



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Květen 2019

David Košut

Praha 2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Název diplomové práce:

**Komunikační úlohy v rámci Smart Grids.
Dimenzování komunikačních sítí a datového úložiště
včetně nákladového modelu.**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Řízení energetiky

Autor diplomové práce: David Košut

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Glac

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Košut** Jméno: **David** Osobní číslo: **435020**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Komunikační úlohy v rámci Smart Grids. Dimenzování komunikačních sítí a datového úložiště včetně nákladového modelu.

Název diplomové práce anglicky:

Communication tasks within Smart Grid. Dimensioning of communication network and data warehouse with cost model.

Pokyny pro vypracování:

Stručný popis energetických objektů, požadavků na komunikaci a rozbor typických komunikačních úloh pro Smart Grids: měření, řízení, signalizace, chránění, automatizace.
• Přehled standardizovaných komunikačních protokolů používaných v energetice a výhled jejich vývoje.
• Přehled dostupných komunikačních technologií a jejich vhodnost pro využití v úlohách Smart Grids s ohledem na současný objem dat a budoucí objem dat.
• Dimenzování komunikačních sítí a datového úložiště s ohledem na vývoj v horizontu do roku 2030
• Nákladový model komunikačních sítí a datového úložiště – odhad CAPEX a OPEX

Seznam doporučené literatury:

Tlustý, J. a kol.: Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav, ČVUT Praha 2011
Sedin, A. et al.: Telecommunication Networks for the Smart Grid, Artech House 2016
MPO ČR: Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG), 2015

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Glac, PREdistribuce, a.s.

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **07.02.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

Ing. Pavel Glac
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Komunikační úlohy v rámci Smart Grids. Dimenzování komunikačních sítí a datového úložiště včetně nákladového modelu.“ vypracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v přiloženém seznamu literatury.

V Praze 24. 5. 2019

.....

David Košut

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Pavlu Glacovi a Ing. Zbyňku Brettschneiderovi, PhD. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích diplomové práce a Ing. Jakubu Martínkovi za poskytnutí naměřených dat a ověřování teoretických předpokladů v řídicím systému chytrých stanic.

Název diplomové práce:

Komunikační úlohy v rámci Smart Grids. Dimenzování komunikačních sítí a datového úložiště včetně nákladového modelu.

Abstrakt:

Cílem této práce je popsat komunikační úlohy chytrých distribučních trafostanic (VN/NN) v rámci smart grid. Mimo samotných komunikačních úloh jsou popsány také jednotlivé komunikační technologie a protokoly pomocí kterých může být komunikace realizována. Dále je vytvořena modelová stanice, u níž jsou popsány jednotlivé měřené veličiny, signalizované stavy a ovládací povely. Data získaná během pilotního projektu chytrých stanic společnosti PREDistribuce jsou využita při simulaci odesílání zpráv z modelové stanice do centrálního systému. Na základě simulací jsou hodnoceny jednotlivé mechanismy zasílání zpráv z pohledu efektivity. Na základě výsledků simulací byly odhadnuty potřebné datové objemy. V závěrečné části se práce věnuje volbě vhodné komunikační technologie a datového úložiště s ohledem na vývoj distribuční sítě do roku 2030. Pro vybranou komunikační technologii a datové úložiště je vytvořen nákladový model.

Klíčová slova:

Smart grid, distribuční trafostanice, komunikační úlohy, distribuční soustava

Diploma Thesis title:

Communication tasks within Smart Grid. Dimensioning of communication network and data warehouse with cost model.

Abstract:

The aim of this thesis is to describe communication tasks of smart secondary substation (MV/LV) within smart grid. This work describes not only communication tasks but also different measured communication technologies and protocols which can be used to realize communication. This is followed by description of model station which consist of measured values, signalled statuses and control commands. Data obtained during smart stations pilot project of PREdistribuce company were used to simulate different mechanisms used to send messages to control station. Based on this simulation those mechanisms were valued by their effectivity. Also, volume of data needed for communication was estimated. Last part of this thesis is dedicated to choosing appropriate communication technology and data storage taking in account the possible progress until year 2030. Cost model was created for the chosen communication technology and data storage.

Key words:

Smart grid, secondary substation, communication tasks, electric power distribution

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Smart grid.....	2
2.1	Dnešní stav	2
2.2	Motivace PDS pro zavádění SG.....	3
2.2.1	Infrastruktura provozovatele distribuční soustavy (PDS)	4
2.2.2	Ukazatele spolehlivosti kvality dodávek elektrické energie.....	9
2.2.3	Chytrá distribuční trafostanice	9
3	Přehled komunikačních protokolů (síťové standardy)	14
3.1	OSI model	14
3.2	TCP/IP.....	15
3.3	IEC 60870-5	16
3.3.1	Datové rámce.....	18
4	Komunikační technologie.....	20
4.1	Transportní technologie.....	21
4.2	Technologie přepínání a směrování.....	22
4.3	Power Line Communication (PLC).....	23
4.4	Radiové technologie	23
4.5	Kabelové technologie	24
5	Modelová stanice.....	26
5.1	Popis komunikačních úloh	27
5.2	Počet přenášených zpráv	28
5.3	Měřené spojité veličiny	29
5.3.1	Optimalizace počtu zpráv	31
5.4	Velikost zprávy.....	44
5.5	Počet zpráv na modelovou stanici	44
5.6	Objemy dat na stanici	47
6	Komunikační síť do roku 2030.....	49
6.1	Formát SIM karty	49
6.2	Datová konektivita	51
6.3	Poskytovatelé.....	53
6.3.1	Things mobile.....	53
6.3.2	1NCE.....	54
6.3.3	Kaktus.....	54
6.4	Nákladový model	55
7	Datové uložště	61

7.1	Velikost datového uložště	61
7.2	Nákladový model	62
8	Závěr	65
	Seznam symbolů a zkratek	68
	Seznam použité literatury	71
	Seznam obrázků	75
	Seznam grafů	75
	Seznam tabulek	76
	Seznam příloh	76

1 Úvod

V současné době jsou informační a komunikační technologie, kyberneticko-fyzikální systémy a systémy umělé inteligence implementovány do všech odvětvích ekonomiky a hospodářství. Tého proměně se přisuzuje obrovský význam a je označována jako 4. průmyslová revoluce.[1] Průmysl 4.0 bude mít dopad na všechny aspekty našeho života, zároveň klade vyšší nároky na všechny vstupy a jednotlivá průmyslová odvětví. Stěžejním vstupem průmyslu 4.0 bude elektrická energie. Stabilní a bezpečné dodávky elektrické energie jsou tedy jedním ze základních stavebních kamenů českého průmyslu.

Energetika však musí kromě požadavků průmyslu také reflektovat současný vývoj a trendy ve výrobě, distribuci a spotřebě elektrické energie. S rozvojem OZE (obnovitelných zdrojů energie), intermitentních zdrojů a decentralizovaných zdrojů je čím dál tím náročnější zajistit stabilní a bezpečné dodávky. Proto se i v energetice využívají nové metody a nástroje, aby bylo možno dosáhnout vytyčených cílů.

Na straně spotřeby je pozorován trend, při němž se ze spotřebitelů stávají zároveň výrobci či dodavatelé elektrické energie. To je dáno rozvojem domácích elektrických zdrojů, které při nadprodukcí dodávají elektřinu do sítě. Nebo rozvojem stacionárních či mobilních baterií, které je možno připojit do distribuční sítě a dodávat do ní elektřinu. Pro spotřebitele dodávající elektřinu do sítě se používá označení „prosumer“. Mobilní baterie budou ve většině případů součástí elektromobilů, v případě růstu počtu elektromobilů bude úměrně růst i výkon potřebný k nabíjení těchto zařízení.

Aby elektrizační soustava byla schopna zajistit stabilní a bezpečné dodávky v tomto dynamickém prostředí bude zapotřebí investic nad rámec prosté obnovy současných zařízení. Tato investice do infrastruktury se následně projeví do regulované složky ceny za elektřinu. V zájmu nejen spotřebitelů a prosumerů, ale i celého průmyslu, je tuto transformaci elektrizační soustavy provést s co nejnižšími náklady.

V úvodní části práce (kapitola 2) je uveden popis konceptu transformace elektrizační soustavy, souhrnně označována jako „Smart grid“. Pozornost je věnována především distribuční soustavě a distribuční společnosti působící na území hlavního města Prahy. V další části jsou popsány jednotlivé komunikační protokoly a technologie, které se v současnosti jeví jako vhodné pro smart grid.

Na základě poznatků z úvodních kapitol je v páté kapitole navržena modelová chytrá distribuční trafostanice. V rámci návrhu jsou popsány jednotlivé komunikační úlohy a nároky kladené na tuto stanici. Za účelem splnění definovaných úloh využívá chytrá stanice komunikaci s řídicí stanicí. V rámci cíle provést celou transformaci elektrizační soustavy s co nejnižšími náklady je podstatná část této kapitoly věnována optimalizaci počtu zpráv, potažmo přenášených objemů dat. Nižší objemy dat v důsledku znamenají nižší náklady.

Na závěr je v práci provedena analýza volby optimální komunikační sítě s ohledem na vývoj do roku 2030. V rámci zvolené technologie je uveden detailní popis různých mechanismů, umožňujících zpoplatnění mobilní komunikace. Následuje nákladový model na dobu mezi roky 2020 a 2030. Předposlední kapitola je věnována datovému uložení. Nejprve je nastíněn životní cyklus dat při ukládání a následné archivaci. Poté je v závislosti na zvolených parametrech odhadnuta potřebná kapacita datového uložení a vytvořen nákladový model. Součástí obou nákladových modelů je citlivostní analýza na významné vstupy.

Poslední kapitolou je závěr, v něm jsou shrnuty hlavní poznatky této práce.

2 Smart grid

Elektrizační soustava prochází vývojem od samého počátku své existence. S rozvojem výpočetní techniky v 60. letech docházelo k integraci této technologie za účelem monitorování a dálkového ovládání elektrizační soustavy.[2] Od té doby došlo k výraznému rozvoji monitorování, kontroly a vzdálenému ovládání soustavy, což by dle literatury [2], která byla publikována v roce 2009, bylo dostačující pro označení smart grid.

V rámci národního akčního plánu pro smart grid je definice následující: „Inteligentní sítě (Smart Grids – SG) jsou elektrické sítě, které jsou schopny efektivně propojit chování a akce všech uživatelů k nim připojených - výrobce, spotřebitele a spotřebitele s vlastní výrobou.“[3]

Dle mého názoru se „smart grid“ stal tzv. buzzword, který je využíván pro jakoukoliv inovaci, koncepční změnu, novou službu či zefektivnění v rámci elektrizační soustavy. Vyjmenovat zde můžeme celky označované jako AMI (advanced metering infrastructure), DA (distribution automation), DG (distributed generation), DR (demand response) a SA (substation automation).[4]

AMI jako celek si klade za cíl měřit, sbírat a analyzovat data o spotřebě. Na straně koncového zákazníka tato funkcionality může být realizována dálkovými odečty či elektroměry s oboustrannou komunikací. Na druhé straně je zapotřebí infrastruktura pro sběr, analýzu a uchování dat. Tedy datová uložení a výpočetní technika pro zpracování, analýzu a vizualizaci dat. Výměnu informací mezi těmito body zajišťuje komunikační síť.[5]

DA zajišťuje tzv. inteligentní řízení sítě od přenosové sítě směrem ke spotřebiteli. K inteligentnímu řízení je zapotřebí monitorování, analýza a řízení prvků distribuční sítě nejlépe v reálném čase. K tomu je nutná dostatečně robustní komunikační infrastruktura.[6]

DR by mělo plnit funkci nástroje umožňujícího měnit spotřebu elektrické energie v závislosti na výrobních možnostech v daném čase. Očekává se, že spotřebitel upraví spotřebu elektrické energie v čase na základě motivace ze strany subjektů působících na trhu s elektřinou. Nejčastěji je udávána dynamická cenotvorba jako motivační prostředek pro spotřebitele přesunout spotřebu do doby s nižší cenou elektrické energie. Toto opatření vyžaduje mimo jiné speciální spotřebiče a komunikaci skrze celou elektrifikační soustavu v reálném čase.[7]

SA spočívá ve vybavení elektrických stanic senzory, čidly, výpočetní technikou a dálkovou komunikací pomocí níž je možné tyto stanice plně automatizovat. Zatímco monitoring a ovládání elektrických stanic (VVN/VN) se využívá již několik desítek let, automatizační úlohy se s ohledem na bezpečnost provozu rozvíjí velmi pozvolna.

Jak je patrné nejedná se o jeden prvek nebo vlastnost, která by stačila pro označení smart grid, ale jde o ucelený komplex prvků, vlastností a služeb, které síť dělají chytrou.

2.1 Dnešní stav

Celek SA a DA lze považovat za totožný co se týče funkčnosti, ale liší se místo implementace v rámci elektrizační soustavy. V případě SA se bavíme o přenosové soustavě a části distribuční soustavy, v případě DA o hladině VN a NN distribuční soustavy. V rámci přenosové soustavy v ČR působí jediný subjekt vlastníci licenci na přenos elektřiny dle zákona č. 458/2000 Sb. a to ČEPS, a.s.. Práva a povinnosti této organizace vycházejí ze směrnic a nařízení EU, českých právních norem a Kodexu přenosové soustavy.[8]

Z pohledu smart grid je významný především dispečerský řídicí systém, který umožňuje dálkově ovládat rozvodny přenosové soustavy. Dále se automaticky stará o vyrovnání odchylky mezi výrobou a spotřebou v případě dodržování sjednaných podmínek. V případě zásahu dispečera poskytuje systém podklady potřebné pro rozhodování v podobě simulačních výpočtů následků daného rozhodnutí, například dopad vypnutí daného vedení na celou soustavu. Pokud je situace v síti dlouhodobě neúnosná, tak dispečerovi doporučí rekonfiguraci sítě.[9]

Mimo řídicího systému podporující akci v reálném čase je zapotřebí disponovat informacemi pro dlouhodobé plánování, aby bylo možné efektivně koordinovat vypínání vedení a zdrojů, modelovat úzká místa v síti (DAFC – Day Ahead Congestion Forecast) a řídit koordinaci se zahraničními partnery. K těmto účelům slouží kontingenční analýza, tzv. Regional Awareness System, programy na redispečink, rekonfiguraci a síťový výpočet.[10]

Na vyšších napěťových hladinách se v distribuční soustavě nacházejí stanice (nejčastěji transformovny 110/22 kV), které se mírou automatizace blíží, ne-li vyrovnávají, stanicím v rámci přenosové soustavy.

