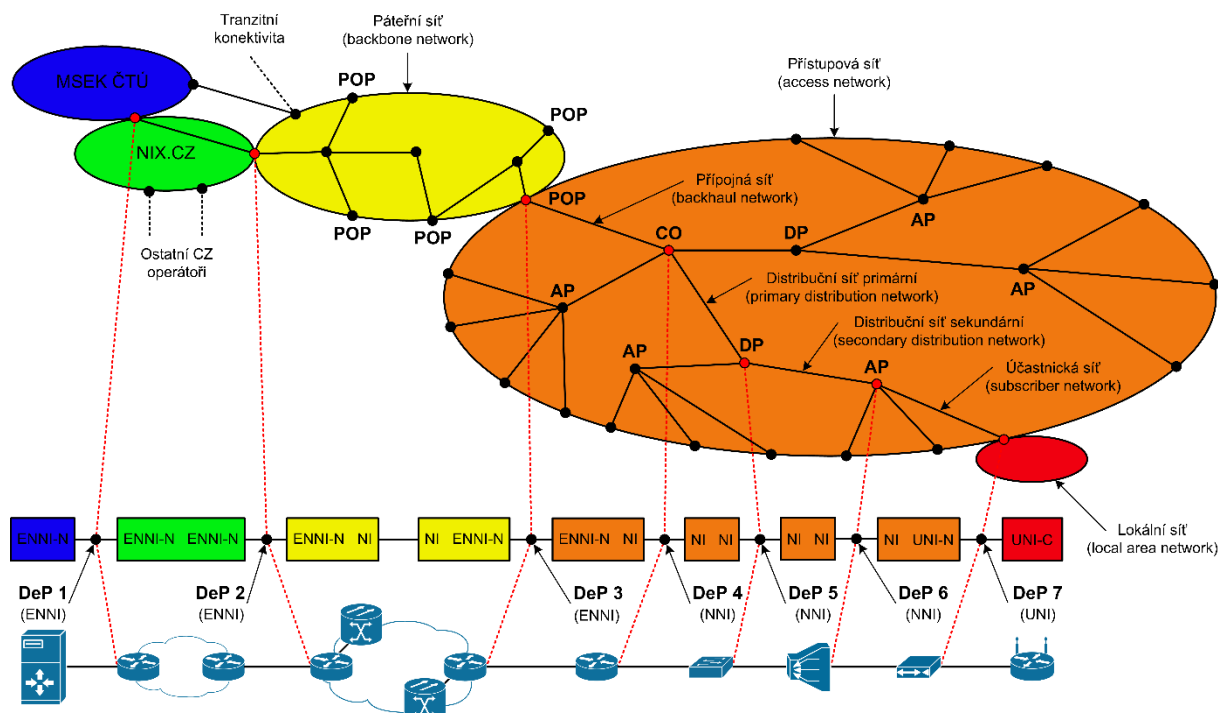
$$FS = MTU + MAC DST + MAC SRC + 802.1Q(802.1ad) + Ethertyp + FCS; [B; B], \quad (35)$$

pokud bude pro danou NUT stanovena hodnota $MTU = 1500$ B, potom pro případ $MAC SRC = 6$ B, $MAC DST = 6$ B, $802.1Q(802.1ad) = 0$ B, $Ethertyp = 2$ B a $FCS = 4$ B bude $FS = 1518$ B.

5. Demarkační body měření

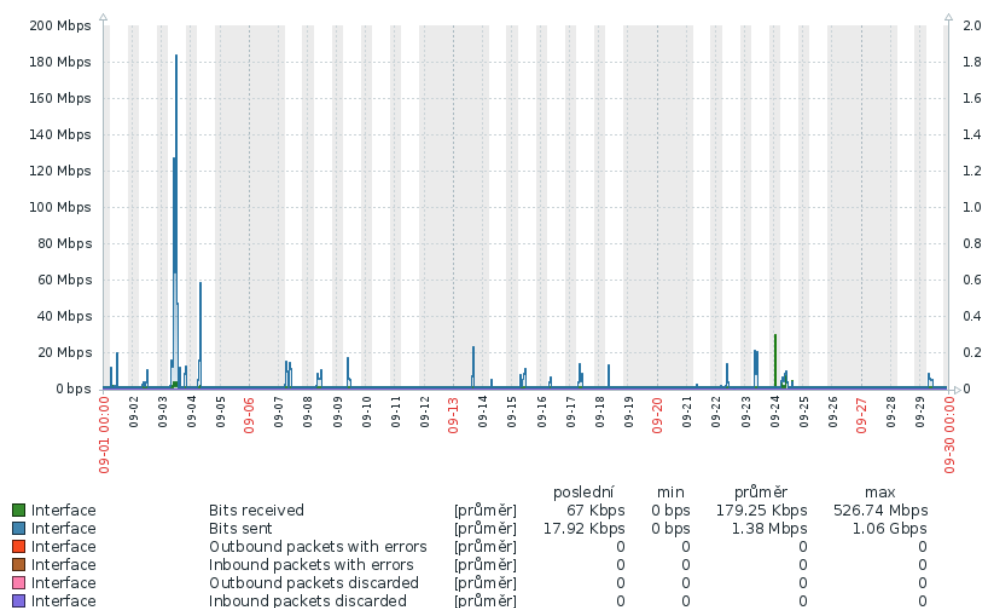
Demarkační body měření představují takové body (uzly) v síti, mezi kterými bude probíhat měření souborů datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací. Demarkační bod si lze obecně představit v podobě rozhraní síťového uzlu (konkrétního rozhraní/portu aktivního prvku). Úřad bude provádět měření dle metodického postupu přímo v konkrétním demarkačním bodě, nebo případně v místě blízkém v rozsahu nepřekračujícím vzdálenost příslušného sousedního demarkačního bodu dle smluvně definovaných podmínek. Úřad definuje následující demarkační body, přičemž je vždy předpokládáno provádění měření na ethernetovém rozhraní (zvláště při provádění měření pro výkon kompetencí Úřadu):

- První demarkační bod je definován v podobě přístupu MSEK (měřicího serveru) do sítě internet peeringovým uzlem NIX.CZ, viz. DeP 1 na obr. 7. Prvním demarkačním bodem lze definovat i jiné místo v síti, avšak pouze v těch případech, kdy nelze danou situaci řešit pomocí demarkačního bodu DeP 1. Typickou situací může být např. měření vyhrazené linky, nebo využití alternativní tranzitní konektivity při zjištění filtrování výměny směrovacích informací v peeringovém uzlu NIX.CZ, nebo případně výměny směrovacích informací v zahraničním peeringovém uzlu.
- Druhý demarkační bod si lze představit v podobě rozhraní síťového uzlu (konkrétní rozhraní/port aktivního prvku) případně v místě blízkém v rozsahu nepřekračujícím vzdálenost příslušného sousedního demarkačního bodu dle smluvně definovaných podmínek, kde bude probíhat měření dle tohoto metodického postupu prostřednictvím měřicího zařízení (terminálu). V rámci tohoto dokumentu jsou definovány pozice demarkačních bodů DeP 2 až DeP 7, viz obr. 7, dle obecné struktury přístupové sítě a jejího přístupu do internetu, respektive do MSEK (DeP 1). Je zřejmé, že v rámci reálné struktury přístupové sítě konkrétního poskytovatele služby přístupu k internetu může docházet ke sloučení některých demarkačních bodů, případně k jejich vynechání, nebo také naopak k jejich rozšíření v případě rozsáhlé sítě (např. DeP 5a, DeP 5b a DeP 5c). Důležitá je vždy povaha a vlastnosti demarkačního bodu (uzlu).



Obr. 7: Definované pozice demarkačních bodů (DeP) v rámci obecného schéma struktury přístupové sítě a jejího připojení do internetu

Takto definované demarkační body je možné uplatnit i v případě provádění monitorování datového provozu s využitím protokolu SNMP, který mimo jiné umožňuje průběžný sběr vyčíslení příslušného fyzického rozhraní/portu aktivních prvků datovým provozem v rámci souvisejícího demarkačního bodu. Monitorované hodnoty datového provozu odpovídají fyzické vrstvě modelu ISO/OSI (L 1), nebo spojové vrstvě modelu ISO/OSI (L 2).



Obr. 8: Příklad průběhů rychlostí ve směru přicházejícího (*Bits received*) a odcházejícího (*Bits sent*) síťového provozu do peeringového uzlu NIX.CZ příslušného rozhraní hraničního routeru systému MSEK, DeP 1

Úřad může na základě čl. 5(2) Nařízení v případě pochybností o dostatečné kapacitě daného segmentu síťové infrastruktury poskytovatele požadovat poskytnutí informací v podobě výsledků monitoringu síťového provozu v konkrétních demarkačních bodech, a to alespoň v podobě průběhů přicházejícího (*Bits received; incoming*) a odcházejícího (*Bits sent; outgoing*) datového provozu příslušných fyzických rozhraní/portů aktivních prvků souvisejících s daným demarkačním bodem (uzlem) v časovém úseku posledních 30 kalendářních dní, viz obr. 8. Vyčíslení daného demarkačního bodu datovým provozem LU (*link utilization*) je možné stanovit jako podíl průměrného měsíčního přicházejícího (*Bits received; incoming*) a odcházejícího (*Bits sent; outgoing*) síťového provozu obecně označovaného jako LF (*link flow*) příslušných fyzických rozhraní/portů aktivních prvků souvisejících s demarkačním bodem v časovém úseku posledních 30 kalendářních dní, nebo v případě, pokud odpovídá výsledek monitoringu síťového provozu přímo fyzické vrstvě modelu ISO/OSI, označeného NBR (*net bit rate*), a hodnoty celkové kapacity CAP (*link capacity*) příslušného demarkačního bodu ve vzestupném a sestupném směru, přičemž se této problematice věnuje samostatný metodický postup *Metodika pro vyhodnocování dopadu kapacity sítí elektronických komunikací na výkon služeb přístupu k internetu, verze 1.0*:

$$LU_{avg} = \frac{LF_{avg}}{CAP} \cdot 100 \% = \frac{NBR_{avg}}{CAP} \cdot 100 \% \quad (38)$$

V případě, pokud není dostupné v daném demarkačním bodě ethernetové rozhraní včetně I PoE, je nutné využít certifikovaný převodník provozovatele sítě pro realizaci měření (také pro PPPoE). Primárně se použije takový převodník, prostřednictvím kterého je koncovému uživateli aktivována služba přístupu k internetu, nicméně pokud si to situace vyžaduje, je možné využít i jiný převodník, který je pro tuto službu a technologii vhodný. Po zapojení a zapnutí takového převodníku je nutné vyčkat potřebný čas pro dosažení synchronizace a ustáleného stavu v síti (5 minut), případně v součinnosti s provozovatelem sítě.

6. Bezpečnostní úvahy

Jelikož při měření rozšířeného souboru datových parametrů se využívá UDP protokolu na transportní vrstvě modelu ISO/OSI, může být chování měřicího procesu vnímáno síťovými operátory (poskytovateli) jako pokus o DoS či DDoS útok. Proto měření rozšířeného souboru datových parametrů může vyžadovat koordinaci s poskytovatelem internetového připojení.

6.1. Problematika měření v sítích s IPv6 a NAT

Vzhledem k možnosti zapouzdření TCP a UDP protokolů do IPv6 paketu může v dnešní době v síti elektronických komunikací s nativní podporou IPv6 docházet k značnému rozdílu v měření propustnosti TCP datového toku mezi IPv6 a IPv4. Je tedy vhodné ověřit, zda je dostupná IPv6 konektivita a v případě, že ano, provést měření i v situaci, kdy TCP a UDP spojení bude zapouzdřeno do IPv6 paketů.

6.2. Problematika měření v prostředí neveřejných IP adres a stavových firewallů

V případě, že je z nějakého důvodu zamezena možnost inicializace síťového spojení sestupným směrem server („remote“) → klient („local“), je nutné použít takový měřicí nástroj, který umožňuje reverzní inicializaci síťového spojení při měření sestupného směru. Tato situace může nastat např. v sítích elektronických komunikací s NAT nebo s nastaveným stavovým firewalllem, který např. blokuje TCP segment s příznakem SYN (navázání spojení) z vnější strany.

6.3. Postup při chybových stavech

V případě, že při měření dojde k problému (např. s navázáním datového spojení) nebo k zjevně chybovému stavu, je nutné postupovat přiměřeně. Obsluha měřicího zařízení (terminálu) by se měla pokusit určit příčinu daného problému, pokud je to možné, ji odstranit a popř. provést následně opakované měření.

V. Pojmy, definice a zkratky

AP (*access point*) – označuje soustředovací bod na straně přístupové sítě

BB (*bottleneck bandwidth*) – nejnižší hodnota šířky pásma (kapacity) měřené přenosové trasy odpovídající první vrstvě modelu ISO/OSI

BDR – běžně dostupná rychlost, kterou může koncový uživatel předpokládat a reálně dosahovat při stahování a ukládání dat v době odpovídající 95 % času 1 kalendářního dne

CIR (*committed information rate*) – garantovaná minimální informační rychlost odpovídající druhé vrstvě modelu ISO/OSI

CO (*central office*) – centrální místo poskytovatele, prostřednictvím kterého je poskytován přístup internetu (přístup do páteřní sítě)

CAP (*link capacity*) – označuje celkovou kapacitu daného datového spoje v daném směru (uplink nebo downlink). Kapacita většinou souvisí s fyzikálními možnostmi daného datového spojení, nebo s nastavenými limitními hodnotami (skutečnou šířkou pásma v daném směru)

downlink – obecně používané označení pro vzestupný směr přenosu dat a konkrétní vrstvu dle referenčního modelu ISO/OSI, nebo modelu TCP/IP, přičemž je protokolem transportní vrstvy UDP protokol. S ohledem na vlastnosti nespojově orientovaného protokolu transportní vrstvy UDP se používá také označení šířka pásma (*bandwidth*)

Delay – je v případě využití TCP protokolu transportní vrstvy uplynulá doba mezi odesláním prvního bitu segmentu TCP a příjmem posledního bitu odpovídajícího potvrzení

Delay_i – *i*-tá hodnota Delay, která je zaznamenána v rámci kontinuálního měření s periodou 1 s během testu TCP propustnosti

Delay(avg) – průměrná hodnota Delay během testu TCP propustnosti

DeP *x* (*demarcation point x*) – označuje konkrétní demarkační bod jako předávací rozhraní mezi dvěma odlišnými síťovými entitami (páteřní síť, přístupová síť, lokální síť atd.)

DP (*distribution point*) – distribuční bod (uzel) distribuční sítě náležící do množiny přístupové sítě

EIR (*excess information rate*) – přesah informační rychlosti, resp. negarantovaná informační rychlost odpovídající druhé vrstvě modelu ISO/OSI a pokrývající pásmo od horní hranice CIR k maximální hodnotě NBR

ENNI (*external network to network interface*) – rozhraní mezi dvěma poskytovateli služby připojení k síti internet

ENNI-N (*external network to network interface-network side*) – port na aktivním síťovém prvku fyzicky připojeném k rozhraní mezi dvěma poskytovateli služby připojení k síti internet

LF (*link flow*) – označuje vytížení daného datového spoje v daném směru v čase (uplink/downlink), často se udává jako průměrná hodnota v daném sledovaném období

FS (*frame size*) – velikost ethernetového rámce

FTD (*frame transfer delay*) – zpoždění rámců představující časového zpoždění NUT mezi odesláním a příjmem ethernetového rámce

FTD (RTT) – odpovídá uplynulé době mezi odesláním prvního bitu rámce od koncového uživatele směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet a příjmem posledního bitu zpětně odeslaného rámce od poskytovatele služby směrem ke koncovému uživateli

FLR (*frame loss ratio*) – ztrátovost paketů jako poměr všech nedoručených (ztracených) ethernetových rámců k celkovému počtu všech odeslaných ethernetových rámců

FWA (*fixed wireless access*) – bezdrátová síť elektronických komunikací v pevném místě

IFDV (*inter-frame delay variation*) – kolísání zpoždění rámců, často také rozptyl zpoždění, variace zpoždění nebo jitter, představuje rozdíl mezi referenčním časem doručení ethernetového rámce (c_k) a jeho skutečným časem doručení (d_k)

IPDV (*internet protocol packet delay variation*) – kolísání zpoždění IP paketů, často také rozptyl zpoždění, variace zpoždění nebo jitter, představuje rozdíl mezi referenčním časem doručení IP paketu (c_k) a jeho skutečným časem doručení (d_k), a to v souladu s RFC 3393

IPER (*internet protocol packet error ratio*) – chybovost IP paketů jako poměr všech chybně doručených IP paketů k celkovému počtu všech odeslaných IP paketů

IPLR (*internet protocol packet loss ratio*) – ztrátovost IP paketů jako poměr všech nedoručených (ztracených) IP paketů k celkovému počtu všech odeslaných IP paketů

IPSA (*internet protocol service availability*) – dostupnost IP služby v % za rok si lze představit jako datový parametr, který je odvozen na základě znalosti počtu ztracených paketů v průběhu trvání testu, přičemž je jeho délka stanovena standardem ITU-T Y.1540 v rozmezí $\Delta t = \langle 5; 60 \rangle$ s.

IPTD (*internet protocol packet transfer delay*) – zpoždění IP paketu představující časového zpoždění NUT mezi odesláním a příjmem IP paketu

IPTD (RTT) – odpovídá uplynulé době mezi odesláním prvního bitu IP paketu od koncového uživatele směrem k poskytovateli služby přístupu k síti internet a příjmem posledního bitu zpětně odeslaného IP paketu od poskytovatele služby směrem ke koncovému uživateli, a to v souladu s RFC 2681

IPv4/v6 (*internet protocol version 4/version 6*) – je datově orientovaný protokol, který je používán v sítích s přepojováním paketů. Jde o protokol přepravující data bez záruky, negarantuje tedy ani doručení ani zachování pořadí ani vyloučení duplicit. To lze zajistit protokolem transportní vrstvy. V případě IPv4 je standardní velikost záhlaví 20 B, v případě IPv6 je standardní velikost záhlaví 40 B

IR (*information rate*) – hodnota informační rychlosti odpovídající spojové vrstvě modelu ISO/OSI

L x (*layer x*) – konkrétní vrstva modelu ISO/OSI

Delay_{baseline} – označuje nejmenší naměřenou hodnotu Delay během navázaného spojení při úvodním testovacím intervalu NUT nezátížené navázaným TCP spojení

MS – měřicí server

MSEK – Měřicí systém elektronických komunikací, významný informační systém Úřadu

MT – měřicí terminál

MTU (*maximum transmission unit*) – označení pro maximální velikost IP datagramu (TCP segmentu), který je možné vyslat daným síťovým rozhraním

NBR (*net bit rate*) – označuje přenosovou rychlost odpovídající fyzické vrstvě modelu ISO/OSI daného rozhraní s předpokladem využití ethernetového rámce

NI (*network interface*) – port na aktivním síťovém prvku

NNI (*network to network interface*) – rozhraní mezi aktivními síťovými prvky poskytovatele služby připojení k síti internet

NTP (*network termination point*) – koncový bod sítě splňující kritéria specifikovaná v BEREC Pokynech BoR (20) 46

NUT (*network under test*) – označuje testovanou přenosovou trasu

POP (*point of presence*) – demarkační bod mezi dvěma odlišnými typy datových sítí (páteřní a přístupové síť). POP je především infrastruktura, která umožňuje vzdáleným uživatelům připojit se k síti internet

PRBS31 (*pseudorandom binary sequence of length 31*) – specifický typ testovacího signálu používaného pro testování a ověřování digitálních komunikačních systémů. Testovací signál je tvořen sekvencí 31 binárních bitů, které jsou generovány tak, že každý bit je závislý na několika předchozích bitech. To generuje zdánlivě náhodný vzor 1s a 0s, který lze použít k testování funkčnosti a výkonu komunikačních systémů

R_{inzer} – inzerovaná rychlost, tj. rychlost stahování a odesílání, kterou poskytovatel služby přístupu k internetu používá ve svých obchodních sděleních, včetně reklamy a marketingu, v souvislosti s propagací, prodejem nebo dodáním dané služby

R_{max} – maximální rychlost, tj. nejvyšší možná rychlost stahování (download) a odesílání (upload)

R_{min} – minimální rychlost, tj. nejnižší garantovaná rychlost stahování (download) a odesílání (upload)

SDR – skutečně dosahovaná rychlost, tj. TCP propustnost za daný časový interval měření, která odpovídá skutečnému výkonu služby

semi-pevné síť – za semi-pevné síť jsou považovány takové bezdrátové síť, prostřednictvím nich je nabízena služba přístupu k internetu v pevném místě

síťový uzel – seskupení jednoho nebo více síťových elementů (síťových prvků)

t – délka trvání testu obecně (např. v případě testu testB odpovídá hodnotě T_{testB})

TCP aTR – aktuální hodnota TCP propustnosti odpovídající transportní vrstvě modelu ISO/OSI

TCP RWND (TCP *receive window*) – označuje velikost TCP okna na přijímací straně

LU (*link utilization*) – označuje využití daného datového spoje ve formě procentuálního vytížení celkové kapacity daného datového spoje.