DA distribuční společnosti postupně nasazují do své infrastruktury. V rámci dispečerského řízení mají přehled o stavu kritických prvků v síti, ale prvky distribuční sítě nejsou automatizované natolik jako u přenosové soustavy. Například společnost ČEZ distribuce plánuje v dlouhodobém horizontu rozvíjet optickou infrastrukturu za účelem řízení, měření, zabezpečování a automatizace provozu distribuční soustavy.[11]

Podobné plány v rámci rozvoje plánují všechny distribuční společnosti. PREDistribuce v rámci pilotního projektu, spuštěného v roce 2017, testovala dálkové ovládání a monitoring distribučních trafostanic včetně potřebné komunikační infrastruktury založené na technologiích LTE, BPL (komunikace po silovém vedení na hladině VN) a optických vláknech.

V ČR jsou v kompetenci distribučních společností také elektroměry v odběrných místech. AMM v současné době není plošně nasazen, nicméně je ověřen řadou pilotních projektů založených na různých komunikačních technologiích. V případě zájmu zákazníka jsou „chytré elektroměry“ nabízeny jako doprovodný produkt.[12] V jiných státech Evropy jsou již plány na plošné instalace chytrých elektroměrů. Například ve Velké Británii bylo ke konci září 2017 instalováno 8,6 milionu chytrých elektroměrů. Cílem tohoto projektu je nejen ulehčit odečty hodnot z elektroměrů, ale zároveň aby odběratelé v součinnosti s těmito zařízeními zefektivnili využívání elektrické energie.[13]

2.2 Motivace PDS pro zavádění SG

Provozovatel distribuční soustavy bude hrát klíčovou roli během pochyťování sítě. Některé koncepty v rámci SG se týkají přímo zařízení provozovaných v rámci distribučních sítí, jiné budou vyžadovat kompatibilitu, či podporu ze strany distribuční sítě.

V každém případě společným nárokem jednotlivých služeb v rámci SG je dostupnost komunikační infrastruktury. Provozovatel distribuční soustavy se bude snažit v rámci SG pokrýt následující požadavky:

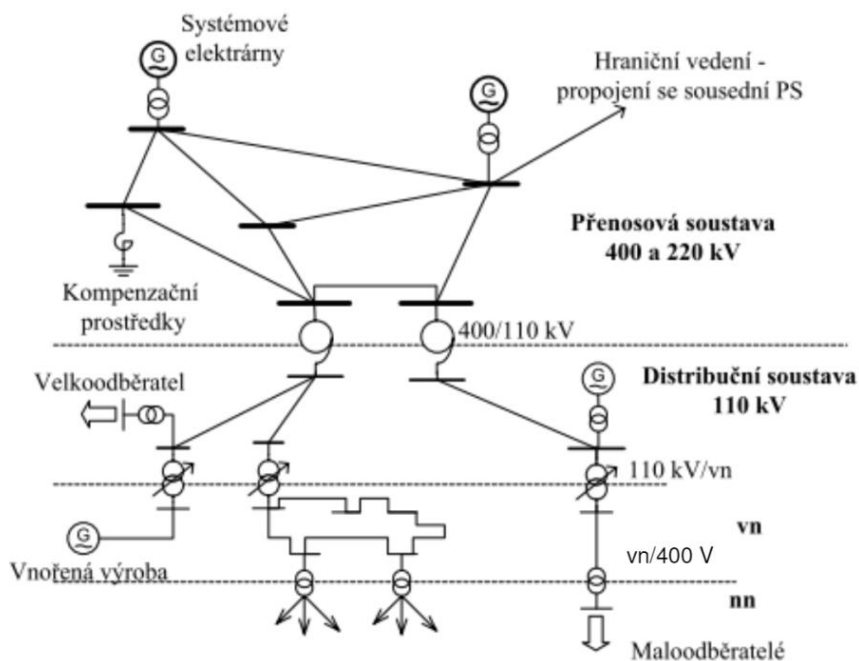
- Spolehlivé a kvalitní dodávky elektrické energie
- Optimální využití zdrojů a efektivní provoz distribuční sítě za využití autonomního řízení sítě
- Automatické odstranění poruch a předvídání poruch v reálném čase
- Sdružení výrobních a akumulačních kapacit i s ohledem na rozvoj obnovitelných zdrojů a elektromobility

- Zapojení zákazníků do SG a poskytnutí možnosti řízení inteligentních spotřebičů

Mimo výše uvedené služby dojde v závislosti na stavu SG k nabídce nových služeb a produktů, které v tuto chvíli nejsou definovány.

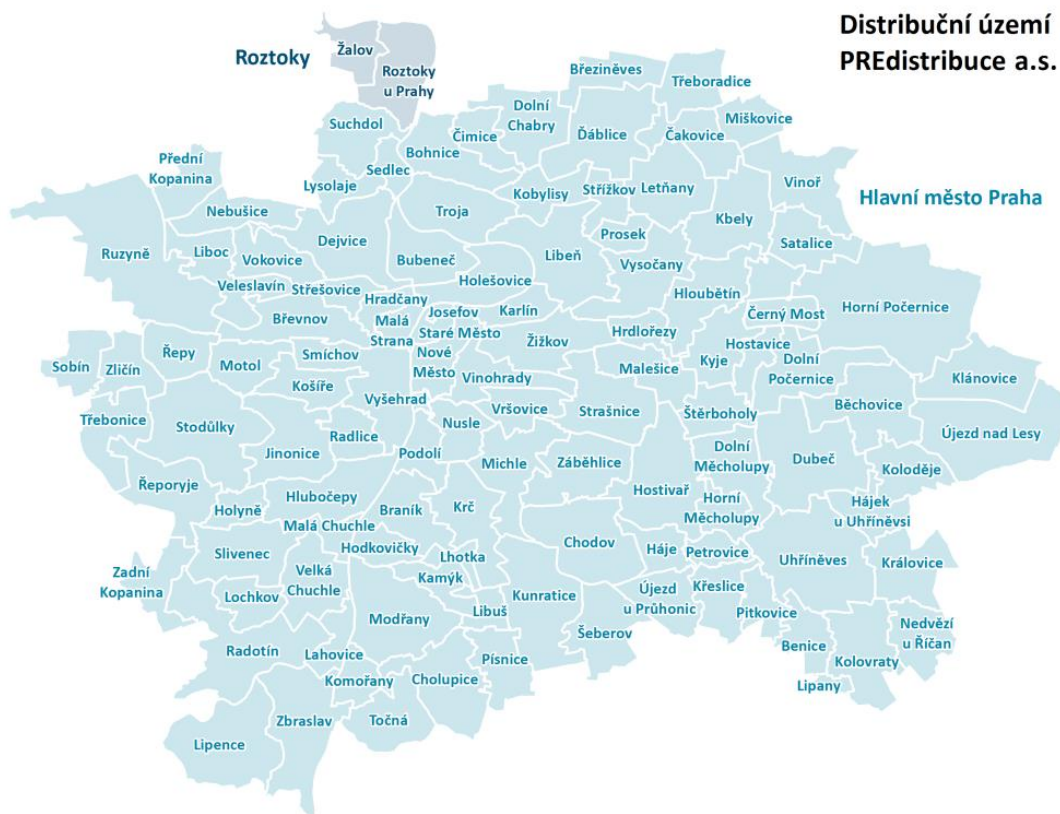
2.2.1 Infrastruktura provozovatele distribuční soustavy (PDS)

Distribuční soustava je provozována za účelem přenosu elektrické energie z přenosové soustavy (případně zdrojů připojených k distribuční soustavě) k odběrným místům. K tomu slouží vedení VVN (110 kV), vedení VN (35 kV, 22 kV, 10 kV, 6 kV, 3 kV) a vedení NN (0,4 kV, 0,23 kV). Provozovatelé distribuční soustavy (PDS) mimo vedení provozují také stroje a přístroje na příslušných napěťových hladinách a systémy zajišťující měření, ochranu, řízení a zabezpečení sítě. K tomu jim dopomáhá informační a telekomunikační technika. Schéma elektrizační soustavy je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 1: Přehledové schéma elektrizační soustavy [14]

Distribuční soustavu na území ČR neprovozuje pouze jeden subjekt, ale licencovaní distributoři elektrické energie. Z pohledu počtu odběrných míst jsou nevýznamnější tři PDS – ČEZ distribuce, E.ON distribuce a PREdistribuce. Území, které obhospodařuje PREdistribuce je zobrazeno na obrázku 2. V rámci tohoto území vlastní a provozuje PREdistribuce veškerou infrastrukturu potřebnou k distribuci elektrické energie ke spotřebiteli. Nejedná se pouze silové prvky distribuční soustavy, ale také o telekomunikační infrastrukturu. Dle zákona 458/2000 Sb. má provozovatel distribuční soustavy právo „zřizovat a provozovat vlastní telekomunikační síť k řízení, měření, zabezpečování a automatizaci provozu distribuční soustavy a k přenosu informací pro činnost výpočetní techniky a informačních systémů“.[15]



Obrázek 2: Mapa distribučního území PREdistribuce a.s. [16]

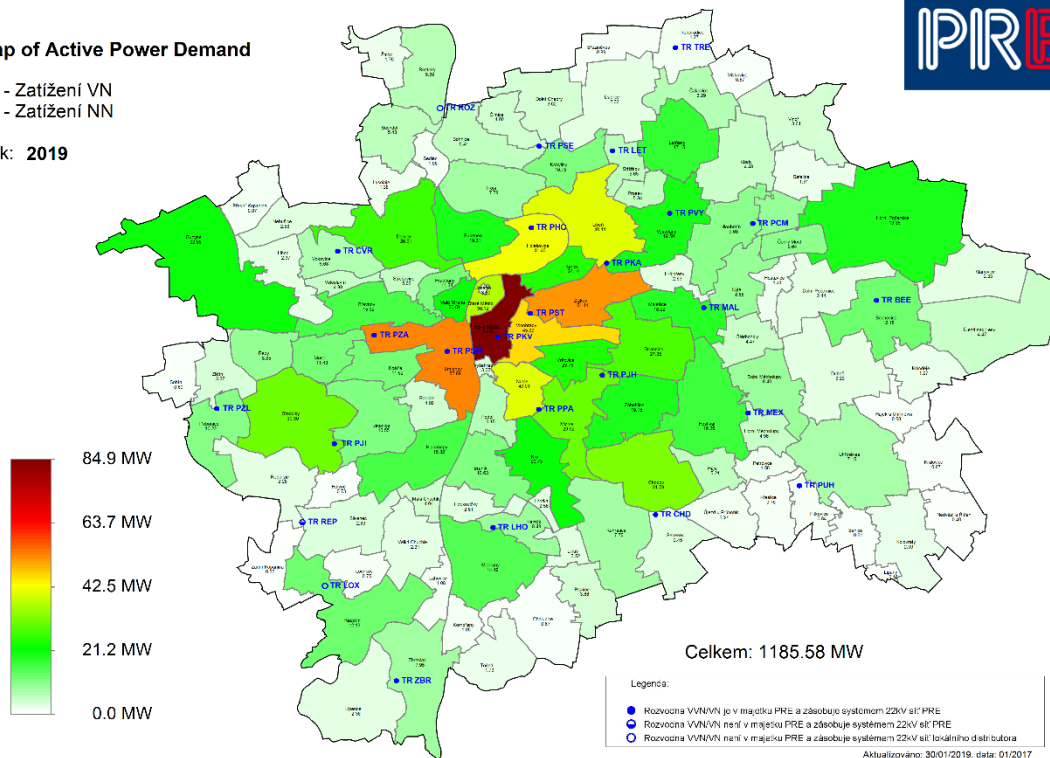
Na území hlavního města Prahy se nacházejí pouze elektrické zdroje menších výkonů. Příkladem je teplárna Malešice a vodní elektrárna Štvanice a Troja. Dle roční zprávy o provozu ES ČR za rok 2016 byl na území Prahy celkový instalovaný výkon elektrických zdrojů 199,7 MW.[17] Což je v porovnání s celkovým zatížením Prahy, které bylo na počátku roku 2019 1185,6 MW, pouze malá část. Vzhledem k této skutečnosti je potřeba napájet distribuční soustavu z přenosové soustavy. K tomu slouží rozvodny v Řeporyjích, Malešicích a na Chodově. Východní část města Prahy je zásobována z rozvodny Čechy střed.

Na následujících mapách (obrázky 3–5) je zobrazena zátěž podle katastrů, transformoven a uzlových oblastí. Data byla aktualizována 30.1.2019. Katastrálních území obsluhuje PREdistribuce celkem 114 a největší zatížení je v Novém Městě (84,8 MW), nejnižší zatížení je v Lipanech (0,2 MW). Při dělení podle transformoven je nejvíce vytižena transformovna v Holešovicích se zatížením 125,5 MW, nejméně je zatížena transformovna v Uhřetěvesi zatížením 6,8 MW. Při dělení podle uzlových oblastí je celek rozdělen do čtyř částí, Řeporyje, Chodov, Malešice a Čechy Střed. Největší zatížení připadá na Řeporyje, celkem 565,0 MW a nejnižší na Čechy Střed, celkem 37,0 MW.

Map of Active Power Demand

A1 - Zatížení VN
A4 - Zatížení NN

Rok: 2019

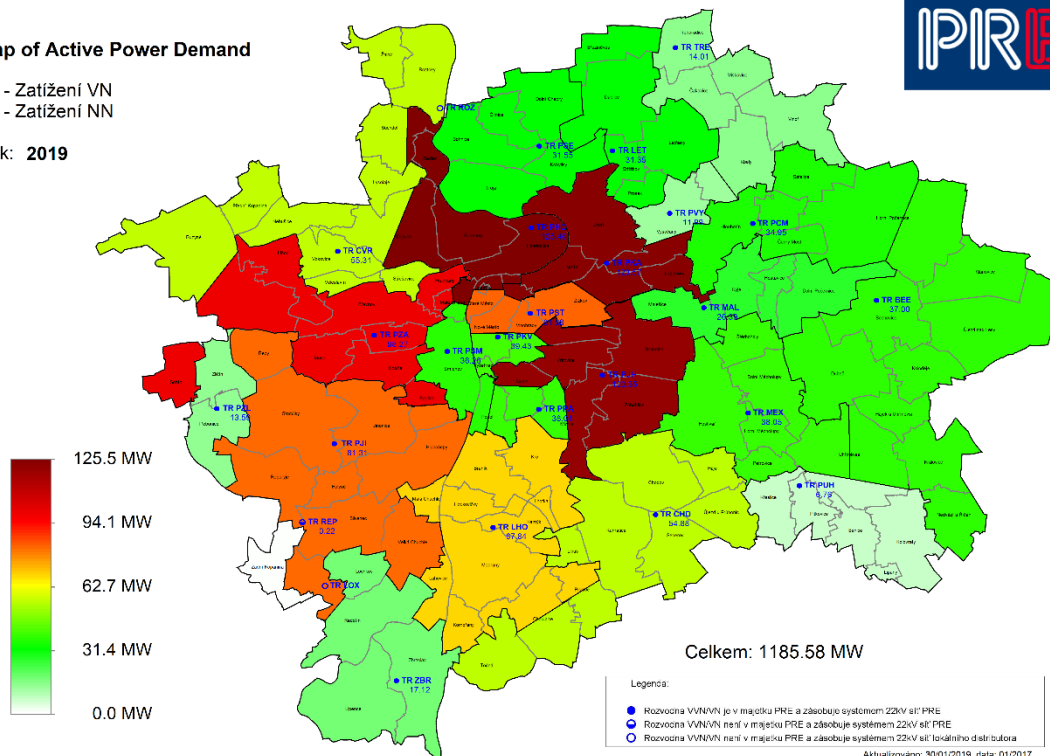


Obrázek 3: Zatížení jednotlivých katastrů hlavního města Prahy v roce 2019

Map of Active Power Demand

A1 - Zatížení VN
A4 - Zatížení NN

Rok: 2019

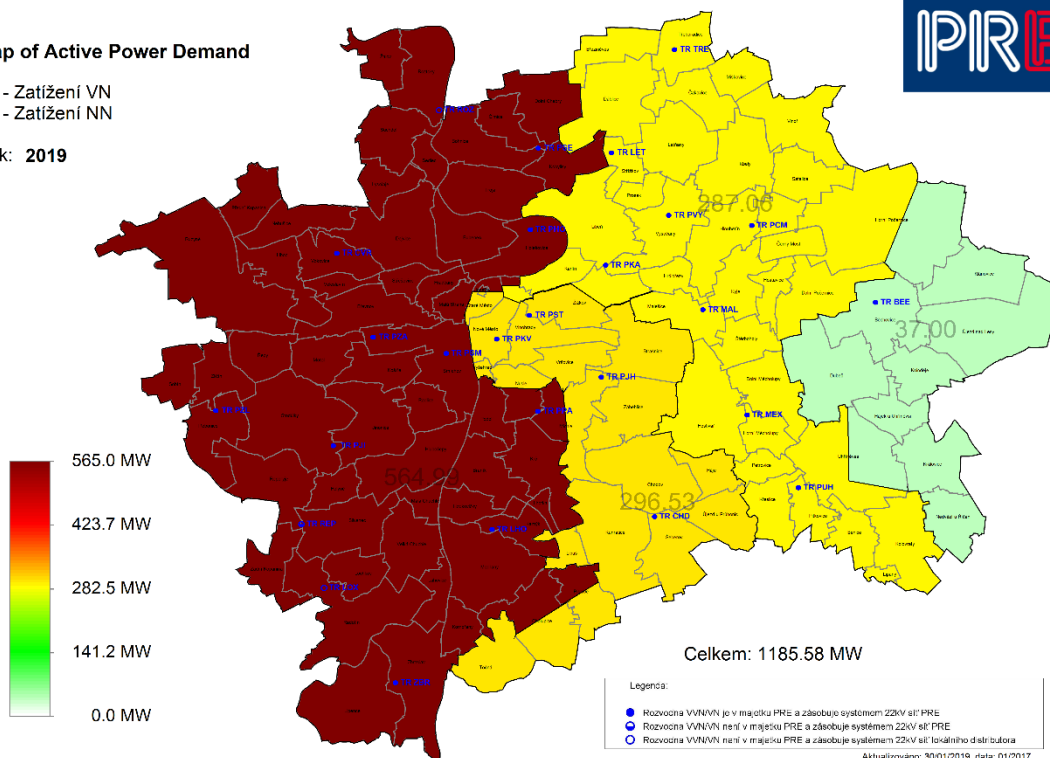


Obrázek 4: Zatížení jednotlivých transformoven na území hlavního města Prahy v roce 2019

Map of Active Power Demand

A1 - Zatížení VN
A4 - Zatížení NN

Rok: 2019



Obrázek 5: Zatížení jednotlivých uzlových oblastí na území hlavního města Prahy v roce 2019

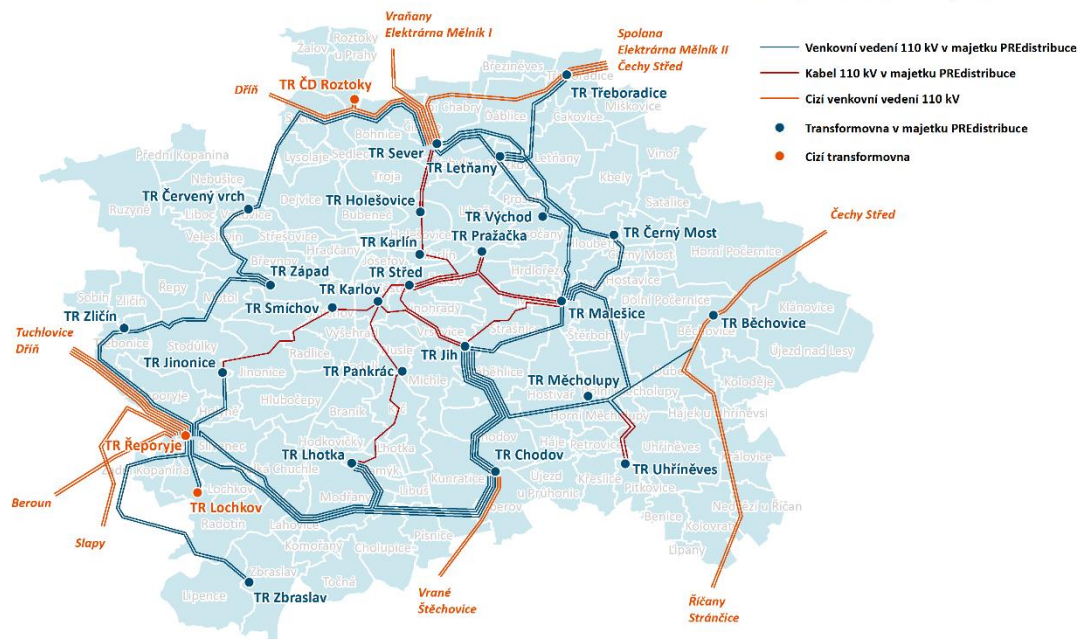
Počet stanic VVN/VN a VN/NN potřebných k obhospodaření daného území je uveden v následující tabulce. Mimo počtu stanic je také uvedena celková délka vedení, a to i podle napěťových hladin.

Přehled počtu vybraných prvků distribuční sítě v roce 2017		
Ukazatel	Hodnota	Jednotka
Délka elektrických sítí celkem	12 104	km
z toho VVN	214	km
z toho VN	3 864	km
z toho NN	8 026	km
Počet stanic VVN/VN	24	ks
Počet distribučních stanic VN/NN	3 218	Ks

Tabulka 1: Vybrané ukazatele distribuční sítě PŘEdistribuce [18]

Polohopisné schéma vedení 110 kV s transformovny na příslušné napěťové hladině je zobrazeno na následujícím obrázku. Modrými tečkami jsou vyznačeny transformovny v majetku PŘEdistribuce, kterých je 24. A modrou linkou jsou vyznačena vedení 110 kV, která celkově měří 214 km. Červenou barvou jsou naznačeny transformovny a vedení, které jsou sice na území PŘEdistribuce, ale nejsou v jejím vlastnictví.

**Polohopisné schéma vedení 110 kV
na území PŘEdistribuce, a.s.**



Obrázek 6: Polohopisné schéma vedení 110 kV [16]

Část jedné transformovny ve vlastnictví PŘEdistribuce je zachycena na obrázku 7. Konkrétně se jedná o připojení transformátorů v rozvodně 110 kV.



Obrázek 7: Transformovna 110 kV [19]

Trafo stanice VN/NN bývají výrazně menších rozměrů, a PŘEdistribuce jich provozuje více jak tři tisíce. Nejčastější stavební provedení trafostanic je vestavná (uvnitř budovy), dále kiosková

(zděná samostatná budova) a bloková (technologie umístěná uvnitř betonového skeletu) (viz obrázek 8).



Obrázek 8: Blokovaná stanice VN/NN [20]

2.2.2 Ukazatele spolehlivosti kvality dodávek elektrické energie

Pro úplnost zde uvádím také vybrané ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie za rok 2018 společnosti PREdistribuce. Ukazatel SAIFI (průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníka) dosáhl v roce 2018 hodnoty 0,4 přerušení za rok. Ukazatel SAIDI (průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníka) byl 34,1 minut za rok. A na závěr CAIDI (průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníka) byl v roce 2018 85,4 minuty.[21] Vzhledem k tomu, že limity pro vybrané ukazatele jsou nastaveny Energetickým regulačním úřadem a jejich překročení je penalizováno, je snahou PDS dosáhnout co nejnižších hodnot těchto ukazatelů. Výstavba redundantních prvků distribuční soustavy je jednou z možností, jak toho dosáhnout. Tím však rostou náklady na výstavbu a údržbu infrastruktury, hledají se proto i další méně nákladné způsoby, jak předcházet přerušení distribuce, anebo naopak obnovit dodávky v co nejnižším čase. Jedním z prostředků je nasazení chytrých distribučních trafostanic.

2.2.3 Chytrá distribuční trafostanice

Motivací pro investice do chytrých distribučních trafostanic jsou zvyšující se nároky na systémové ukazatele spolehlivosti dodávek elektrické energie. Náklady na preventivní opatření, zabraňující vzniku poruchy, jsou příliš vysoké. Efektivně se jeví investice do prostředků minimalizující následky poruchy. Těmi nejvýznamnějšími opatřeními s tímto účelem jsou rychlá detekce vzniku poruchy a dálková manipulace v distribuční síti.

Technické řešení chytrých stanic umožňuje implementaci i dalších funkcí, které budou využity zejména při rozmachu nových technologií. Jedná se především o rozmach elektromobility a

rozvoj decentralních zdrojů. Očekává se, že v důsledku rozvoje těchto technologií dojde ke zvýšení nerovnoměrnosti zatížení prvků distribuční sítě a nutnosti řízení toků v síti. Z těchto důvodů je plánováno vybavovat stanice měřidly proudů, napětí a výkonů na hladině VN i NN.

V neposlední řadě mezi přínosy chytrých stanic je možnost prevence případného black-outu či urychlení obnovy dodávek po něm. Chytré stanice umožní selektivní odpinání a následně přepínání spotřeby dle jejího významu a velikosti.

Výše uvedené požadavky jsou realizovány pomocí technických funkcí: dispečerského řízení, signalizace a měření, indikace poruch na hladině VN a měření kvality energie na hladině NN. Pro spolehlivý a ekonomický provoz je nutný vzdálený management ICT prvků, a zabezpečení (fyzické i kybernetické).

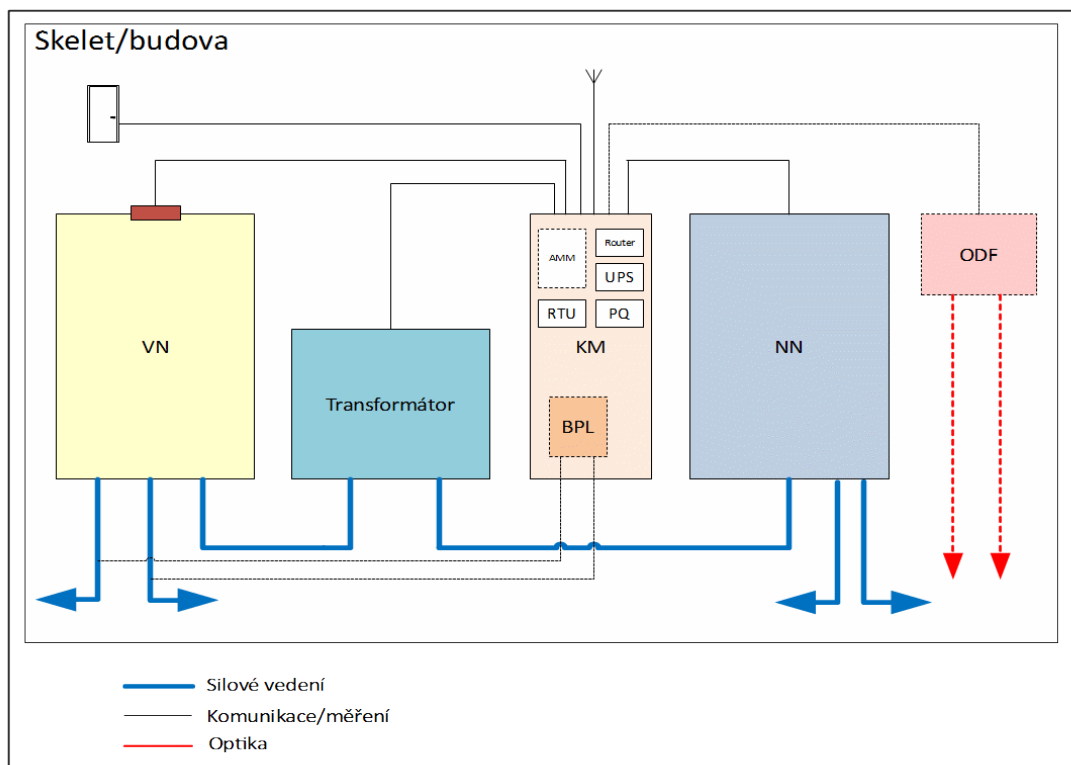
Tyto požadavky se postupně vyvíjejí, čímž se také stupňují nároky na vybavení chytrých DTS a také na komunikační prvky, pomocí kterých jsou data ze stanic přenášena.