UNI (*user network interface*) – rozhraní mezi poskytovatelem služby připojení k síti internet a koncovým účastníkem

UNI-C (*user network interface-customer side*) - port na aktivním síťovém prvku na straně koncového účastníka připojení fyzicky připojený k rozhraní mezi poskytovatelem služby připojení k síti internet a koncovým účastníkem

UNI-N (*user network interface-network side*) - port na aktivním síťovém prvku na straně poskytovatele služby připojení k síti internet fyzicky připojený k rozhraní mezi poskytovatelem a koncovým účastníkem

uplink – obecně používané označení pro sestupný směr přenosu dat a konkrétní vrstvu dle referenčního modelu ISO/OSI, nebo modelu TCP/IP, přičemž je protokolem transportní vrstvy UDP protokol. S ohledem na vlastnosti nespojově orientovaného protokolu transportní vrstvy UDP se používá také označení šířka pásma (*bandwidth*)

VHCN (*very high capacity networks*) - síť elektronických komunikací, která je sestavena zcela z optických prvků přinejmenším do rozvodného bodu v obslužném místě, nebo síť elektronických komunikací, která je schopna za obvyklých podmínek v době provozní špičky dosahovat podobné výkonnosti, jako celo-optické síť, pokud jde o dostupnou šířku pásma pro downlink a uplink, odolnost, parametry související s chybovostí a zpoždění a jeho kolísání. Jedná se o jako určitý typ sítě elektronických komunikací, tj. od koncového bodu sítě/rozvodného bodu v obslužném místě až po peeringový uzel, a nikoli o pouhý segment sítě.

VI. Přílohy

1. Měření pevné nebo semi-pevné sítě elektronických komunikací pro účely kontroly datových parametrů náležících do souboru základních datových parametrů

Příloha č. 1 je určena pro měření datových parametrů v běžném síťovém provozu náležících do souboru základních datových parametrů. Měření podle přílohy č. 1 je určeno pro výkon kompetencí Úřadu ve smyslu kontroly datových parametrů služby přístupu k internetu.

1.1. Popis měřicího scénáře

Měřicí scénář odpovídá měřicímu procesu, který je specifikován v postupu měření. Takto specifikovaný měřicí scénář je Úřadem stanoven pro měření datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací náležících do souboru základních datových parametrů pro účel jejich kontroly. Měřicí scénář i zvolený soubor základních datových parametrů navazuje především na všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, kterým se stanoví podmínky k poskytování služeb elektronických komunikací. Měřicí scénář je také v souladu s BEREC Pokyny BoR (22) 81: *Implementation of the Open internet Regulation* (ve znění souvisejících aktuálně platných Pokynů).

1.2. Volba měřicí metody

Pro účely měření dle stanoveného měřicího scénáře je zvolena měřicí metoda definovaná v metodickém postupu měření, která je založená na doporučení IETF RFC 6349. Při vymezení základního souboru datových parametrů vycházel Úřad především z požadavku na srozumitelnost jednotlivých parametrů z pohledu běžného uživatele služby přístupu k internetu a také Úřad vycházel s ohledem na znění Nařízení a s ním souvisejícím všeobecném oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které definuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování dat (download) a vkládání dat (upload) včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení, a to v rozsahu od bodu předání služby koncovému uživateli (DeP 7, eventuálně DeP 6) po bod přístupu systému MSEK do peeringového uzlu NIX.CZ (DeP 1). V případě stahování dat (download) a vkládání dat (upload) jsou definice rychlostí platné pro každý směr samostatně. Zvolená měřicí metoda bude Úřadem uplatňována v případě kontrolních měření dodržování definovaných rychlostí, a to z hlediska ověření vzniku výpadku služby a velkých odchylek výkonu služby od běžně dostupné rychlosti. Úřadem zvolená měřicí metoda definuje provádění měření výkonu služby přístupu k internetu na transportní vrstvě (L 4) modelu ISO/OSI protokolem TCP (testB).

Ve výjimečných případech, např. pro měření datových parametrů vyhrazených linek, technologie MPLS, v případě potřeby měřit v demarkačních bodech DeP < 6, nebo také v případě vzniku situace, kdy stav NUT neumožňuje použití metody měření dle doporučení IETF RFC 6349 (velká ztrátovost a velké kolísání zpoždění paketů) lze alternativně použít měřicí metodu definovanou standardem ITU-T Y.1564, tj. provádět měření kvalitativních datových parametrů spadajících do souboru rozšířených datových parametrů definovaných v tomto dokumentu. Takto zvolená náhradní metoda definuje provádění měření na spojové vrstvě modelu ISO/OSI (L 2) s využitím nespojově orientovaného UDP protokolu transportní vrstvy (testA) a v kombinaci s výsledky příkazu *tracert* (*traceroute*) doplněné o měření skutečné přenosové rychlosti (aktuální rychlosti) v podobě TCP propustnosti v garantované délce trvání T_{TCP} , nebo s výsledky nástroje dle standardu ITU-T O.150, který využívá místo standardních protokolů pseudonáhodnou binární sekvenci délky 31 (PRBS31), umožní Úřadu dovodit, co je příčinou znemožnění měření dle doporučení IETF RFC 6349, resp. zda stav NUT vykazuje příznaky vzniku velkých odchylek, případně výpadku služby, nebo uplatnění opatření řízení provozu, např. z důvodů nedostatečné kapacity sítě.

1.3. Měřicí sekvence

Měření v pevných nebo semi-pevných sítích elektronických komunikací z hlediska umístění měřicího zařízení (terminálu) odpovídá stacionárnímu měření. Pro všechna měření ve stacionárním bodě je doporučeno provádět opakovaná měření s dostatečnou časovou a provozní diverzitou. Dále je doporučeno provádět tři hlavní, nezávislé, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity, tzn. minimálně jedno měření v provozní špičce a minimálně jedno měření mimo provozní špičku. S ohledem na koncového uživatele a vzhledem k časové náročnosti procesu měření TCP propustnosti je přípustné provést všechny tři hlavní měření v provozní špičce, nebo měření provést s ohledem na definici časové dostupnosti (časového rozměru) běžně dostupné rychlosti. Jedno měření by nemělo přesahovat časový rámec 30 minut, ve kterém proběhne sekvence 3 testů kategorie testB dle části 1.6 postupu měření, případně alternativně sekvence 3 testů kategorie testA dle části 3.1 postupu měření.

Pokud měřicí nástroj neumožňuje nastavení pořadí sekvence testů v doporučené podobě, je možné uvedené pořadí změnit, aniž by byla porušena integrita měření. Stejně tak je možné vypustit obousměrný test TCP propustnosti (krok 5), nebo sekvenci pauz mezi jednotlivými testy (kroky 2, 4 a 6). Minimální přípustná podoba procesu měření TCP propustnosti se musí skládat z jednosměrného vzestupného testu (upload; krok 1) a z jednosměrného sestupného testu (download; krok 3) TCP propustnosti. Možné kombinace realizace minimální přípustné podoby procesu měření závisí především na použitých měřicích nástrojích. Nedoporučuje se při měření využívat tzv. loopback testu, a to ani v případě symetrických NUT.

1.4. Demarkační body

Prvním demarkačním bodem bude v souladu s kapitolou č. 5 metodického postupu specifikujícího demarkační body měření přístup systému MSEK do internetu peeringovým uzlem NIX.CZ, viz. DeP 1 na obr. 7 (alternativně tranzitní konektivitou). Druhý demarkační bod si lze představit v podobě rozhraní/portu síťového uzlu, resp. konkrétního rozhraní/portu aktivního prvku, případně v místě blízkém v rozsahu nepřekračujícím vzdálenost příslušného sousedního demarkačního bodu dle smluvních podmínek, kde bude probíhat měření prostřednictvím měřicího zařízení (terminálu). V rámci měření dle přílohy č. 1 je předpokládán jako druhý demarkační bod DeP 7, viz obr. 7, tj. demarkační bod v podobě rozhraní/portu mezi poskytovatelem služby přístupu k internetu a koncovým uživatelem, resp. v místě koncového bodu sítě (zařízení). Vzhledem k rozmanitosti technologií přístupových sítí a jejich struktuře může být druhým demarkačním bodem v eventuelních případech i DeP 6, například v situaci, kdy je soustředovací bod AP realizován v podobě směrovače (routeru) nebo síťového prepínače (switche).

1.5. Nastavení měřicího terminálu a zahájení procesu měření

Po stanovení měřicí metody, měřicí sekvence a určení demarkačního bodu následuje fyzické zapojení měřicího zařízení (terminálu) do koncového zařízení v koncovém bodě sítě (DeP 7), případně do předávacího rozhraní/portu (DeP 6). V případě koncového zařízení se provedou úkony k zamezení paralelní (křížové) datové komunikace, tzn. deaktivace rozhraní standardu IEEE 802.11 a fyzické zamezení využívání dalších rozhraní (fyzických portů) koncového zařízení odpovídajících standardu IEEE 802.3. Správné zapojení se následně ověří pomocí měřicího zařízení (terminálu), kde je nutné následně provést volbu a nastavení parametrů měřicího rozhraní/portu. Dále je nutné provést další případné nastavení parametrů vyšších síťových vrstev, pokud je to nutné, např. MAC SRC, 802.1Q (802.1ad), IP adresu, masku a bránu měřicího zařízení (terminálu), pokud je neobdrží prostřednictvím DHCP serveru a číslo TCP portu měřicího nástroje na měřicím zařízení (terminálu) i na měřicím serveru, pokud již není přednastaveno. Následně se provedou doporučené kroky před zahájením měřicího procesu specifikované v postupu měření.

V další fázi je nutné provést nastavení vstupních parametrů měřicího nástroje na straně MT. Vstupní parametry měřicího nástroje, resp. sekvence měření, musí vycházet z definovaných

parametrů prezentovaných poskytovateli služeb elektronických komunikací ve svých nabídkách služby přístupu k internetu s ohledem na čl. 4(1), písm. d) Nařízení a s ním souvisejícím všeobecném oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které definuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování dat (download) a vkládání dat (upload) včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu. Vstupní parametry je nutné nastavit dle použitého měřicího nástroje v souladu s částí 1.6.1. definující vstupní parametry sekvence měření, kde je ovšem nutné si dávat pozor, na které vrstvě modelu ISO/OSI a pod jakým označením se do měřicího nástroje zadává vstupní parametr BB. V tomto případě musí platit vztah (30). Dalším klíčovým parametrem je hodnota MTU. Hodnotu MTU měřené přenosové trasy NUT, pokud není známa, je doporučeno identifikovat pomocí dostupných testovacích nástrojů, např. programem pro zachytávání paketů Wireshark, nebo případně nástrojem pracujícím na základě doporučení IETF RFC 4821: *Packetization Layer Path MTU Discovery*.