Na obrázku 9 je konstrukční schéma a na obrázku 10 funkční schéma chytré distribuční stanice. Centrálním prvkem automatizace je jednotka RTU (remote terminal unit), která zajišťuje měření, signalizaci a také ovládání silových prvků. Měření probíhá jak na hladině VN, tak na NN. U hladiny NN se kromě provozního měření provádí vyhodnocení kvality napětí podle normy EN 50160. Jsou zaznamenávány např. krátkodobé poklesy napětí, flikry apod.

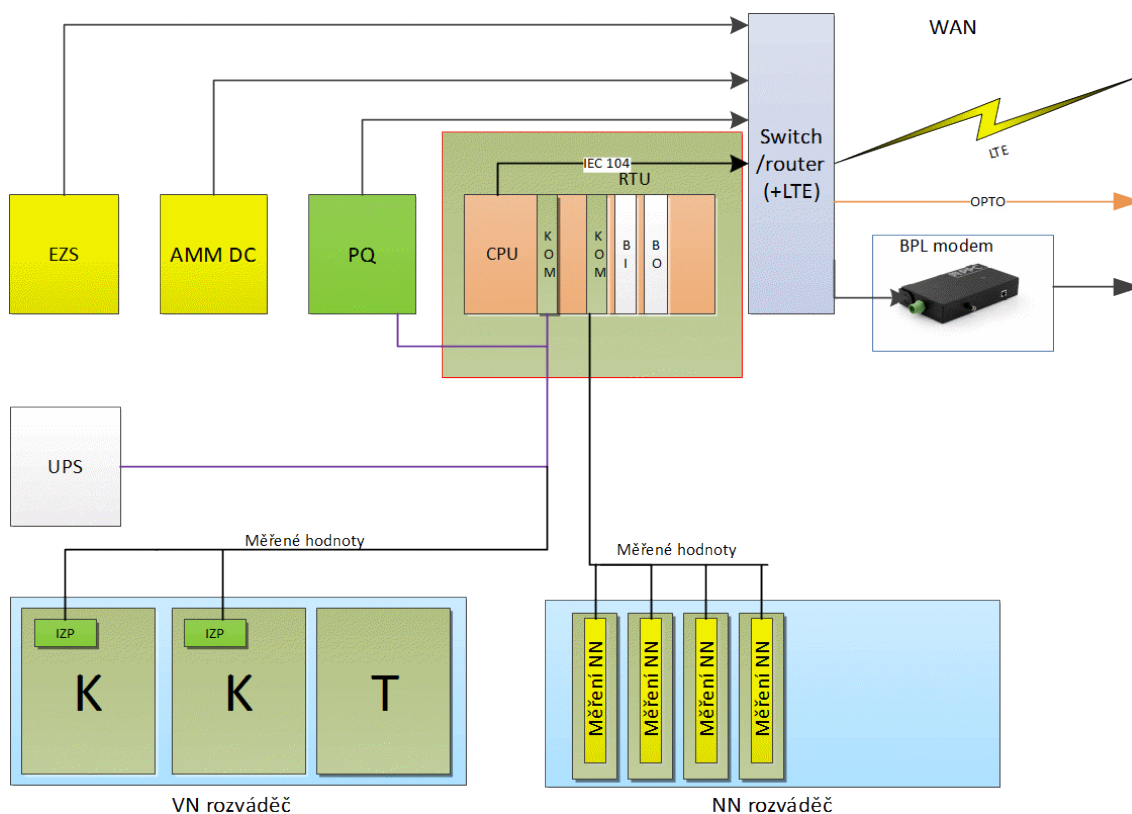
Pro úlohu dálkového ovládání vývodů VN je rozváděč vybaven pohony odpínačů vývodových polí. U rozváděče NN je dálkově ovládán pouze vstupní jistič. Ovládání jednotlivých polí není v současné době vzhledem k dostupným technologiím ekonomické. V případě potřeby je možno osadit monitorovacími zařízeními i samotný transformátor a měřit například provozní teplotu nebo další provozní parametry, či monitorovat technický stav transformátoru. Při vybavení stanice zabezpečovacími prvky má dispečink přehled, zda došlo k otevření trafostanice, případně i videozáznam či fotografii z doby, kdy k otevření trafostanice došlo. Tato skupina zabezpečovacích prvků je reprezentována značkou dveří na schématu na obrázku 9. Dále je v trafostanici modul na sledování kvality elektrické energie (PQ).

RTU na základě definovaných pravidel odesílá zprávy do routeru, který v závislosti na použité technologii zajišťuje komunikaci s centrálou. Na schématu na obrázku 9 jsou zobrazeny 3 technologie: BPL vyjadřuje využití silového vedení pro přenos dat, modul ODF je optický rozváděč umožňující připojení pomocí optických sítí a modul umožňující připojení pomocí mobilní sítě je vyjádřen anténkou.

Chytrá stanice je samozřejmě vybavena záložním zdrojem (UPS), který v případě výpadku distribuční sítě zajistí napájení nejen automatizační a komunikační techniky, ale také umožní dálkové manipulace se silovými prvky. S ohledem na předpokládaný vývoj chytrých sítí je zde zobrazen modul AMM, který funguje jako koncentrátor dat z připojených koncových měřidel – elektroměrů.



Obrázek 9: Konstrukční schéma chytré distribuční stanice



Obrázek 10: Blokové schéma funkčních celků chytré distribuční stanice

Zelenou barvou jsou vyznačeny funkční celky, které v současných stanicích produkují významné množství dat. Jedná se o jednotku PQ (power quality), která měří veličiny NN. Dále jednotky IZP (identifikátor zkratových proudů), umístěné vždy na kabelovém vývodu VN rozváděče, ty

obstarávají měření VN veličin. Bílou barvou jsou značeny celky, které jsou využívány, ale neprodukují významné množství dat. Jedná se o záložní zdroj energie (UPS), který generuje zprávy pouze v případě nestandardních provozních stavů. Dále binární vstupy (BI) a binární výstupy (BO) produkují také pouze malé množství dat.

Poslední skupina celků, značena žlutou barvou, jsou celky jejichž využití se předpokládá až v budoucnosti, a zároveň je očekávána významná produkce přenášených dat. Konkrétně to je měření jednotlivých NN vývodů, zabezpečovací systém (EVS) stanice a příprava pro dálkové měření elektroměrů, příp. i řízení spotřeby (AMM DC – datový koncentrátor systému AMM).

Další možný budoucí scénář je, že chytré distribuční stanice budou sloužit jako síťový uzel pro další technologie SG jako například chytré elektroměry, dobíjecí stanice elektromobilů, akumulární prvky či decentralizované zdroje.

Fotografie jedné z realizací sekundární techniky chytré distribuční trafostanice je zobrazena na obrázku 11.



Obrázek 11: Sekundární technika chytré distribuční trafostanice

Existují i koncepty chytrých stanic vytvořené výrobcem elektrických zařízení, jeden z nich je zde také představen. V závislosti na vybavení stanice lze rozlišovat stupeň „chytrosti“ stanice. Základním stupněm je monitorovaná stanice, dále dálkově ovládaná stanice a prozatím nejvyšším stupněm je dálkově ovládaná stanice s inteligentním řízením toku zátěže.

V monitorované stanici je zapotřebí komunikační modem, jednotka vzdálené komunikace (RTU), záložní zdroj, proudové snímače, napěťové snímače a indikátory zkratů a zemních spojení. Takto

vybavená stanice slouží k rychlé lokalizaci poruchy, čímž je možno dosáhnout rychlejšího vyřešení poruchy. Kromě monitorování samostatné elektrické části může být monitorován fyzický stav stanice, k tomu slouží elektronické plomby, fotopasti či záznamová zařízení.

V případě dálkově ovládané stanice je nutno stanici vybavit motorovými pohony odpojovačů a odpínačů. Tím lze v případě poruchy snížit reakční dobu provozovatele z desítek minut (příjezdová doba techniků) na několik sekund. Dispečink má v případě zvláštního stavu nebo při obnově sítě možnost měnit konfiguraci sítě a tím předejít poruchám.

Prozatím nejvyšší stupeň již zahrnuje algoritmy pro řízení toku zátěže, které v závislosti na aktuálním stavu sítě a jednotlivých uzlů vyhodnotí situaci a provedou potřebná regulační opatření bez zásahu dispečera. Nutnou podmínkou je regulovatelný transformátor, vybaven softwarovými moduly pro řízení toku zátěže. Takto vybavená stanice je připravena na jevy spojené s rozšířením decentrálních zdrojů.[22]

3 Přehled komunikačních protokolů (síťové standardy)

Způsobů, jak může fungovat komunikační síť je velmi mnoho a každý si může definovat svoje vlastní pravidla, podle kterých bude řízen provoz sítě. Takovým případem jsou proprietární řešení, která vyvine společnost nebo organizace a implementuje je do svých sítí. Jako příklad lze uvést model XNS (Xerox network system) společnosti Xerox, protokoly IPX/SPX (Internetwork packet exchange / Sequenced packet exchange) společnosti Novell nebo protokol AppleTalk vyvinutý společností Apple.

Opakem pak jsou tzv. otevřené modely a protokoly, jež jsou definovány za účelem vytvoření standardů komunikačních sítí. Kompatibilita jednotlivých zařízení v rámci sítě je pak zaručena právě zvoleným standardem. Různým výrobcům jednotlivých zařízení poté stačí dodržovat jednotnou normu. Toto byl důvod vzniku tzv. referenčního modelu ISO/OSI (International organization for standardization / Open system interconnection) nebo síťového modelu TCP/IP (Transmission control protocol / Internet protocol).

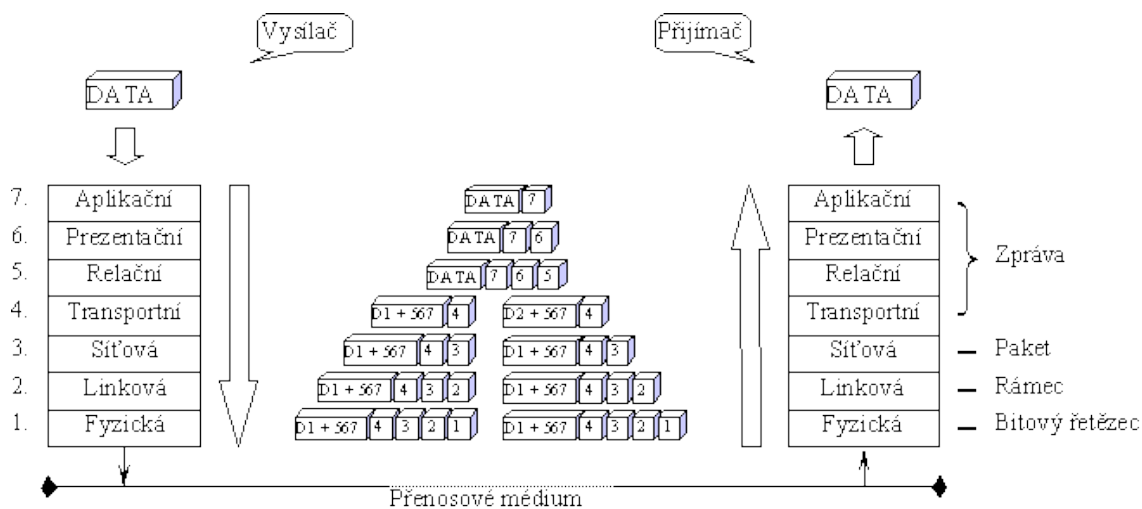
V rámci energetiky, pro použití v chytrých sítích, byly ustanoveny standardy, kterými se řídí komunikace. Jedním ze standardů je soubor norem IEC 60870 (ČSN EN 60870) – Systémy a zařízení pro dálkové ovládání. Dalším souborem norem je IEC 61850 (ČSN EN 61850) – Komunikační síť a systémy v podřízených stanicích.

3.1 OSI model

Nezkráceně open system interconnection model je standard, popisující komunikaci a protokoly používané v počítačových a telekomunikačních sítích, jehož architektura je zobrazena na obrázku 12. Jedná se o doporučený model definovaný organizací ISO (International Organization for Standardization) vytvořený v roce 1983.

Model je složen ze sedmi vrstev a komunikace probíhá právě přes tyto vrstvy. Každá z vrstev komunikuje pouze se sousední vrstvou pomocí definovaných služeb. Jednotlivá vrstva má za úkol poskytnout službu následující vrstvě. Před přenosem dat z vrstvy do vrstvy dojde k rozdělení na segmenty a následně jsou v každé vrstvě segmenty obaleny doplňujícími informacemi.[23]

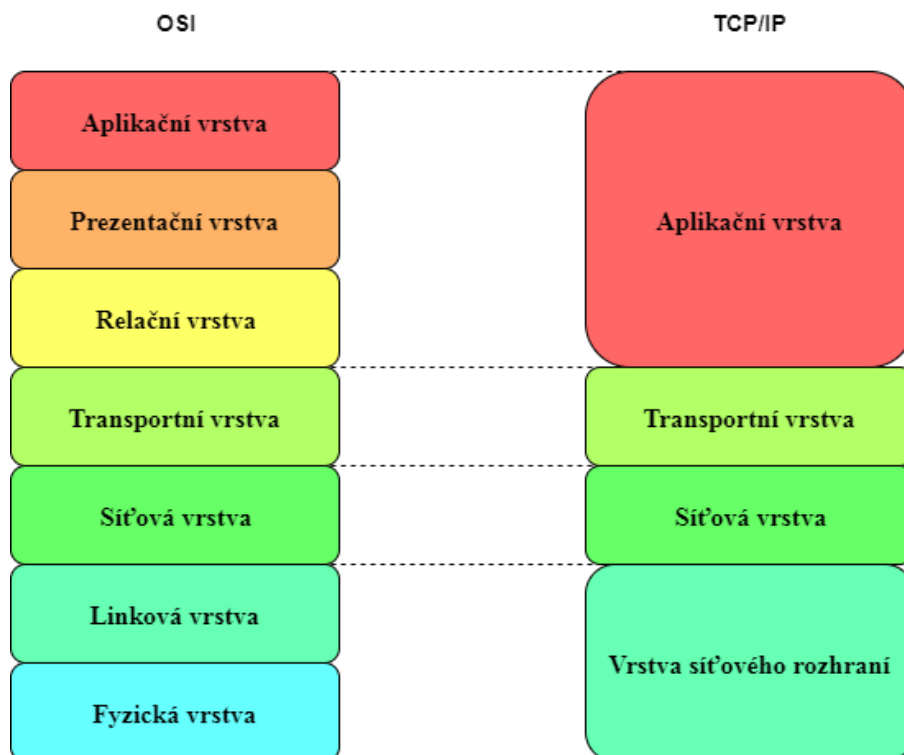
Vrstvy hierarchicky seřazené od nejvyšší po nejnižší jsou aplikační vrstva, prezentační vrstva, relační vrstva, transportní vrstva, síťová vrstva, linková vrstva a fyzická vrstva.[24]



Obrázek 12: Architektura OSI modelu [25]

3.2 TCP/IP

Protokol TCP/IP na rozdíl od modelu OSI je založen na čtyřech vrstvách místo sedmi. Opět platí jasně definovaná pravidla pro výměnu informací mezi vrstvami a jaké služby poskytuje vrstva vrstvám nad a pod. Těmito vrstvami jsou aplikační vrstva, transportní vrstva, síťová vrstva a vrstva síťového rozhraní. Přehled architektury ve srovnání s modelem ISO je zobrazen na následujícím obrázku 13.



Obrázek 13: Srovnání architektury OSI a TCP/IP

3.3 IEC 60870-5

Tato norma se v českém znění nazývá „Systémy a zařízení pro dálkové ovládání“. Část s označením 5 se zabývá přenosovými protokoly. Tyto protokoly byly zformulovány poprvé na začátku devadesátých let 20. století, za účelem vytvořit standardizované protokoly dálkového řízení a SCADA systémů. Protokoly se postupně vyvíjely a v roce 2000 byla vydána část 104, která zahrnovala aplikace TCP/IP. V současné době je tato skupina protokolů používána především v Evropě a na Blízkém východě, v oblasti Severní Ameriky převažuje standard DNP3 spravovaný organizací IEEE.

IEC 60870-5 je tzv. „open standard“, takže umožňuje kompatibilitu mezi zařízeními různých výrobců. Protokol byl od samého začátku optimalizovaný pro SCADA systémy. Především tedy k přenášení zpráv ze vzdálených systému do centrálního bodu. A zároveň k přenosu ovládacích příkazů z centrálního bodu do řízených systémů. Důraz při vzniku norem byl kladen především na spolehlivost přenosu. Za tímto účelem jsou využívány kontrolní sumy přenosu a další indikátory spolehlivosti přenosu dat. Dále byla snaha o optimální využití šířky pásma bez zaslání zbytečných dat, neboť v době, kdy byl protokol poprvé představen, byla dostupná šířka pásma velmi omezená. Nedávno také přibyla část zabývající se bezpečností, za účelem prevence neoprávněného čtení dat či ovládání stanic.

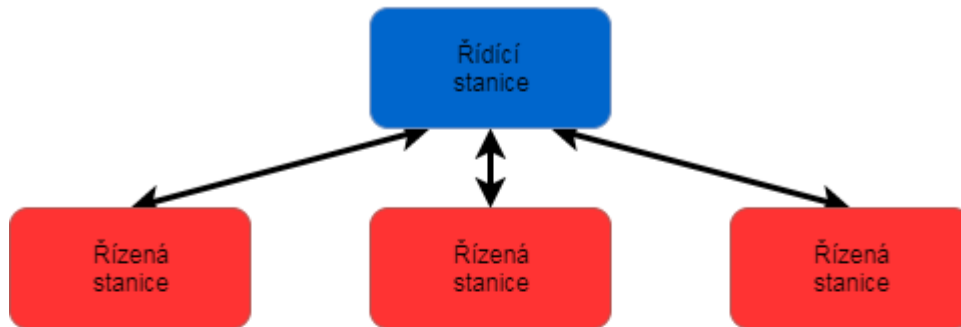
Přehled jednotlivých částí je v tabulce 2.

Označení	Název
IEC 60870-5-1	Formáty přenosového rámce
IEC 60870-5-2	Procedury linkového přenosu
IEC 60870-5-3	Obecná struktura aplikačních dat
IEC 60870-5-4	Definice a kódování aplikačních informačních prvků
IEC 60870-5-5	Základní aplikační funkce
IEC 60870-5-6	Směrnice pro zkoušení shody pro společné normy IEC 60870-5
IEC 60870-5-101	Společná norma pro základní úkoly dálkového ovládání
IEC 60870-5-102	Společná norma pro přenos integrovaných součtových hodnot v elektrizačních soustavách
IEC 60870-5-103	Společná norma pro informační rozhraní ochran
IEC 60870-5-104	Síťový přístup pro IEC 60870-5-101 používající normalizované transportní profily

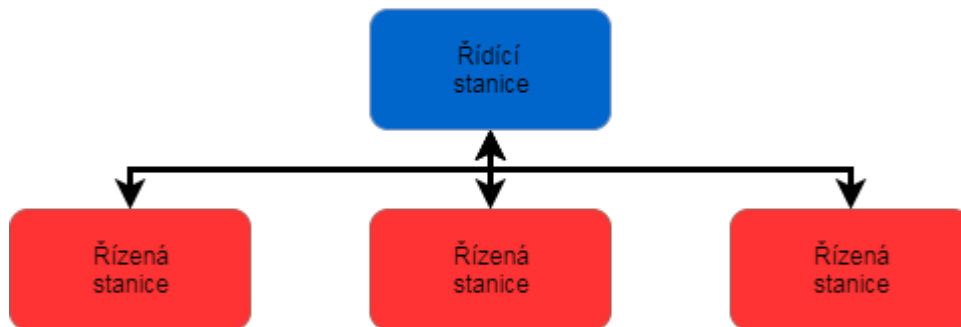
Tabulka 2: Jednotlivé části normy IEC 60870-5

V rámci těchto protokolů je podporováno více topologií. Terminologie využívá pojem řídicí stanice, na které nejčastěji běží SCADA systém. A řízené stanice, což jsou vzdálené jednotky, kterými jsou monitorované objekty osazeny. První topologie je vícenásobná point-to-point, kde každá řízená stanice má vlastní fyzické médium, kterým je připojena k řídicí stanici. Další variantou je multipoint topologie, kde řízené stanice sdílí jedno fyzické médium a rozlišení provozu z jednotlivých stanic je realizováno na linkové vrstvě. Teoreticky s topologií point-to-point je možné sestavit uspořádání ve kterém je více řídicích stanic na jednu řízenou stanici. Nejedná se o rozšířenou konfiguraci, ale je možné ji provozovat. Na obrázku 14 jsou schematicky vyobrazeny jednotlivé topologie.[26]

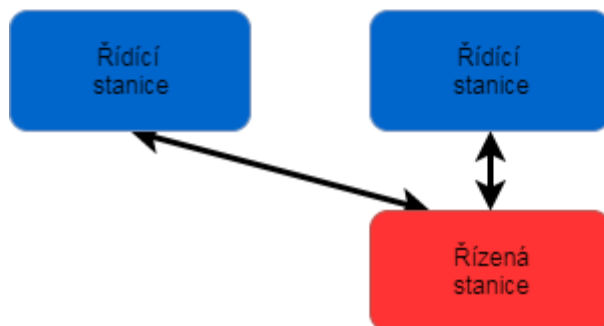
Vicenásobná point-to-point topologie



Multipoint topologie



Topologie s více řídicími stanicemi



Obrázek 14: Možné topologie připojení v rámci IEC 60870-5 [26]

V rámci normy IEC 60870-5-101 je definována architektura s třemi vrstvami na základě tzv. „Enhanced Performance Architecture“ (EPA), viz tabulka 3. Tyto vrstvy jsou aplikační, linková a fyzická. Aplikační vrstva se stará o datové objekty, vytváření události, zásobníky, příkazy, časová razítka a synchronizaci času. Linková vrstva má na starost bezchybný přenos zpráv, jedním z mechanismů toto zaručující jsou kontrolní sumy. Na této vrstvě také probíhá adresace, a je možno využít linkové potvrzování. Fyzická vrstva podporuje pouze sériový přenos včetně rádiového sériového přenosu.

"Enhanced performance architecture"	
Vybrané části protokolu	Vrstva
IEC 60870-5-5	Uživatelský proces
IEC 60870-5-4	Aplikační vrstva (L7)
IEC 60870-5-3	
IEC 60870-5-2	Linková vrstva (L2)
IEC 60870-5-1	
ITU-T doporučení	Fyzická vrstva (L1)

Tabulka 3: "EPA" vrstvy [27]

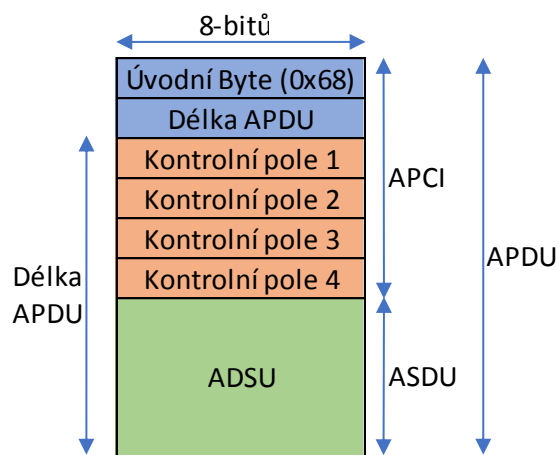
Naproti tomu IEC 60870-5-104 podporuje komunikační standard TCP/IP. Ve srovnání s vrstvami -101 normy je zde aplikační vrstva, ovšem zbylé vrstvy jsou nahrazeny TCP/IP vrstvami, viz tabulka 4. Aplikační vrstva je téměř shodná, ale specifikem je rozhraní připravené na TCP/IP vrstvy, jedná se o tzv. „-104 linkovou vrstvu“. Zbylé vrstvy a jejich funkce jsou pokryta v rámci standardního protokolu TCP/IP.

IEC 60870-5-104	
Vybrané části protokolu	Vrstva
IEC 60870-5-101 a 104	Aplikační vrstva (L7)
TCP	Transportní vrstva (L4)
IP	Síťová vrstva (L3)
RFC 894	Linková vrstva (L2)
IEEE 802.3	Fyzická vrstva (L1)

Tabulka 4: Vrstvy protokolu IEC 60870-5-104 [27]

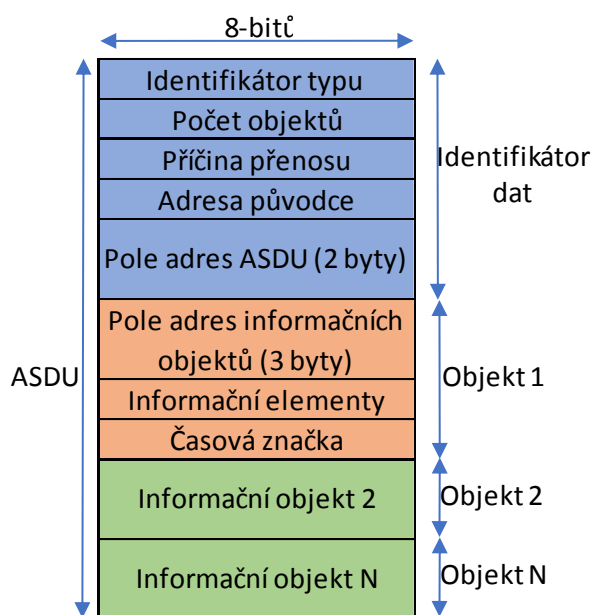
3.3.1 Datové rámce

Hlavní datovou jednotkou definovanou v protokolu IEC 60870-5 je APDU (Application protocol data unit) schematicky znázorněnou na obrázku 15. Ta se sestává z tzv. APCI (Application protocol control information) a případně k němu připojenému tzv. ASDU (Application service data unit), někdy též označovanému jako telegram. Hlavička APCI se skládá ze dvou bajtů, počáteční bajt má hodnotu 0x68 a následován je bajtem s informací o délce APDU. Zbylá část APCI je tvořena čtyřmi bytovými poli, které mají kontrolní funkci. Tato kontrolní pole mimo jiné určují, o jaký formát se jedná. I-formát slouží k přenosu informací mezi řídicí a řízenou stanicí. V rámci tohoto formátu musí být přítomno ASDU, a zároveň je definován směr výměny informací. S-formát slouží k dohledovým službám. A U-formát se využívá k výkonu kontrolních funkcí, jako příklad zde můžeme uvést příkazy, zaslané řídicí stanicí za účelem začátku nebo ukončení přenosu dat, případně ověřování funkčnosti spojení mezi stanicemi.[27]



Obrázek 15: Formát rámce APDU [27]

ASDU se skládá ze dvou hlavních částí, z datového identifikátoru a samotných dat. Data mohou být tvořena jedním nebo více informačními objekty, kterých může být až 127. Datový identifikátor obsahuje informace o typu dat, poskytuje adresaci určující zdroj dat a další doplňující informace jako například příčinu přenosu.