Na základě nastavení vstupních parametrů měřicího nástroje včetně intervalu měřicí sekvence je možné provést samotný test dle zvolených kroků, nejlépe v doporučeném pořadí, jehož výsledkem jsou naměřené hodnoty souboru základních datových parametrů. Výsledky jednotlivých testů kategorie testB, alternativně testA, se následně uloží v podobě reportů umožňující další strojové zpracování (HTML, CSV atd.) do výsledné podoby záznamu o měření.

1.6. Vyhodnocení výsledku procesu měření

Při vyhodnocování výsledků procesu měření kategorie testB dle přílohy č. 1 bude Úřadem sledováno dodržování definovaných rychlostí, a to z hlediska vzniku výpadku služby a velkých odchylek výkonu služby od běžně dostupné rychlosti. V případě minimální rychlosti (R_{\min}) platí, že se jedná o nejnižší garantovanou rychlost stahování (download) a vkládání (upload) dat, kterou se příslušný poskytovatel služby přístupu k internetu smluvně zavázal koncovému uživateli poskytnout. V případě, že skutečně dosahovaná rychlost (TCP propustnost) klesne pod tuto hodnotu, byť v jednom případě (testu), znamená takový stav výpadek služby (její neposkytování). Pro rychlost stahování dat (download) a současně vkládání dat (upload) by mělo tedy platit:

$$\text{TCP aTR} \geq R_{\min}; [\text{b/s}; \text{b/s}], \quad (39)$$

v opačném případě došlo k výpadku služby přístupu k internetu. Úřad ve všeobecném oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9 zavádí velkou trvajíc a velkou opakující se odchylku skutečného výkonu služby. Obě definované odchylky se odvozují od hodnoty běžně dostupné rychlosti (BDR), která je dvourozměrná, první rozměr je definován v podobě úrovně TCP propustnosti v sestupném (download) a vzestupném (upload) směru a druhý rozměr je definován v podobě časové dostupnosti této úrovně po dobu jednoho kalendářního dne.

Za velkou trvajíc odchylku od běžně dostupné rychlosti (BDR) stahování (download) nebo vkládání (upload) dat se považuje taková odchylka, která vytváří souvislý pokles výkonu služby přístupu k internetu, tj. pokles skutečně dosahované rychlosti odpovídající měřením stanovené TCP propustnosti pod definovanou hodnotu běžně dostupné rychlosti, v intervalu delším než 70 minut, a to během Úřadem prováděného měřicího procesu v časovém úseku 90 minut. Je možné tedy napsat, že pro velkou trvajíc odchylku platí:

$$T_{\text{BDR}} > 70 \text{ min}, \quad (40)$$

kde T_{BDR} označuje délku intervalu překročení hodnoty běžně dostupné rychlosti odpovídající času zahájení měřicího procesu, kdy výsledná hodnota skutečné přenosové rychlosti je nižší než definovaná hodnota běžně dostupné rychlosti. Vzhledem k samotnému procesu měření a jeho jednotlivým krokům bude považovat Úřad za vznik velké trvajíc odchylky případ, kdy pro všechny výsledky testů kategorie testB stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) bude platit podmínka $\text{TCP aTR} < \text{BDR}$. Za velkou opakující se odchylku od běžně dostupné rychlosti stahování (download) nebo vkládání (upload) dat se považuje taková odchylka, při které dojde alespoň ke třem poklesům skutečně dosahované rychlosti odpovídající měřením stanovené TCP propustnosti pod definovanou hodnotu běžně dostupné

rychlosti v intervalu delším nebo rovno 3,5 minutám v časovém úseku 90 minut při Úřadem prováděném měřicím procesu. Pokud tedy označíme čas zahájení testu, při kterém byla překročena hranice BDR, v podobě t_x , kde $x \in \mathbb{N}^+$, a dále použijeme stanovenou délku intervalu samotného testu T_{testB} , je možné tedy napsat, že pro velkou pravidelně se opakující odchylku platí:

$$\exists t_1, t_2, t_3: T_{\text{BDR}} > 3,5 \text{ min} \wedge (t_3 - t_1) \leq (90 \text{ min} - T_{\text{testB}}). \quad (41)$$

Konstatování, zda během měřicího procesu došlo k vzniku výpadku služby nebo k vzniku velkých odchylek jako indikátorů skutečnosti, že výkon služby přístupu k internetu nedosahuje smluvené hodnoty běžně dostupné rychlosti, bude nedílnou součástí záznamu o měření včetně uvedení výsledných hodnot TCP metrik pro jednotlivé výsledky měření TCP propustnosti, a to z důvodu lepšího porozumění, co zapříčinilo případný pokles výkonu služby přístupu k internetu. Z důvodů zjištění výsledné hodnoty zpoždění služby přístupu k internetu, Delay, respektive její průměrné hodnoty Delay(avg), která je součástí souboru základních datových parametrů, je nutné uvést pro každý výsledek měření hodnoty TCP propustnosti hodnotu parametru Delay_{baseline}, která odpovídá nejmenší naměřené hodnotě zpoždění nezatížené navázaným TCP spojením a dále hodnotu TCP metriky Buffer delay (BD), která reprezentuje vztah mezi nárůstem průměrné hodnoty zpoždění Delay(avg) během daného měřicího procesu a výchozí hodnotou zpoždění Delay_{baseline}. Další klíčovou TCP metrikou, která by měla být součástí výsledku každého měření TCP propustnosti, je TCP efficiency (TCP EFF) reprezentující procento úspěšně přenesených bitů bez nutnosti jejich opětovného zaslání. Tato metrika udává představu o chybovosti celého TCP spojení.

Při výsledném vyhodnocení je doporučeno vzít v úvahu výsledky měření z úkonů před zahájením samotného procesu měření, tj. základní ověření stavu např. pomocí dostupných testovacích nástrojů (splňujících metodologii BEREC BoR (22) 72 v platném znění s umístěným serverem v rámci systému MSEK), nebo doplňkového měřicího nástroje umožňující měřit skutečnou přenosovou rychlost (aktuální rychlost), které mohou naznačit očekávané hodnoty a případné řízení provozu, dále výsledky příkazu *tracert* (*traceroute*) se zadáním IP adresy MS v podobě diagnostiky cesty přes jednotlivé demarkační body do systému MSEK. Tyto informace mohou být využity případně v dalších postupech při výkonu kompetencí Úřadu ve smyslu kontroly datových parametrů služby přístupu k internetu, např. s ohledem na zpřístupnění informací o kapacitě částí sítě.

V situaci, kde ve výjimečných případech, např. pro měření datových parametrů vyhrazených linek, technologie MPLS, nebo v případě potřeby měřit v demarkačních bodech DeP < 6, nebo také v případě vzniku situace, kdy stav NUT neumožňuje použití metody měření dle doporučení IETF RFC 6349 (velká ztrátovost a velké kolísání zpoždění rámců, resp. paketů) se musí použít alternativně měřicí metoda (testA) definovaná standardem ITU-T Y.1564, tj. provádět měření kvalitativních datových parametrů spadajících do souboru rozšířených datových parametrů definovaných v tomto dokumentu, se vyhodnocení v případě služby přístupu k internetu provádí na základě výsledků dosažitelné šířky pásma (bandwidth) sítě elektronických komunikací v místě NTP, tj. informační rychlost IR odpovídající spojové vrstvě modelu ISO/OSI ve vzestupném směru (uplink) a ve sestupném směru (downlink). Pokud bude výsledek konfiguračního testu při vstupním parametru CIR + EIR v podobě smluvně definované hodnoty maximální rychlosti (R_{max}) přepočítané na hodnotu odpovídající fyzické vrstvě stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) služby přístupu k internetu v pevném nebo semi-pevném místě menší než smluvně definovaná hodnota běžně dostupné rychlosti, je evidentní, že její hodnota nemůže být z principu fyzikálního chování TCP protokolu dosažitelná a stav NUT zapříčiňuje vznik velkých odchylek výkonu služby, případně výpadku služby. V potaz je nutné vzít také dopad hodnoty ztrátovosti rámců (paketů) měřené při vstupním parametru CIR odpovídajícímu běžně dostupné rychlosti. Pokud je její hodnota vyšší než 3 %, je patrné, že služba přístupu k internetu vykazuje velké odchylky výkonu, které jsou způsobeny buď nedostatečnou kapacitou NUT, nebo uplatněním opatření řízení provozu.

2. Měření pevné nebo semi-pevné sítě elektronických komunikací pro účely kontroly datových parametrů náležících do souboru rozšířených datových parametrů

Příloha č. 2 je určena pro měření datových parametrů v běžném síťovém provozu náležících do souboru rozšířených datových parametrů. Měření podle přílohy č. 2 je určeno pro výkon kompetencí Úřadu ve smyslu kontroly datových parametrů služby přístupu k internetu, je uplatnitelné pro účel kontroly datových parametrů nově budovaných a stávajících NGA sítí, nebo případně k naplnění potřeby Úřadu posuzovat stav stávajících pevných nebo také semi-pevných sítí z hlediska dosahovaných kvalitativních datových parametrů, nebo jejich komplexního stavu s ohledem na koncového uživatele.

2.1. Popis měřicího scénáře

Měřicí scénář odpovídá měřicímu procesu, který je specifikován v postupu měření. Takto specifikovaný měřicí scénář je Úřadem stanoven pro měření datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací náležících do souboru rozšířených datových parametrů pro účel jejich kontroly. Měřicí scénář i zvolený soubor rozšířených datových parametrů navazuje především na všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, kterým se stanoví podmínky k poskytování služeb elektronických komunikací. Měřicí scénář je také v souladu s BEREC Pokyny BoR (22) 81: *Implementation of the Open internet Regulation* (ve znění souvisejících aktuálně platných Pokynů) včetně technické specifikace MEF 23.2: *Carrier Ethernet Class of Service*.