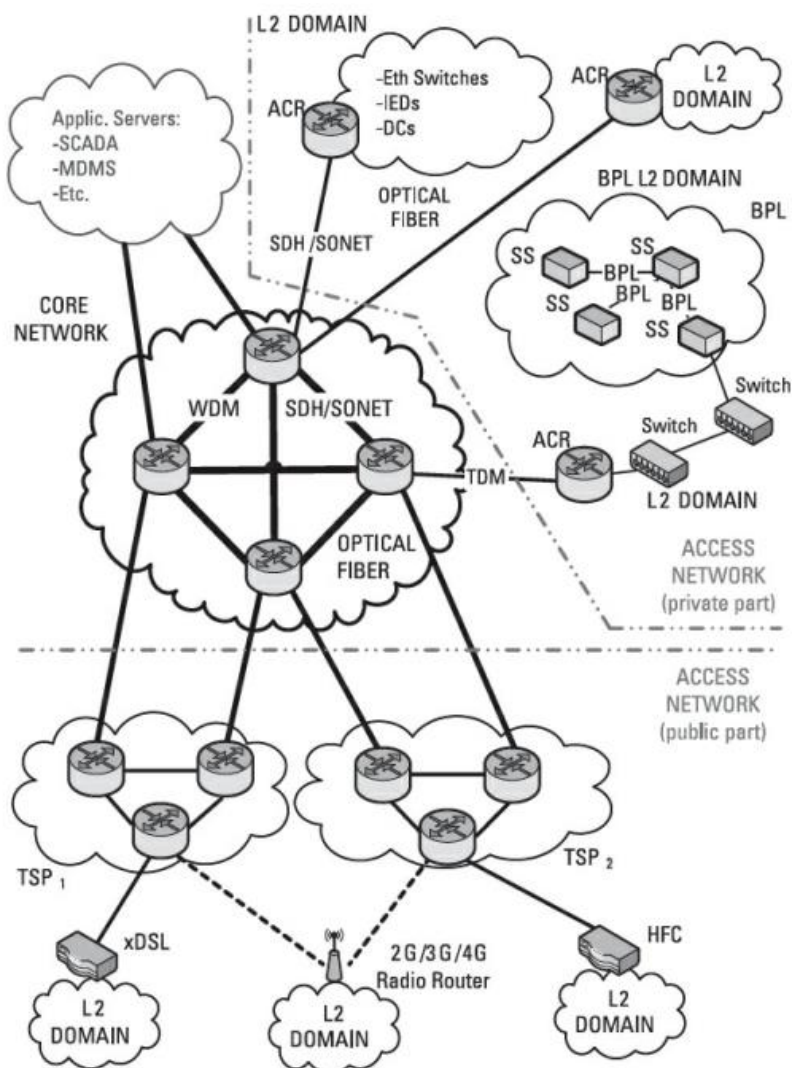
Obrázek 16: Formát ASDU [27]

Vzhledem k 8 bitům dostupným pro identifikátor typu ASDU je k dispozici až 256 typů. Číslo 0 se nevyužívá, hodnoty 1-127 jsou použity pro standardní IEC -101 typy, 128-135 jsou rezervovány za účelem směrování a zbylé jsou pro zvláštní použití. Pole počtu objektů definuje počet objektů v ASDU a vzhledem k faktu, že jeden bit je určen pro identifikaci způsobu adresace, tak v jednom ASDU může být až 127 objektů. Možné příčiny přenosu mohou být například periodický přenos, aktivace, přenos dat a další. V poli s adresou ASDU je zapsána adresa původce komunikace. V poli adres informačních objektů je společná adresa informačních objektů, tou může být adresa řízené stanice či adresa logického celku stanice. Informační elementy jsou základní jednotkou přenosu informace, jejich délka a kódování se liší podle typu.[27]

4 Komunikační technologie

Klíčovým prvkem chytré sítě jsou ICT systémy, jejich vývoj je však rychlejší než vývoj distribuční soustavy, a proto nelze tyto soustavy budovat zároveň. Cílem ICT systému je poskytnutí potřebné flexibility při správě sítě, k tomu účelu jsou využity různé komunikační technologie. Některé technologie se zaměřují na efektivní využití fyzického přenosového média, jiné zase na efektivní řízení provozu a směrování provozu v síti. Společným rysem je však neustálý vývoj těchto technologií v závislosti na požadavcích kladených na ICT systémy.

Jedna z možných architektur systému pokrývající dispečerské systémy, stanice VVN/VN a stanice VN/NN za využití současných technologií je zobrazena na obrázku 17. Jsou zde zobrazeny čtyři celky. Prvním z nich jsou podpůrné aplikační služby jako systém SCADA, MDMS (Meter Data Management System) a další analytické a podpůrné služby. Dalším celkem je páteří síť, která se stará o zajištění přenosu dat mezi aplikačními službami a přístupovými sítěmi. A poté zde máme dva celky přístupových sítí. Přístupové sítě mají za úkol připojení koncových zařízení (umístěných např. v distribučních trafostanicích) do sítě. První celek je privátní z pohledu distributora, tedy jedná se o síť provozovanou pouze pro jeho vlastní účely. Druhý celek je pak veřejná přístupová síť provozovaná třetí stranou, například celulární síť provozovaná mobilními operátory.

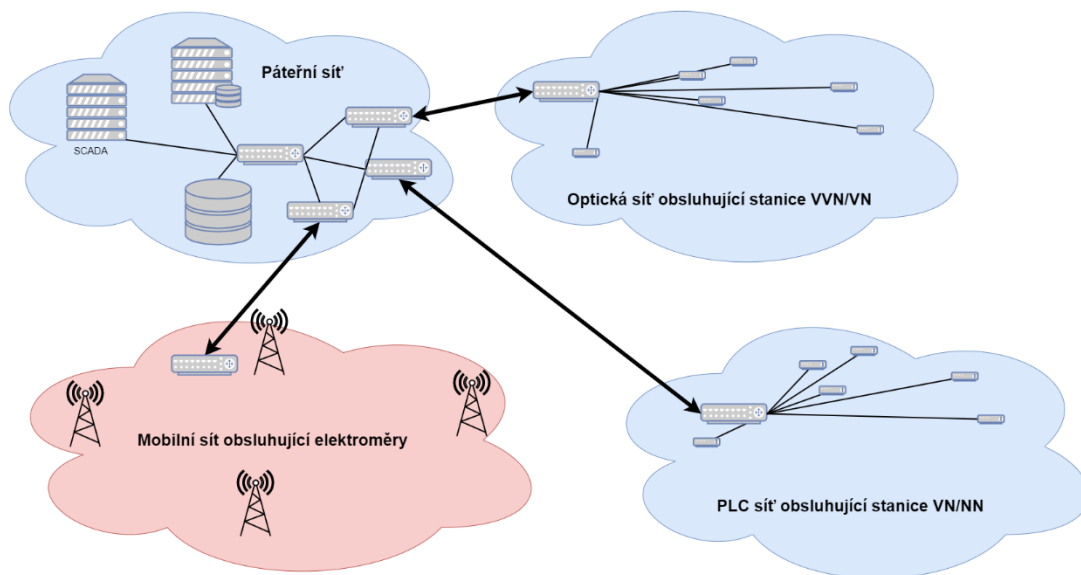


Obrázek 17: Architektura komunikační sítě PDS [28]

Jako modelový příklad lze uvést konfiguraci na obrázku 18. Páteří síť propojuje klíčové prvky komunikační infrastruktury v rámci datacenter a datových uložišť. V datových centrech běží servery poskytující potřebné služby pro monitorování a řízení sítě, například SCADA systém.

Jednotlivé komunikační prvky distribuční soustavy jsou připojeny pomocí přístupových sítí. Například stanice VVN/VN jsou pokryty optickou sítí vlastněnou PDS. Stanice VN/NN komunikují soukromou přístupovou sítí na technologii PLC. Tyto sítě jsou v privátním vlastnictví PDS.

Chytré elektroměry obsahují komunikační moduly, které využívají veřejných mobilních sítí. S pomocí těchto sítí jsou chytré elektroměry schopny přenášet data do řídicích systémů a datového uložště. Na obrázku 18 je červeně značena veřejná síť.



Obrázek 18: Modelové schéma komunikační sítě PDS

4.1 Transportní technologie

Transportní technologie se vztahují k oboustrannému přenosu dat mezi body telekomunikační sítě. Nejčastěji jsou využívány v páteří části sítě a k připojení jednotlivých segmentů k páteří síti. V rámci těchto technologií je podporována agregace více služeb, čímž dochází k dosažení vyšších přenosových rychlostí.

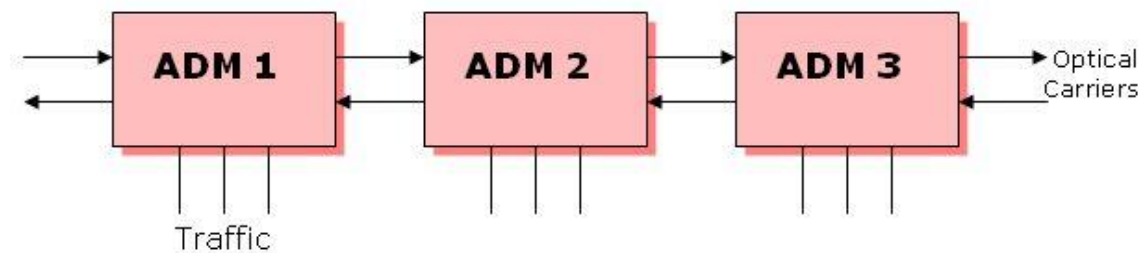
Multiplexování umožňuje využít jedno přenosové médium pro více signálů. Analogové signály nebo datové toky jsou pomocí multiplexoru zkombinovány do jednoho signálu a po přenosu jsou demultiplexorem převedeny zpět na jednotlivé signály. Časový multiplex (TDM z anglického Time Division Multiplex), jak již název napovídá, sdílí čas jako prostředek pro jednotlivé signály. Princip je takový, že se postupně přiděluje časové okno jednotlivým signálům a v daném pořadí se po přidělení časového okna všem začne opakovat toto pořadí.

Další možností multiplexování je frekvenční multiplex (FDM z anglického Frequency Division Multiplex), který jako sdílený prostředek mezi signály používá frekvenci. Každému signálu je přidělena jistá část kmitočtového pásma, na kterém může vysílat.[29] Speciálním případem je vlnový multiplex (WDM z anglického Wavelength Division Multiplexing), který se používá na optických sítích. Zde je přidělována jednotlivým signálům různá vlnová délka, tedy různá

frekvence světla. Obrovskou výhodou této technologie je navýšení přenosové kapacity bez nutnosti výměny fyzického média, a to až na rychlost 30 Tbps na optický pár.[30]

Technologie WDM se dále ještě dělí na coarse (CWDM) a dense (DWDM). Rozdíl je především v možnosti dělení vlnových délek. Technologie CWDM používá mnohem hrubší dělení a zařízení jsou tedy levnější než zařízení DWDM, ale poskytují také nižší přenosové rychlosti.

SDH/SONET (Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network) protokoly vývojově navazují na TDM. V rámci této hierarchie jsou v uzlech ADM (Add Drop Multiplexers), které umožňují vstup či výstup signálu viz schéma na obrázku 19. Výhodou oproti TDM je jednodušší vstup/výstup signálu, lepší dostupnost a snížení režie na zapouzdření signálu.[31] Tato technologie je postupně nahrazována technologií Ethernet.



Obrázek 19: Schéma ADM na uzlech [32]

OTN (Optical Transport Network) byla nadefinována, aby podporovala WDM na rozdíl od SDH/SONET. Často se tato technologie označuje jako tzv. digitální wrapper pro různé služby. Skládá se ze tří vrstev: digitální vrstva, vrstva optického kanálu a vrstva média. Pomocí této architektury je OTN dostatečně flexibilní, aby mohla přenášet aplikační pakety a aby mohla zapouzdřit jakýkoliv provoz z ostatních transportních technologií jako WDM, SDH/SONET a Ethernet. Navíc OTN poskytuje lepší správu chyb (FEC – Forward Error Correction), monitorování výkonnosti, vylepšenou škálovatelnost a ochranné mechanismy. [33]

4.2 Technologie přepínání a směrování

Technologie přepínání a směrování jsou využívány k řízení provozu v síti. Řízení je prováděno nad transportními technologiemi a fyzickým médiem a cílem je dostat data z výchozího bodu do požadované cílové destinace. Každý paket dat je poslán na další uzel sítě, tento proces se opakuje, dokud není dosažena finální destinace (adresa). Původně byly tyto technologie vyvinuty k užití v lokálních sítích, ale s rozvojem internetu a samotných technologií došlo k nasazení i v globálních sítích.