2.2. Volba měřicí metody

Pro účely měření dle stanoveného měřicího scénáře vychází zvolená měřicí metoda z metodického postupu měření, založeném na doporučení IETF RFC 6349 a standardu ITU-T Y.1564. Při vymezení rozšířeného souboru datových parametrů Úřad vycházel ze základního souboru datových parametrů s ohledem na znění Nařízení a s ním související všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které definuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování dat (download) a vkládání dat (upload) včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení, a to v rozsahu od bodu předání služby koncovému uživateli (DeP 7, eventuálně DeP 6) po bod přístupu systému MSEK do peeringového uzlu NIX.CZ (DeP 1). Základní soubor datových parametrů je tak rozšířen o kvalitativní datové parametry, resp. o vzestupnou informační rychlost (uplink; IR_{up}) a sestupnou informační rychlost (downlink; IR_{down}), které charakterizují dosažitelnou šířku pásma (bandwidth) sítě elektronických komunikací v místě NTP pro oba směry datové komunikace, dále o zpoždění rámců (FTD), kolísání zpoždění rámců (IFDV) a ztrátovost rámců (FLR), přičemž jejich stanovení vychází ze standardu ITU-T Y.1564.

Zvolená měřicí metoda bude uplatňována nejen v případě kontrolních měření dodržování definovaných rychlostí, a to z hlediska ověření vzniku výpadku služby a velkých odchylek jako indikátorů skutečnosti, že výkon služby nedosahuje smluvených parametrů, ale i z hlediska ověření reálné dosažitelnosti definované maximální rychlosti, resp. skutečnosti, zda šířka pásma (bandwidth) v daném NTP odpovídá definované maximální rychlosti, což lze uplatnit i v případě kontroly dosažení kvalitativních datových parametrů ve srovnání s technickou specifikací MEF 23.2 kategorie Performace Tier 2 (Regional) pro účely kontroly parametrů nově budovaných a stávajících NGA sítí, nebo případně k naplnění potřeby Úřadu posuzovat stav stávajících pevných nebo semi-pevných sítí z hlediska dosahovaných kvalitativních datových parametrů, nebo jejich komplexního stavu s ohledem na koncového uživatele. Měřicí metoda kombinuje provádění měření na transportní vrstvě modelu ISO/OSI (L 4) protokolem TCP (testB) a měření na spojové vrstvě modelu ISO/OSI (L 2) s využitím protokolu UDP na transportní vrstvě pro měření doplňujících kvalitativních datových parametrů v rámci souboru rozšířených datových parametrů (testC). Nedílnou součástí použité měřicí metody jsou doporučené kroky před zahájením měřicího procesu.

2.3. Měřicí sekvence

Je doporučeno provádět opakovaná měření s dostatečnou časovou a provozní diverzitou. Je tedy doporučeno provádět tři hlavní, nezávislé, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity, tzn. minimálně jedno měření v provozní špičce a minimálně jedno měření mimo provozní špičku. S ohledem na koncového uživatele a vzhledem k časové náročnosti procesu měření TCP propustnosti, navíc rozšířeného o proces měření kvalitativních datových parametrů, je přípustné provést všechny tři hlavní měření v provozní špičce, nebo měření provést s ohledem na definici časové dostupnosti (časového rozměru) běžně dostupné rychlosti (zatížené sítě). V případě nově vybudovaných pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací (nezatížené pevné sítě) je možné provádět všechny tři hlavní měření i mimo provozní špičku. Jedno měření by nemělo přesahovat časový rámec 30 minut, ve kterém proběhne sekvence tří testů základních (testB) vycházejících z doporučení IETF RFC 6349 a jednoho testu doplňujícího (testC) vycházejícího ze standardu ITU-T Y.1564.

Pokud měřicí nástroj neumožňuje nastavení pořadí sekvence testů v doporučené podobě, je možné uvedené pořadí změnit, aniž by byla porušena integrita měření. Stejně tak je možné vypustit obousměrný test TCP propustnosti (krok 5), nebo sekvenci pauz mezi jednotlivými testy (kroky 2, 4, 6 a 8). Minimální přípustná podoba procesu měření rozšířeného souboru datových parametrů se musí skládat z jednosměrného vzestupného testu (upload; krok 1), z jednosměrného sestupného testu (download; krok 3) TCP propustnosti a z obousměrného testu kvalitativních datových parametrů dle standardu ITU-T Y.1564 (uplink + downlink; krok 7). Možné kombinace realizace minimální přípustné podoby procesu měření závisí především na použitých měřicích nástrojích. Nedoporučuje se při měření využívat tzv. loopback testu, a to ani v případě symetrických NUT.

2.4. Demarkační body

Prvním demarkačním bodem bude v souladu s kapitolou č. 5 metodického postupu specifikujícího demarkační body měření přístup systému MSEK do internetu peeringovým uzlem NIX.CZ, viz. DeP 1 na obr. 7 (alternativně tranzitní konektivitou). Druhý demarkační bod si lze představit v podobě rozhraní/portu síťového uzlu, resp. konkrétního rozhraní/portu aktivního prvku, případně v místě blízkém v rozsahu nepřekračujícím vzdálenost příslušného sousedního demarkačního bodu dle smluvních podmínek, kde bude probíhat měření prostřednictvím měřicího zařízení (terminálu). V rámci měření dle přílohy č. 2 je předpokládán jako druhý demarkační bod DeP 7, viz obr. 7, tj. demarkační bod v podobě rozhraní/portu mezi poskytovatelem služby přístupu k internetu a koncovým uživatelem, resp. v místě koncového bodu sítě (zařízení). Vzhledem k rozmanitosti technologií přístupových sítí a jejich struktuře může být druhým demarkačním bodem v eventuelních případech i DeP 6, například v situaci, kdy je soustředovací bod AP realizován v podobě směrovače (routeru) nebo síťového prepínače (switche).

2.5. Nastavení měřicího terminálu a zahájení procesu měření

Po stanovení měřicí metody, měřicí sekvence a určení demarkačního bodu následuje fyzické zapojení měřicího zařízení (terminálu) do koncového zařízení v koncovém bodě sítě (DeP 7), případně do předávacího rozhraní/portu (DeP 6). V případě koncového zařízení se provedou úkony k zamezení paralelní (křížové) datové komunikace, tzn. deaktivace rozhraní standardu IEEE 802.11 a fyzické zamezení využívání dalších rozhraní (portů) koncového zařízení odpovídajících standardu IEEE 802.3. Správné zapojení se následně ověří pomocí měřicího zařízení (terminálu), kde je nutné následně provést volbu a nastavení parametrů měřicího rozhraní/portu. Dále je nutné provést další případné nastavení parametrů vyšších síťových vrstev, pokud je to nutné, např. MAC SRC, 802.1Q (802.1ad), IP adresu, masku a bránu měřicího zařízení (terminálu), pokud je neobdrží prostřednictvím DHCP serveru a číslo TCP portu měřicího nástroje na měřicím zařízení (terminálu) i na měřicím serveru, pokud již není přednastaveno. Následně se provedou doporučené kroky před zahájením měřicího procesu specifikované v postupu měření.

V další fázi je nutné provést nastavení vstupních parametrů měřicího nástroje na straně MT. Vstupní parametry měřicího nástroje, resp. sekvence měření, musí vycházet z definovaných parametrů prezentovaných poskytovateli služeb elektronických komunikací ve svých nabídkách služby přístupu k internetu s ohledem na čl. 4(1), písm. d) Nařízení a s ním související všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které definuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování (download) a vkládání (upload) dat včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu. Vstupní parametry je nutné nastavit dle použitého měřicího nástroje, a to v případě doporučení IETF RFC 6349 v souladu s částí 1.6.1. definující vstupní parametry sekvence měření, kde je ovšem nutné si dávat pozor, na které vrstvě modelu ISO/OSI a pod jakým označením se do měřicího nástroje zadává vstupní parametr BB. V tomto případě musí platit vztah (30). V případě měřicího nástroje odpovídajícího standardu ITU.T Y.1564 nastavit vstupní parametry v souladu s částí 2.1.1. V tomto případě musí platit vztahy (33) a (34). Dalším klíčovým parametrem je hodnota MTU. Hodnotu MTU měřené přenosové trasy NUT, pokud není známa, je doporučeno identifikovat pomocí dostupných testovacích nástrojů, např. programem pro zachytávání paketů Wireshark, nebo případně nástrojem pracujícím na základě doporučení IETF RFC 4821: *Packetization Layer Path MTU Discovery*. Výsledek určení hodnoty MTU je součástí dalšího vstupního parametru měřicího nástroje (standard ITU.T Y.1564), respektive velikosti ethernetového rámce FS dle vztahu (35).

Na základě nastavení vstupních parametrů měřicích nástrojů včetně intervalu měřicí sekvence je možné provést samotný test dle zvolených kroků, nejlépe v doporučeném pořadí, jehož výsledkem jsou naměřené hodnoty souboru rozšířených datových parametrů. Výsledky jednotlivých testů kategorie testB a testC se následně uloží v podobě reportů umožňující další strojové zpracování (HTML, CSV atd.) do výsledné podoby záznamu o měření.

2.6. Vyhodnocení výsledku procesu měření

Při vyhodnocování výsledků procesu měření dle přílohy č. 2 části kategorie testB bude Úřadem sledováno dodržování definovaných rychlostí, a to z hlediska vzniku výpadku služby a velkých odchylek výkonu služby od běžně dostupné rychlosti (BDR). V případě minimální rychlosti (R_{\min}) platí, že se jedná o nejnižší garantovanou rychlost stahování dat (download) a vkládání dat (upload), kterou se příslušný poskytovatel služby přístupu k internetu smluvně zavázal koncovému uživateli poskytnout. V případě, že skutečně dosahovaná rychlost (TCP propustnost) klesne pod tuto hodnotu, byť v jednom případě (testu), znamená takový stav výpadek služby. Pro rychlost stahování dat (download) a současně vkládání dat (upload) by mělo tedy platit:

$$TCP\ aTR \geq R_{\min}; [b/s; b/s], \quad (39)$$

v opačném případě došlo k výpadku služby přístupu k internetu. Úřad ve všeobecném oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9 zavádí velkou trvajíc a velkou opakující se odchylku skutečného výkonu služby. Obě definované odchylky se odvozují od hodnoty běžně dostupné rychlosti, která je dvourozměrná, první rozměr je definován v podobě úrovně TCP propustnosti v sestupném (download) a vzestupném (upload) směru a druhý rozměr je definován v podobě časové dostupnosti této úrovně po dobu jednoho kalendářního dne.