Ethernet, jak je definován v IEEE 802.3-2012, definuje rámec pro datovou komunikaci. V rámci ethernetu jsou pokryty dvě nejnižší vrstvy OSI modelu. Ethernet definuje různé datové propustnosti různými fyzickými médii, jako příklad lze uvést 10 Mbps přes koaxiální kabel, kroucenou dvojlinku nebo optické vlákno. Dnes tzv. Fast Ethernet poskytuje propustnost 100 Mbps přes kroucenou dvojlinku a optické vlákno, ale existují i tzv. Gigabit Ethernety schopny dosáhnout propustností 1, 10, 40 popř. 100 Gbps. K identifikaci počáteční a koncové destinace každého rámce slouží adresy, tato adresace je založena na MAC adresách síťových rozhraní. Vždy, když se nové zařízení připojí do této sítě, dojde k procesu, ve kterém je identifikováno síťové rozhraní a dojde k úpravě sítě, aby bylo rozhraní k dispozici.

Internet protocol (IP) byl původně vytvořen k užití v síti internet, ovšem jeho jednoduchost, škálovatelnost a flexibilita proměnila tento protokol v nejpoužívanější protokol na síťové vrstvě. Za pomoci tohoto protokolu je možné přenášet segmenty dat z původní destinace do finální

destinace, ty jsou identifikovány pomocí adres.[34] Na rozdíl od ethernetu není adresace založena na MAC adresách, ale na 32-bitových (IPv4) číslech reprezentujících síťové rozhraní. V rámci tohoto protokolu jsou segmenty dat posílány z jednoho uzlu sítě do dalšího. Rozhodnutí o následném síťovém uzlu je provedeno na základě známé konfigurace nebo dynamicky na základě směrovacích protokolů (např. RIP – Routing Information Protocol nebo OSPF – Open Shortest Path First). Vzhledem k limitaci počtu adres protokolu IPv4 již byl definován IPv6.

Multiprotocol label switching (MPLS) je protokol, který byl vyvinut za účelem zjednodušení způsobu, kterým jsou data směrována do dalšího uzlu sítě. Celá procedura je založena na označování datových segmentů a následně síťové prvky pouze na základě těchto značek směřují data do sousedního uzlu. Každý prvek sítě má uloženou tabulku těchto značek, ve které je uloženo do kterého následujícího uzlu má být příslušně označený datový segment nasměrován. Tento způsob je sice jednoduchý a flexibilní, ovšem je nutno nejdříve nadefinovat jednotlivé cesty mezi dvěma koncovými uzly. Každá takto definovaná cesta má vlastní značku, kterou je následně nutno vložit s příslušnými informacemi do tabulky v jednotlivých uzlech na dané cestě.

4.3 Power Line Communication (PLC)

PLC technologie nabízí přenos dat pomocí silových vodičů. Výhodou této technologie je možnost využití současných vedení bez nutnosti pokládky nových vodičů. Tím se tato technologie stává zajímavou pro mnohé aplikace v různých oblastech, jak již v automatizaci domácnosti či smart home nebo pro pochytrání distribuční či přenosové soustavy. Rychlému rozvoji této technologie však brání technické komplikace, především s elektromagnetickou kompatibilitou. Pro některé aplikace může být limitující přenosová rychlost, ta bývá s vyšší frekvencí vyšší, ovšem na úkor dosahu.

V závislosti na použité frekvenci se dělí technologie do podkategorií. Broadband PLC (BPLC) operuje v rozmezí 1,8 MHz až 250 MHz, dosah bývá v řádu až stovek metrů v závislosti na frekvenci a kvalitě vedení, a přenosová rychlost může být až stovky Mbps. Narrowband PLC (NPLC) technologie operují v pásmech 3 kHz až 500 kHz, dosah bývá v řádech stovek metrů až jednotek kilometrů, a přenosová rychlost se pohybuje v řádu jednotek kbps až stovek kbps. Ultranarrowband PLC operuje v pásmech v rozmezí 30 Hz až 3 kHz, s dosahem až stovek kilometrů s velmi nízkou přenosovou rychlostí okolo 100 bps.[35]

Ani jedna z těchto kategorií však není standardizována a existuje mnoho institucí či aliancí, které se snaží standardy vytvořit. Lze zmínit například Open PLC European Research Alliance (OPERA), která se zaměřuje na využití BPLC na vedení VN a NN. V [36] se podařilo demonstrovat praktickou proveditelnost této technologie a možnost využití této technologie za účelem pochytrání distribuční sítě.

4.4 Radiové technologie

Specifikem radiových technologií je využití atmosféry jako média k šíření dat v podobě elektromagnetických vln. To činí tuto technologii jednoduchou na implementaci. Všechny radiové technologie využívají tohoto fyzikálního principu, liší se však v použité frekvenci elektromagnetického vlnění a tím i vlastnostmi, jako je dosah a přenosová rychlost. Obecně lze říct, že s vyšší frekvencí je k dispozici vyšší přenosová rychlost, ovšem dosah klesá.

WiMAX je radiová technologie specifikována jako IEEE 802.16 pro bezdrátové metropolitní síť (WMAN). Tato technologie měla doplnit domácí WiFi síť a poskytnout připojení domácích sítí k internetu. Nemobilní síť WiMAX mohou být použity jako páteřní pro mobilní připojení 2G, 3G a 4G. Fyzická vrstva této technologie definuje dvě různá pásma, první mezi 10 a 66 GHz,

kteří vyžaduje nepřerušovaný výhled vysílače na přijímač (Line of Sight – LOS). Druhé pásmo pod frekvencí 11 GHz, které nevyžaduje striktně nepřerušovaný výhled.

WiFi označuje technologie specifikované ve standardu IEEE 802.11. V těchto standardech jsou popsány způsoby připojení jak fixních, tak mobilních zařízení bezdrátovou technologií v rámci lokální sítě. V rámci těchto standardů lze vytvořit i smíšenou topologii lokální sítě. Nejpoužívanější pásma jsou 2,4 GHz a 5 GHz.

Celulární sítě prošly obrovskou evolucí za účelem přenosu hlasu a dat. Poslední generace podporují přenosové rychlosti desítky megabitů za sekundu s velmi nízkou dobou odezvy. Hlavním technologickým vylepšením je efektivita využití spektra (kolik dat lze přenést na jednotku pásma). V současné době jsou v provozu sítě 2G, 3G a 4G a komerční provoz sítě 5G je očekáván v následujících letech. Od 3G jsou požadavky na sítě unifikovány Mezinárodní telekomunikační unií (International Telecommunication Union – ITU).

Z evropských standardů lze jmenovat následující. Global system for mobile (GSM) nabízí kvalitní přenos hlasu a rychlost přenosu dat 9,6 kbps. General packet radio service (GPRS) je evoluce GSM. Maximální přenosová rychlost je 170 kbps, ale komerčně bývalo k dispozici 10 kbps. Tyto technologie spolu s technologií EDGE jsou označovány jako 2,5G. Do technologií 3G patří Universal mobile telecommunications systém (UMTS) z ní se vyvinula technologie High-speed packet access (HSPA) a následně HSPA+. Jako technologie 4G je označována mimo jiné Long-Term Evolution (LTE) s přenosovými rychlostmi přes 100 Mbps.

Energeticky úsporné technologie si kladou za cíl umožnit zařízením fungovat několik let na baterie bez nutnosti jiného elektrického zdroje. Jednou z takových technologií je ZigBee, která je spravována ZigBee aliancí. Pokrytí se pohybuje v řádu stovek metrů a přenosové rychlosti v řádu kbps. Je možno vytvořit jak hvězdicovou topologii, tak i smíšenou topologii. Použitá pásma jsou 868 - 868,9, 902–928 a 2400 - 2483,5 MHz.

Další energeticky úspornou technologií je LoRaWAN která cílí na tzv. internet věcí (Internet of Things – IoT). Spravována je LoRa aliancí. Přenosová rychlost je až 50 kbps a pokrytí až jednotky kilometrů. Typická je hvězdicová topologie a použitá pásma se liší podle regionů. V Evropě se používá pásmo 867–869 MHz a v USA 902 - 928 MHz.[37] Podobně je na tom technologie SigFox, která využívá stejná pásma a topologii, síť ovšem provozuje ve vlastní režii.

4.5 Kabelové technologie

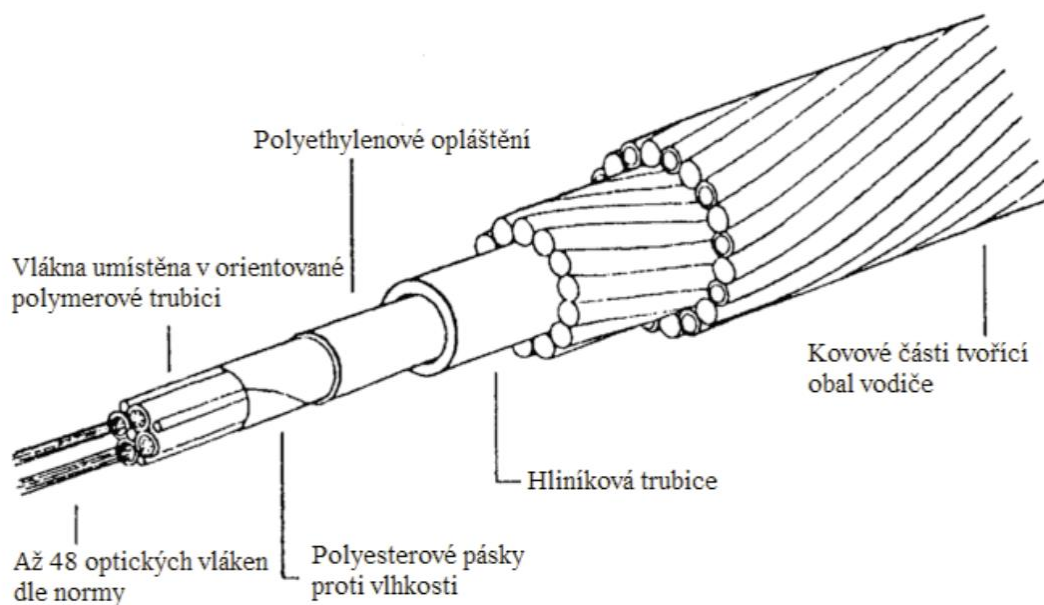
Fyzickým médiem, které kabelové technologie využívají, jsou buďto kovové vodiče nebo optická vlákna. Nejčastěji použitým typem kabelu s kovovým vodičem je koaxiální kabel a kroucená dvojlanka. Optické kabely jsou složeny z vláken, která jsou schopna vést světelné pulzy.

V současné době se využívá několik tzv. oken vlnové délky světelných pulzů, které se využívají k přenosu dat. První okno je okolo vlnové délky 850 nm, dosah je až 10 km a přenosové rychlosti až 40 Mbps. Druhé okno okolo 1300 nm nabízí dosah až 50 km a přenosové rychlosti až 1 Gbps. Třetí okno okolo 1550 nm je schopno přenést signál na vzdálenost až 80 km a dosahovat rychlostí až 10 Gbps. Čtvrté okno operuje na stejné vlnové délce jako okno třetí, ovšem umožňuje využití optických zesilovačů, tím je dosaženo přenosu signálu na vzdálenost až 11600 km s přenosovou rychlostí 5 Gbps.

Nespornou výhodou optických vlnovodů je možnost integrace do silových vedení, kde jsou kladeny vysoké nároky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC). Jedním takovým typem je kombinované zemní lano (KZL), což je zemní lano s optickými vlákny. KZL je používáno na venkovních přenosových vedeních a zcela nahrazuje mechanické a elektrické vlastnosti zemního

lana. Primární účel KZL je stejný jako zemního lana, a to ochrana proti atmosférickým vlivům a uzemnění, navíc tedy poskytuje možnost tvorby optických sítí.

Konstrukce takového kombinovaného zemního lana je vidět na následujícím obrázku 20. Jádro lana je složeno z optických vláken, která jsou uložena v trubicih. Trubice s optickými vlákny jsou izolovány proti vlhkosti polyesterovými pásky a od vodivých částí odděleny polyethylenovým pláštěm. Následuje hliníková trubice, na kterou navazuje kovová část lana, která zajišťuje požadované mechanické a elektrické vlastnosti lana. Optická vlákna je také možno umístit do fázových vodičů, toho se s výhodou využívá u stožárů, které nemají zemní lano.[38]



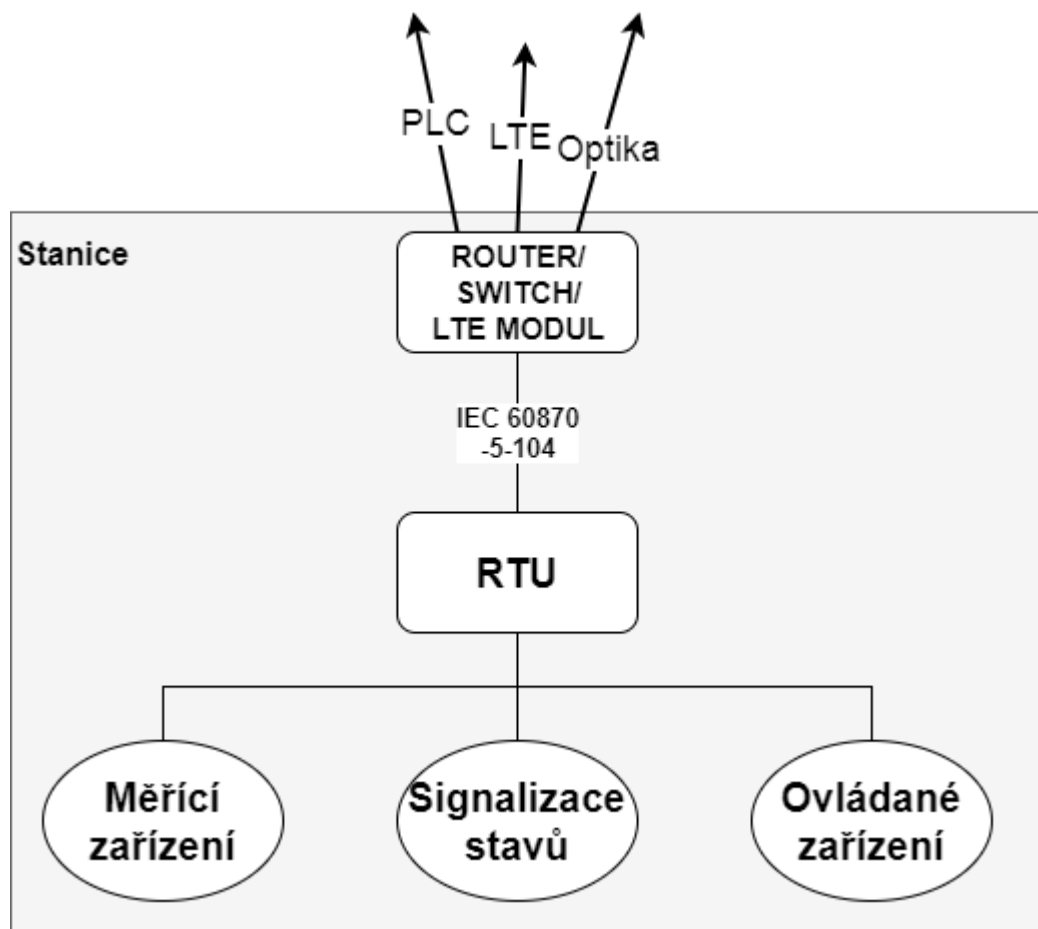
Obrázek 20: Konstrukce kombinovaného zemního lana [38]