Za velkou trvajíc odchylku od běžně dostupné rychlosti stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) se považuje taková odchylka, která vytváří souvislý pokles výkonu služby přístupu k internetu, tj. pokles skutečně dosahované rychlosti odpovídající měřením stanovené TCP propustnosti pod definovanou hodnotu běžně dostupné rychlosti v intervalu delším než 70 minut, a to během Úřadem prováděného měřicího procesu v časovém úseku 90 minut. Je možné tedy napsat, že pro velkou trvajíc odchylku platí:

$$T_{BDR} > 70\ \text{min}, \quad (40)$$

kde T_{BDR} označuje délku intervalu překročení hodnoty běžně dostupné rychlosti odpovídající času zahájení měřicího procesu, kdy výsledná hodnota skutečné přenosové rychlosti je nižší než definovaná hodnota běžně dostupné rychlosti. Vzhledem k samotnému procesu měření

a jeho jednotlivým krokům bude považovat Úřad za vznik velké trvající odchylky případ, kdy pro všechny výsledky testů kategorie testB stahování (download) nebo vkládání (upload) dat bude platit podmínka $TCP\ aTR < BDR$.

Za velkou opakující se odchylku od běžně dostupné rychlosti stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) se považuje taková odchylka, při které dojde alespoň ke třem poklesům skutečně dosahované rychlosti odpovídající měřením stanovené TCP propustnosti pod definovanou hodnotu běžně dostupné rychlosti v intervalu delším nebo rovno 3,5 minutám v časovém úseku 90 minut při Úřadem prováděném měřicím procesu. Pokud tedy označíme čas zahájení testu, při kterém byla překročena hranice běžně dostupné rychlosti, v podobě t_x , kde $x \in \mathbb{N}^+$, a dále použijeme stanovenou délku intervalu samotného testu T_{testB} , je možné tedy napsat, že pro velkou pravidelně se opakující odchylku platí:

$$\exists t_1, t_2, t_3: T_{BDR} > 3,5 \min \wedge (t_3 - t_1) \leq (90 \text{ min} - T_{testB}). \quad (41)$$

Konstatování, zda během měřicího procesu došlo k vzniku výpadku služby nebo k vzniku velkých odchylek jako indikátorů skutečnosti, že výkon služby přístupu k internetu nedosahuje smluvené hodnoty běžně dostupné rychlosti, bude nedílnou součástí záznamu o měření včetně uvedení výsledných hodnot TCP metrik pro jednotlivé výsledky měření TCP propustnosti, a to z důvodu lepšího porozumění, co zapříčinilo případný pokles výkonu služby přístupu k internetu. Z důvodů zjištění výsledné hodnoty zpoždění služby přístupu k internetu, Delay, respektive její průměrné hodnoty Delay(avg), která je součástí souboru základních datových parametrů, je nutné uvést pro každý výsledek měření hodnoty TCP propustnosti hodnotu parametru Delay_{baseline}, která odpovídá nejmenší naměřené hodnotě zpoždění nezátíženým navázaným TCP spojením a dále hodnotu TCP metriky Buffer delay (BD), která reprezentuje vztah mezi nárůstem průměrné hodnoty zpoždění Delay(avg) během daného měřicího procesu a výchozí hodnotou zpoždění Delay_{baseline}. Další klíčovou TCP metrikou, která by měla být součástí výsledku každého měření TCP propustnosti, je TCP efficiency (TCP EFF) reprezentující procento úspěšně přenesených bitů bez nutnosti jejich opětovného zaslání. Tato metrika udává představu o chybovosti celého TCP spojení.

Při vyhodnocování výsledků procesu měření dle přílohy č. 2 části kategorie testC je nutné také posoudit naměřené kvalitativní datové parametry náležící do souboru rozšířených datových parametrů pevných sítí elektronických komunikací, a to v případě ověření reálné dosažitelnosti definované maximální rychlosti, resp. skutečnosti, zda šířka pásma (bandwidth) v daném koncovém bodě (zařízení) odpovídá definované maximální rychlosti, což lze uplatnit i pro účel kontroly dosažení kvalitativních datových parametrů ve srovnání s technickou specifikací MEF 23.2 kategorie Performance Tier 2 (Regional) v případě kontroly parametrů nově budovaných a stávajících NGA sítí, nebo případně k naplnění potřeby Úřadu posuzovat stav stávajících pevných nebo semi-pevných sítí z hlediska dosahovaných kvalitativních datových parametrů, nebo komplexního stavu sítě elektronických komunikací s ohledem na koncového uživatele.

Maximální rychlost je definována ve všeobecném oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, kterým se stanoví podmínky k poskytování služeb elektronických komunikací, jako rychlost odpovídající stahování (download) a vkládání (upload) dat, která musí být stanovena realisticky s ohledem na použitou technologii a její přenosové možnosti a s ohledem na konkrétní podmínky nasazení, které jsou pro směr download a upload limitující. Maximální rychlost musí být na dané přípojce či v daném místě připojení reálně dosažitelná s možnou variancí způsobenou prokazatelně pouze fyzikálními vlastnostmi daného koncového bodu. Informace o možné varianci a jejích fyzikálních příčinách musí být uvedena v účastnické smlouvě. Ověření reálné dosažitelnosti definované maximální rychlosti se provádí prostřednictvím měření skutečné šířky pásma, přičemž je s ohledem na vlastnosti rozhraní koncových zařízení odpovídajících standardu IEEE 802.3u (NBR = 100 Mbit/s), případně IEEE 802.3ab (NBR = 1000 Mbit/s), zavedena tolerance v podobě 95 % definované hodnoty maximální rychlosti (L 2) z důvodů eliminace režijních nákladů jednotlivých vrstev modelu ISO/OSI:

$$R_{\max}(L\ 4) \rightarrow R_{\max}(L\ 2) \geq 95\ \% \text{ IR}_{CIR+EIR}, \quad (42)$$

kde $IR_{CIR+EIR}$ je výsledná hodnota informační rychlosti v případě konfiguračního testu při vstupní podmínce $CIR + EIR = R_{max}$. V případě koncových bodů, které prokazatelně vykazují vlivem působících fyzikálních jevů varianci šířky pásma $D(X)$, lze tolerovanou úroveň skutečné šířky pásma procentuálně odvozené od definované maximální rychlosti stanovit na základě normálního rozdělení. Protože výsledek všech působících fyzikálních vlastností v koncovém bodě s dopadem na výslednou hodnotu maximální rychlosti může nabýt teoreticky jakékoliv hodnoty z určitého intervalu, je možné označit maximální rychlost obecně jako náhodnou veličinu se spojitým rozdělením. Takováto náhodná veličina je popisována pravděpodobnostní funkcí, která každé možné reálné hodnotě x přiřazuje pravděpodobnost, že náhodná veličina X , tj. maximální rychlost, nabude hodnoty $p(x) = P(X = x)$, přičemž je tato pravděpodobnostní funkce charakterizována hustotou pravděpodobnosti $f(x)$. Důležitým faktorem pro stanovení tolerance je nepřímo úměrná závislost maximálních hodnot hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení $f(x)$ na hodnotě maximální rychlosti ($L 2$), respektive na střední hodnotě $E(x) = \mu$, kdy konstanta nepřímé úměrnosti odpovídá hodnotě $k = 2,5563$, a to s přesností odpovídající metodě nejmenších čtverců $R^2 = 100\%$. Tohoto zjištění lze využít pro zjednodušení výpočtu hodnoty variance $D(x)$, resp. směrodatné odchylky σ :

$$f(x = \mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} = \frac{2,5563}{R_{max}(L 2)} \Rightarrow \frac{R_{max}(L 2)}{\sqrt{2\pi}\sigma} = 2,5563 \Rightarrow \frac{R_{max}(L 2)}{2,5563} = \sqrt{2\pi}\sigma \Rightarrow$$

$$\sigma = \frac{R_{max}(L 2)}{2,5563\sqrt{2\pi}} \doteq \frac{R_{max}(L 2)}{6,408}. \quad (43)$$

Výslednou procentuální podobu hodnoty poměru tolerované hodnoty naměřené informační rychlosti $IR_{CIR+EIR}$ (reálně dosažitelné šířky pásma) a maximální rychlosti ($L 2$) odpovídající tolerované úrovni $\mu - \sigma$ lze odvodit ze zjednodušeného vyjádření směrodatné odchylky σ :

$$\frac{IR_{CIR+EIR}}{R_{max}(L 2)} = \frac{\mu - \sigma}{\mu} \Rightarrow \frac{R_{max}(L 2) - \frac{R_{max}(L 2)}{6,408}}{R_{max}(L 2)} = \frac{R_{max}(L 2)}{R_{max}(L 2)} - \frac{R_{max}(L 2)}{6,408 \cdot R_{max}(L 2)} =$$

$$= 1 - \frac{1}{6,408} = 84,39\% \doteq 84\%. \quad (44)$$

Při ověřování reálné dosažitelnosti definované maximální rychlosti, která vykazuje variaci způsobenou prokazatelně pouze fyzikálními vlastnostmi daného koncového bodu, přičemž informace o možné variaci a jejích fyzikálních příčinách musí být uvedena v účastnické smlouvě, lze použít tolerovanou hodnotu reálně dosažitelné

y pásma rovnající se 84 % smluvně definované maximální rychlosti.

Proces měření podle přílohy č. 2 je uplatnitelný také pro účel kontroly datových parametrů NGA sítí, nebo případně k naplnění potřeby Úřadu posouzení stávajících pevných sítí z hlediska dosahovaných kvalitativních datových parametrů. Z důvodů umístění měřicího serveru jako součásti systému MSEK s přístupem do internetu prostřednictvím peeringového uzlu NIX.CZ, případně tranzitní konektivitou, viz DeP 1 na obr. 7, a z důvodů samotné rozlohy České republiky, se Úřad rozhodl doporučit použití pro vyhodnocování výsledků procesu měření kvalitativních datových parametrů hodnoty uvedené v technické specifikaci MEF 23.2, Performance Tier 2 (Regional), odpovídající vzdálenostem menším než 1200 km, přičemž hodnoty konkrétních CoS v podobě použitelných kvalitativních tříd jsou uvedeny v tabulkách tab. 1, tab. 2 a tab. 3.

Tabulky tab. 1, tab. 2 a tab. 3 bude Úřad používat pro svoje interní účely klasifikace sítí podle vykazovaných hodnot jejich kvalitativních datových parametrů. Konstatování, zda během měřicího procesu byla splněna stanovená kritéria kategorie Performance Tier 2 (Regional) vybraných tříd CoS dle MEF 23.2, bude nedílnou součástí záznamu o měření.

Tab. 1: Kategorie Performance Tier 2 (Regional) třídy CoS High dle MEF 23.2

Kvalitativní datový parametr	Požadovaná hodnota
FTD – zpoždění rámců ¹	≤ 25 ms
IFDV – kolísání zpoždění rámců	≤ 8 ms
FLR – ztrátovost rámců	≤ 0,01 %

Tab. 2: Kategorie Performance Tier 2 (Regional) třídy CoS Medium dle MEF 23.2

Kvalitativní datový parametr	Požadovaná hodnota
FTD – zpoždění rámců ¹	≤ 75 ms
IFDV – kolísání zpoždění rámců	≤ 40 ms
FLR – ztrátovost rámců	≤ 0,01 %

Tab. 3: Kategorie Performance Tier 2 (Regional) třídy CoS Low dle MEF 23.2

Kvalitativní datový parametr	Požadovaná hodnota
FTD – zpoždění rámců ¹	≤ 125 ms
IFDV – kolísání zpoždění rámců	N/S
FLR – ztrátovost rámců	≤ 0,1 %

Při výsledném vyhodnocení je doporučeno vzít v úvahu výsledky měření z úkonů před zahájením samotného procesu měření, tj. základní ověření stavu např. pomocí dostupných testovacích nástrojů (splňujících metodologii BEREC BoR (22) 72 v platném znění s umístěným serverem v rámci systému MSEK), nebo doplňkového měřicího nástroje umožňující měřit skutečnou přenosovou rychlost (aktuální rychlost), které mohou naznačit očekávané hodnoty a případné řízení provozu, dále výsledky příkazu *tracert* (*traceroute*) se zadáním IP adresy MS v podobě diagnostiky cesty přes jednotlivé demarkační body do systému MSEK. Tyto informace mohou být využity případně v dalších postupech při výkonu kompetencí Úřadu ve smyslu kontroly datových parametrů služby přístupu k internetu, např. s ohledem na zpřístupnění informací o kapacitě částí sítě.

¹ Zpoždění rámců FD je v rámci technické specifikace MEF 23.2 definováno jako výsledná hodnota typu měření „end-to-end“. V případě měřicího procesu Úřadu dle přílohy 2 bude sledována jeho dvojnásobná hodnota, resp. FD (RTT).

3. Měření pevné nebo semi-pevné sítě elektronických komunikací pro účely kontroly datových parametrů náležících do souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN

Příloha č. 3 je určena pro měření datových parametrů v běžném síťovém provozu náležících do souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN. Měření podle přílohy č. 3 je určeno pro výkon kompetencí Úřadu ve smyslu kontroly VHCN datových parametrů služby přístupu k internetu, rovněž je uplatnitelné pro účel kontroly datových parametrů nově budovaných a stávajících VHCN, nebo případně k naplnění potřeby Úřadu posuzovat stav stávajících pevných nebo také semi-pevných sítí z hlediska dosahovaných výkonnostních datových parametrů vzhledem ke kritériím stanovených pro VHCN (BEREC).

3.1. Popis měřicího scénáře

Měřicí scénář odpovídá měřicímu procesu, který je specifikován v postupu měření. Takto specifikovaný měřicí scénář je Úřadem stanoven pro měření datových parametrů pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací náležících do souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN pro účel jejich kontroly. Měřicí scénář i zvolený soubor datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN vychází z aktuálně platných Pokynů BEREC VHCN a standardu ITU-T Y.1540. Pokyny BEREC VHCN definují kvalitativní datové parametry VHCN, jedná se o vzestupnou IP propustnost (uplink; $IP TR_{up}$) a sestupnou IP propustnost (downlink; $IP TR_{down}$), které charakterizující zatížení šířky pásma NUT pro oba směry datové komunikace během procesu měření zpoždění IP paketů IPTD, kolísání zpoždění IP paketů IPLR, chybovosti IP paketů IPER, ztrátovosti IP paketů IPLR a dostupnosti IP služby IPAS, přičemž během procesu měření bude dle standardu ITU-T Y.1540 použito na transportní vrstvě ISO/OSI modelu nespojově orientovaného protokolu UDP. Pokyny BEREC VHCN rozdělují prahové hodnoty výkonnostních kritérií zvlášť pro pevné a bezdrátové sítě elektronických komunikací. Samotná šířka pásma bude dle Pokynů BEREC VHCN ověřována v podobě měření datové přenosové rychlosti odpovídající transportní vrstvě modelu ISO/OSI při použití spojově orientovanému protokolu TCP, a to v souladu s BEREC Pokyny BoR (22) 81: *Implementation of the Open internet Regulation* (ve znění aktuálně platných Pokynů).

3.2. Volba měřicí metody

Pro účely měření dle stanoveného měřicího scénáře vychází zvolená měřicí metoda z metodického postupu měření, založeném na doporučení IETF RFC 6349 a současně na standardu ITU-T Y.1540. Při vymezení souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN v případě pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací vycházel Úřad v souladu s Pokyny BEREC VHCN ze základního souboru datových parametrů s ohledem na znění Nařízení a s ním související všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které definuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování dat (download) a vkládání dat (upload) včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu dle čl. 4(1) písm. d) Nařízení, rozšířeného o měření kvalitativních datových parametrů VHCN, a to v podobě rozšíření o vzestupnou IP propustnost (uplink; $IP TR_{up}$) a sestupnou IP propustnost (downlink; $IP TR_{down}$), které charakterizující zatížení šířky pásma NUT pro oba směry datové komunikace během procesu měření zpoždění IP paketů (IPTD), kolísání zpoždění IP paketů (IPLR), chybovosti IP paketů (IPER), ztrátovosti IP paketů (IPLR) a dostupnosti IP služby (IPAS).

Zvolená měřicí metoda bude uplatňována v případě kontrolních měření pro posouzení, zda daná síťová infrastruktura (NUT) dosahuje výkonnostních kritérií VHCN dle aktuálně platných Pokynů BEREC VHCN, které jsou specifikované pro pevné a semi-pevné sítě elektronických komunikací, jak pro účely kontroly datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN stávající síťové infrastruktury, tak i nově budované. Měřicí metoda definuje stejně jako v případě postupu měření souboru základních datových parametrů provádění třech hlavních, nezávislých, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity. Nedílnou součástí použité měřicí metody jsou doporučené kroky před zahájením měřicího procesu.

3.3. Měřicí sekvence

Je doporučeno provádět opakovaná měření s dostatečnou časovou a provozní diverzitou. Dále je doporučeno provádět tři hlavní, nezávislé, měření včetně dodržení dostatečné časové diverzity, tzn. minimálně jedno měření v provozní špičce a minimálně jedno měření mimo provozní špičku. S ohledem na koncového uživatele a vzhledem k časové náročnosti procesu měření s možností kombinace s postupem měření souboru základních datových parametrů, je přípustné provést všechny tři hlavní měření v provozní špičce, nebo měření provést s ohledem na definici časové dostupnosti běžně dostupné rychlosti (doba provozní špičky). V případě nově vybudovaných pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací je možné provádět všechny tři hlavní měření i mimo provozní špičku. Jedno měření by nemělo přesahovat časový rámec 30 minut, ve kterém je vymezen časový prostor pro sekvenci tří základních testů (*basic test*, „testB“) vycházejících z doporučení IETF RFC 6349 a pro jeden test kvalitativních datových parametrů VHCN kategorie testVHCN vycházejícího ze standardu ITU-T Y.1540. Pokud měřicí nástroj v tomto případě neumožňuje nastavení pořadí sekvence testů v doporučené podobě, je možné uvedené pořadí změnit, aniž by byla porušena integrita měření. Stejně tak je možné vypustit obousměrný test TCP propustnosti (krok 5), nebo sekvenci pauz mezi jednotlivými testy (kroky 2, 4, 6 a 8). Minimální přípustná podoba procesu měření datových parametrů náležících do souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN se musí skládat z jednosměrného vzestupného testu (upload; krok 1), z jednosměrného sestupného testu (download; krok 3) TCP propustnosti a z obousměrného testu kvalitativních datových parametrů náležících do souboru datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN dle standardu ITU-T Y.1540 (uplink + downlink; krok 7). Možné kombinace realizace minimální přípustné podoby procesu měření vždy závisí především na použitých měřicích nástrojích. Nedoporučuje se při měření využívat tzv. loopback testu, a to ani v případě symetrických NUT.

3.4. Demarkační body

Prvním demarkačním bodem bude v souladu s kapitolou č. 5 metodického postupu specifikujícího demarkační body měření přístup systému MSEK do internetu peeringovým uzlem NIX.CZ, viz. DeP 1 na obr. 7 (alternativně tranzitní konektivitou). Druhý demarkační bod si lze představit v podobě rozhraní/portu síťového uzlu, resp. konkrétního rozhraní/portu aktivního prvku, případně v místě blízkém v rozsahu nepřekračujícím vzdálenost příslušného sousedního demarkačního bodu dle smluvních podmínek, kde bude probíhat měření prostřednictvím měřicího zařízení (terminálu). V rámci měření dle přílohy č. 3 je předpokládán jako druhý demarkační bod DeP 7, viz obr. 7, tj. demarkační bod v podobě rozhraní/portu mezi poskytovatelem služby přístupu k internetu a koncovým uživatelem, resp. v místě koncového bodu sítě (zařízení). Vzhledem k rozmanitosti technologií přístupových sítí a jejich struktuře může být druhým demarkačním bodem v eventuelních případech i DeP 6, například v situaci, kdy je soustředovací bod AP realizován v podobě směrovače (routeru) nebo síťového přepínače (switchu).

3.5. Nastavení měřicího terminálu a zahájení procesu měření

Po stanovení měřicí metody, měřicí sekvence a určení demarkačního bodu následuje fyzické zapojení měřicího zařízení (terminálu) do koncového zařízení v koncovém bodě sítě (DeP 7), případně do předávacího rozhraní/portu (DeP 6). V případě koncového zařízení se provedou úkony k zamezení paralelní (křížové) datové komunikace, tzn. deaktivace rozhraní standardu IEEE 802.11 a fyzické zamezení využívání dalších rozhraní (portů) koncového zařízení odpovídajících standardu IEEE 802.3. Správnost zapojení se následně ověří pomocí měřicího zařízení (terminálu), kde je nutné následně provést volbu a nastavení parametrů měřicího rozhraní/portu. Dále je nutné provést další případné nastavení parametrů vyšších síťových vrstev, pokud je to nutné, např. MAC SRC, 802.1Q (802.1ad), IP adresu, masku a bránu měřicího zařízení (terminálu), pokud je neobdrží prostřednictvím DHCP serveru a číslo TCP portu měřicího nástroje v případě nástroje RFC 6349 na měřicím zařízení (terminálu) i na měřicím serveru, pokud již není přednastaveno. Následně se provedou doporučené kroky před

zahájením měřicího procesu specifikované v postupu měření. V další fázi je nutné provést nastavení vstupních parametrů měřicího nástroje na straně MT. Vstupní parametry měřicího nástroje, resp. sekvence měření, musí vycházet z definovaných parametrů prezentovaných poskytovateli služeb elektronických komunikací s ohledem na čl. 4(1), písm. d) Nařízení a s ním související všeobecné oprávnění č. VO-S/1/08.2020-9, které definuje podmínky smluvního garantování rychlosti stahování dat (download) a vkládání dat (upload) včetně vzniku velkých odchylek výkonu služby přístupu k internetu. Vstupní parametry je nutné nastavit dle použitého měřicího nástroje, a to v případě standardu ITU-T Y.1540 v souladu s částí 4.1.1. definující vstupní parametry sekvence měření, kde je ovšem nutné si dávat pozor, na které vrstvě modelu ISO/OSI a pod jakým označením se do měřicího nástroje zadává vstupní parametr CIR. V tomto případě musí platit vztah (33). V případě použití měřicího nástroje dle doporučení IETF RFC 6349 je nutné vstupní parametry nastavit v souladu s částí 1.6.1. definující vstupní parametry sekvence měření, kde je ovšem nutné si dávat pozor, na které vrstvě modelu ISO/OSI a pod jakým označením se do měřicího nástroje zadává vstupní parametr BB. V tomto případě musí platit vztah (30).

Dalším klíčovým parametrem je kromě typu IP protokolu hodnota MTU. Hodnotu MTU měřené přenosové trasy NUT, pokud není známa, je doporučeno identifikovat pomocí dostupných testovacích nástrojů, např. programem pro zachytávání paketů Wireshark, nebo případně nástrojem pracujícím na základě doporučení IETF RFC 4821: *Packetization Layer Path MTU Discovery*. Výsledek určení hodnoty MTU odpovídá dalšímu vstupnímu parametru měřicího nástroje dle standardu ITU-T Y.1540 (35).

Na základě nastavení vstupních parametrů měřících nástrojů, včetně intervalu měřicí sekvence, je možné provést samotný test dle zvolených kroků, nejlépe v doporučeném pořadí, jehož výsledkem jsou naměřené hodnoty souboru datových parametrů tvořících kritéria výkonnosti VHCN. Výsledky jednotlivých testů kategorie testB a kategorie testVHCN, se následně uloží v podobě reportů umožňující další strojové zpracování (HTML, CSV atd.) do výsledné podoby záznamu o měření.

3.6. Vyhodnocení výsledku procesu měření

Při vyhodnocování výsledků procesu měření dle přílohy č. 3, části testu kategorie testB a kategorie testVHCN, bude Úřadem sledováno dodržování definovaných prahových hodnot datových parametrů tvořících kritéria výkonnosti VHCN dle aktuálně platného znění Pokynů BEREK VHCN, pokud není stanoveno jinak, viz tab. 4, případně tab. 5, pokud je uvedeno. V případě kritérií výkonnosti VHCN je nutné posuzovat síť elektronických komunikací podle základního rozdělení na pevné VHCN síť a bezdrátové VHCN síť.

V případě pevných nebo semi-pevných sítí elektronických komunikací bude měření datových parametrů tvořících kritéria výkonnosti VHCN bude výsledný proces měření kombinovat sekvenci tří základních testů kategorie testB vycházejících z doporučení IETF RFC 6349 a jednoho testu výkonnosti VHCN kategorie testVHCN. Jeden test kategorie testB musí garantovat celkovou délku měření TCP propustnosti včetně časové náročnosti procesu zpracování výsledků měření splňující podmínku uvedenou ve vztahu (29), přičemž vstupní hodnota CIR měřicího nástroje odpovídá hodnotě maximální rychlosti služby dle vztahu (30). Při vyhodnocování výsledků procesu měření základního testu kategorie testB bude Úřadem považován vznik velkých odchylek výkonu služby od běžně dostupné rychlosti (BDR) jako nedodržení prahových hodnot rychlosti přenosu dat v daném směru, a tedy i nesplnění kritérií výkonnosti VHCN v případě posuzované pevné nebo semi-pevné sítě elektronických komunikací. Za velkou trvajícím odchylku od běžně dostupné rychlosti stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) se považuje taková odchylka, která vytváří souvislý pokles výkonu služby přístupu k internetu, tj. pokles skutečně dosahované rychlosti odpovídající měřením stanovené TCP propustnosti pod definovanou hodnotu běžně dostupné rychlosti v intervalu delším než 70 minut, a to během Úřadem prováděného měřicího procesu v časovém úseku 90 minut. Pro velkou trvajícím odchylku tedy platí:

$$T_{\text{BDR}} > 70 \text{ min}, \quad (40)$$

kde T_{BDR} označuje délku intervalu překročení hodnoty běžně dostupné rychlosti odpovídající času zahájení měřicího procesu, kdy výsledná hodnota skutečné přenosové rychlosti je nižší než definovaná hodnota běžně dostupné rychlosti. Vzhledem k samotnému procesu měření a jeho jednotlivým krokům bude považovat Úřad za vznik velké trvající odchylky případ, kdy pro všechny výsledky testů kategorie testB stahování (download) nebo vkládání (upload) dat bude platit podmínka $TCP aTR < BDR$. Za velkou opakující se odchylku od běžně dostupné rychlosti stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) se považuje taková odchylka, při které dojde alespoň ke třem poklesům skutečně dosahované rychlosti odpovídající měřením stanovené TCP propustnosti pod definovanou hodnotu běžně dostupné rychlosti v intervalu delším nebo rovno 3,5 minutám v časovém úseku 90 minut při Úřadem prováděném měřicím procesu. Pokud tedy označíme čas zahájení testu, při kterém byla překročena hranice běžně dostupné rychlosti, v podobě t_x , kde $x \in \mathbb{N}^+$, a dále použijeme stanovenou délku intervalu samotného testu T_{testB} , je možné tedy napsat, že pro velkou pravidelně se opakující odchylku platí:

$$\exists t_1, t_2, t_3: T_{BDR} > 3,5 \text{ min} \wedge (t_3 - t_1) \leq (90 \text{ min} - T_{testB}). \quad (41)$$

Tab. 4: Prahové hodnoty výkonnosti 1: Pevné sítě elektronických komunikací

Pokyny BEREC	BoR (20) 165 od 1.10.2020 do 5.10.2023	BoR (23) 164 od 5.10.2023	BoR draft / ČTÚ od Q4 / 2025
VHCN datový parametr	Prahová hodnota	Prahová hodnota	Prahová hodnota
Rychlost přenosu dat (downlink)	IP TR _{down} ≥ 1000 Mb/s	IP TR _{down} ≥ 1000 Mb/s	TCP TR _{down} ≥ 1000 Mb/s
Rychlost přenosu dat (uplink)	IP TR _{up} ≥ 200 Mb/s	IP TR _{up} ≥ 200 Mb/s	TCP TR _{up} ≥ 200 Mb/s
Chybovost IP paketů	IPER ≤ 0,05 %	IPER ≤ 0,05 %	IPER ≤ 0,05 %
Ztrátovost IP paketů	IPLR ≤ 0,0025 %	IPLR ≤ 0,0025 %	IPLR ≤ 0,0025 %
Obousměrné zpoždění IP paketů	IPTD ≤ 10 ms	IPTD ≤ 10 ms	IPTD ≤ 10 ms
Kolisání zpoždění IP paketů	IPDV ≤ 2 ms	IPDV ≤ 2 ms	IPDV ≤ 2 ms
Dostupnost služby IP	IPAS ≥ 99,9 %/rok	IPAS ≥ 99,9 %/rok	IPAS ≥ 99,9 %/rok

Tab. 5: Prahové hodnoty výkonnosti 2: Bezdrátové sítě elektronických komunikací

Pokyny BEREC	BoR (20) 165 od 1.10.2020 do 5.10.2023	BoR (23) 164 od 5.10.2023	BoR draft / ČTÚ od Q4 / 2025
VHCN datový parametr	Prahová hodnota	Prahová hodnota	Prahová hodnota
Rychlost přenosu dat (downlink)	IP TR _{down} ≥ 150 Mb/s	TCP TR _{down} ≥ 350 Mb/s	TCP TR _{down} ≥ 350 Mb/s
Rychlost přenosu dat (uplink)	IP TR _{up} ≥ 50 Mb/s	TCP TR _{up} ≥ 50 Mb/s	TCP TR _{up} ≥ 50 Mb/s
Chybovost IP paketů	IPER ≤ 0,01 %	IPER ≤ 0,01 %	IPER ≤ 0,01 %
Ztrátovost IP paketů	IPLR ≤ 0,005 %	IPLR ≤ 0,01 %	IPLR ≤ 0,01 %
Obousměrné zpoždění IP paketů	IPTD ≤ 25 ms	IPTD ≤ 18 ms	IPTD ≤ 18 ms
Kolisání zpoždění IP paketů	IPDV ≤ 6 ms	IPDV ≤ 5 ms	IPDV ≤ 5 ms
Dostupnost IP služby	IPAS ≥ 99,81 %/rok	IPAS ≥ 99,9 %/rok	IPAS ≥ 99,9 %/rok

V případě testu výkonnosti VHCN kategorie testVHCN bude měření datových parametrů probíhat při nastavení vstupního parametru CIR měřicího nástroje dle standardu ITU-T Y.1540

rovno smluvně definované hodnotě běžně dostupné rychlosti (BDR) stahování dat (download) nebo vkládání dat (upload) služby přístupu k internetu, a to z důvodu eliminace možnosti zkreslení dosahovaných hodnot kvalitativních datových parametrů v podobě zpoždění IP paketů (IPTD), kolísání zpoždění IP paketů (IPDV), ztrátovosti IP paketů (IPLR), chybovosti IP paketů (IPER) a také dostupnosti IP služby (IPAS) dané NUT, pokud by měla síťová propustnost IP TR (CIR) během samotného procesu měření překračovat aktuální šířku pásma posuzované sítě elektronických komunikací. Takto definované nastavení poskytuje možnost ověření schopnosti dané NUT dosahovat požadovaných výkonnostních kritérií pro VHCN. Výsledné hodnoty měření datových parametrů tvořící kritéria výkonnosti VHCN budou porovnány se stanovenými prahovými hodnotami aktuálně platného Pokynu BEREC VHCN, viz tab. 4 (tab. 5, pokud je uvedeno). V případě, pokud nebudou splněny u kteréhokoliv VHCN datového parametru definované prahové hodnoty ve všech provedených sekvencích měření, nelze považovat posuzovanou pevnou síť elektronických komunikací za splňující kritéria výkonnosti VHCN (kritérium 3, eventuálně kritérium 4 dle Pokynů BEREC VHCN, pokud je uvedeno).