5 Modelová stanice

V rámci této práce jsem vypracoval model chytré distribuční trafostanice VN/NN, na kterém jsem následně zkoumal jednotlivé komunikační úlohy a přenášené objemy zpráv. Jako vstupní data pro model sloužila data získaná během pilotního projektu společnosti PREdistribuce. Na obrázku 21 je zjednodušené schéma chytré distribuční trafostanice. Komunikační technologie, pomocí které může být stanice připojena, je závislá na zvolené komunikační komponentě. V úvahu připadá komunikace pomocí PLC na silovém vedení, optické sítě nebo mobilní sítě, na schématu reprezentované technologií LTE. Volba, kterou z těchto technologií využít, bude vždy závislá na lokalitě instalace a dostupnosti jednotlivých technologií.

Ústředním bodem chytré stanice je RTU (remote terminal unit), což je zařízení sloužící jako rozhraní mezi technologií stanice a dispečerským řídicím systémem. Toto zařízení komunikuje s dispečerským systémem pomocí protokolu IEC 60870-5-104. Jako alternativní standard by mohl být použit DNP3 protokol či jiný protokol, ale vzhledem k nasazení protokolu IEC 60870-5 v pilotní fázi projektu společnosti PREdistribuce jej využívám i v modelové stanici.

RTU zároveň zpracovává a vyhodnocuje informace z různých periférií chytré stanice. Tyto periférie komunikují pomocí sériové linky. Na schématu na obrázku 21 jsou zobrazeny 3 hlavní skupiny periférií. První z nich, měřicí zařízení, měří jednotlivé fyzikální veličiny, především proud, napětí a výkon. V případě požadavků může být měřena i provozní teplota jednotlivých komponent, či jiné provozní parametry. Další skupinou jsou zařízení, které signalizují stavy jednotlivých přístrojů, může se jednat o poruchové stavy, nebo provozní stavy. Poruchový stav může být například výpadek napájení ovládacích prvků, nebo výpadek napětí na NN straně. Provozní stav říká, zda je zařízení zapnuto, vypnuto nebo v neznámém stavu. Třetí skupinou jsou ovládaná zařízení, pomocí nichž lze vzdáleně ovládat jednotlivé přístroje ve stanici.



Obrázek 21: Schéma modelové chytré stanice

5.1 Popis komunikačních úloh

Modelovou stanicí je možné vzdáleně monitorovat a provádět vzdáleně základní ovládací úkony. Nejedná se tedy o chytrou stanicí s plnou autonomií, která na základě naměřených veličin a algoritmů provádí rekonfiguraci. Pro vlastní rekonfiguraci je zapotřebí celá řada dalších informací, které jsou dostupné v nadřazeném systému SCADA.

Za účelem monitorování stanice jsou definovány úkoly, které přenášejí naměřená data nebo zprávy o událostech do řídicího systému, měřené veličiny na distribuční trafostanici jsou shrnuty v tabulce 5.

Z hlediska měření VN části stanice je uvažováno sdružené napětí mezi fázemi, proud v jednotlivých fázích, činný a jalový výkon. V závislosti na počtu VN přívodů je nutno tento měřicí celek započítat vícekrát. V rámci modelové stanice počítám s dvěma VN přívody. Na straně NN je měřeno fázové napětí na jednotlivých fázích, proud v jednotlivých fázích a činný a jalový výkon. Tyto veličiny jsou měřeny na společné sběrnici NN pro všechny vývody. S výhledem do budoucnosti mohou být monitorovány i jednotlivé vývody. V rámci modelu počítám pouze s monitorováním přípojnice.

Distribuční trafostanice	
VN část	NN část
Měření sdruženého napětí L ₁ -L ₂	Měření fázového napětí U _{L1}
Měření sdruženého napětí L ₂ -L ₃	Měření fázového napětí U _{L2}
Měření sdruženého napětí L ₁ -L ₃	Měření fázového napětí U _{L3}
Měření proudu I _{L1}	Měření proudu I _{L1}
Měření proudu I _{L2}	Měření proudu I _{L2}
Měření proudu I _{L3}	Měření proudu I _{L3}
Měření činného výkonu P	Měření činného výkonu P
Měření jalového výkonu Q	Měření jalového výkonu Q

Tabulka 5: Měřené veličiny na distribuční trafostanicích

Kromě odesílání naměřených hodnot se zasílají zprávy o stavu a provozních polohách vybraných prvků. Jedná se o provozní stavy odpínače a uzemňovače na straně VN a jističe na straně NN. Standardně jsou definovány stavy zapnuto, vypnuto, porucha a mezipoloha.

Samozřejmostí je i monitorování poruchových stavů, v rámci komunikace s řídicí stanicí jsou přenášeny informace o začátku a konci těchto stavů. Na straně NN se jedná o ztrátu napětí anebo vypnutí nadproudové ochrany (vybavení jističe). Na straně VN jsou monitorovány poruchy v síti (konkrétně zkraty), u kterých je následně rozlišováno, na které fázi došlo k poruše a ve kterém směru. V rámci monitorování poruchových stavů zařízení jsou definovány i poruchové stavy na komunikačním a pomocném zařízení. Těmito stavy jsou ztráta časové synchronizace a ztráta komunikace mezi řídicím systémem a podřízenou jednotkou. Dále na usměrňovači, ze kterého je zařízení napájeno, jsou definovány poruchové stavy: ztráta střídavého napětí, vnitřní porucha a pokles kapacity baterie, která se nachází v záložním zdroji. Na závěr je zde signalizace stavu, při kterém jsou otevřeny dveře stanice.

Za účelem vzdáleného ovládnutí jsou definovány úkoly, které mají z řídicí do řízené stanice přenést instrukce k vypnutí nebo zapnutí ovládaného zařízení. V tomto případě lze takto ovládat odpínač na straně VN a jistič na straně NN. Pro ovládnutí těchto prvků jsou zapotřebí pohony. Jsou přenášeny poruchové hlášky „ztráta ovládacího napětí“ a „ztráta napětí pro pohony“, a to z toho důvodu, aby se dispečer o případném problému s ovládnutím dověděl dříve, než bude nutno ovládat.

5.2 Počet přenášených zpráv

V rámci protokolu IEC 60870-5 jsou k dispozici dva různé postupy přenosu. První z nich je nevyvážený přenos. Při této metodě je řídicí stanicí kontrolován přenos zpráv pomocí postupného dotazování řízených stanic. A při vyváženém přenosu může komunikaci inicializovat i řízená stanice. V případě binárních veličin (signalizace stavu či poruch) dojde k odeslání zprávy do řídicí stanice v případě změny veličiny. V případě měřených veličin dojde k odeslání zprávy pomocí kontrolních mechanismů, které mají nastavené parametry, pomocí kterých vyhodnotí, zda danou hodnotu veličiny odeslat do řídicí stanice. Tyto parametry byly v rámci pilotního projektu empiricky nastaveny.

Z podstaty jednotlivých komunikačních úkolů lze řádově odhadnout počet zpráv za časové období. Nepředpokládám, že by bylo zapotřebí desítek zpráv o poruchových stavech na jedné stanici denně. Nebo že by pravidelně každý den docházelo k desítkám vzdálených ovládnutí

úkonů. Naopak v rámci monitoringu očekávám, že zprávy s aktuálními hodnotami měřených fyzikálních veličin bude nutné odesílat mnohokrát v rámci několika minut. Abych potvrdil nebo vyvrátil tuto domněnku, tak jsem analyzoval reálné počty odeslaných zpráv získané exportem z dispečerského systému PRE. Počty zpráv poslaných z jedné stanice za jeden týden jsem sečetl a rozřadil podle příslušných úloh. Výsledky jsou zapsány v tabulce 6.

Skupina úloh	Počet zpráv
Signalizace stavů	30
Signalizace poruch	69
Měření VN	31 170
Měření NN	45 766

Tabulka 6: Počty zpráv za týden na jednu stanici podle skupin úloh

Jak je z tabulky 6 patrné, během týdenního provozu stanice bylo zapotřebí celkem více jak 77 tisíc zpráv. Z toho pouze minimum připadalo na signalizaci stavů a poruch, přibližně 100. Zbylé zprávy byly využity k přenosu naměřených veličin. Pro dva měřené VN přívody bylo zapotřebí přibližně 31 tisíc zpráv na měřené VN veličiny. Na straně NN, kde byly měřeny veličiny na společné sběrnici, bylo zapotřebí skoro 46 tisíc zpráv během jednoho týdne. Zprávy potřebné pro ovládací povely zde nejsou uvedeny, ale jejich počty předpokládám přibližně stejné jako u skupiny signalizace stavů.

Na základě těchto údajů jsem identifikoval monitorovací úlohy, při nichž dochází k přenosu naměřených veličin jako nejnáročnější na datové přenosy, proto se v následující části věnuji této problematice podrobněji, a budu se snažit najít vhodná optimalizační opatření.

5.3 Měřené spojitě veličiny

Svět okolo nás považujeme za spojitý, stejně tak i průběhy většiny fyzikálních veličin. Pokud bychom chtěli dokonale popsat průběh spojitě veličiny, potřebovali bychom nekonečně mnoho bodů. Takto dokonalá nejsou v současné době ani měřicí zařízení, pomocí kterých měříme tyto veličiny. Při použití měřicího zařízení s vzorkovací frekvencí v řádech kHz dostaneme tisíce vzorků za vteřinu. To sice není spojitý průběh, ale pro účely monitoringu vybraných veličin v energetice dostačující. V případě chytré stanice následují další úzká hrdla v podobě RTU, který má omezené výpočetní schopnosti, a sériové komunikaci s měřidly. Zde se dotazovací perioda pohybuje v řádech stovek milisekund až sekund. Lze tedy říct, že na úrovni RTU máme diskrétní průběh s vzorkovací periodou desetin až jednotky sekund.

Pokud bychom chtěli přenášet do řídicí stanice takovýto průběh, tak při vzorkovací periodě jedna vteřina bychom za jeden den potřebovali 86 400 zpráv na jeden průběh. To při měření patnácti průběhů v rámci jedné stanice činí přibližně 1,3 miliónu zpráv denně. V rámci monitorování stanic však nejsou zapotřebí takto detailní informace, proto stačí odesílat zprávu s naměřenou veličinou v delších intervalech.

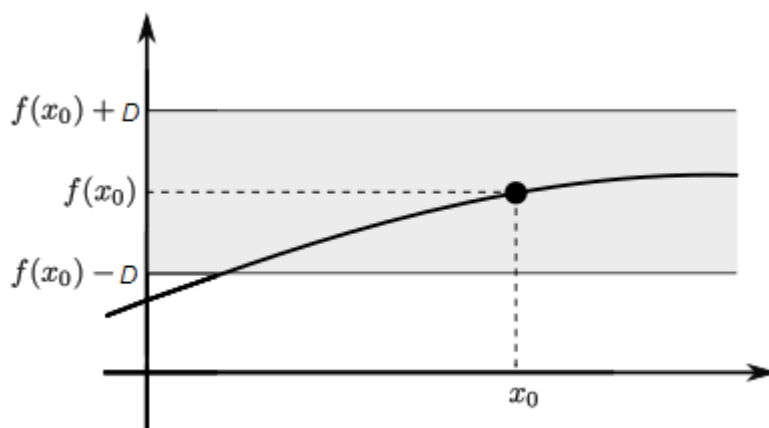
První z možností jak toho dosáhnout je nastavit časovač, který bude v pravidelných intervalech odesílat naměřenou veličiny do řídicí stanice. Jedná se o velmi jednoduchou metodu, která ovšem neposkytuje žádné informace o průběhu veličin mezi odeslanými hodnotami. Může tedy dojít ke špičce, která v řídicí stanici nebude vůbec zaznamenána. Aby se předešlo takovým situacím, tak byly navrženy mechanismy, které odesílají zprávy ne na základě uplynutí nastaveného časového úseku, ale na základě průběhu měřené veličiny. Tyto mechanismy následně zasílají zprávy na základě vyhodnocení delta a integrálního kritéria. Mechanismy mohou být spouštěny pouze delta

kritériem, nebo integrálním kritériem, nebo jejich kombinací. Kadence odesílání zpráv je závislá na nastavené citlivostní hladině jednotlivých kritérií.

Delta kritérium porovnává aktuální hodnotu s poslední odeslanou hodnotou, v případě, že jejich rozdíl v absolutní hodnotě je větší než nastavená hladina citlivosti, tak se aktuální hodnota odešle do řídicí stanice. Následující výraz (rovnice 1) popisuje delta kritérium a podmínku pro odeslání zprávy, D je hladina citlivosti tohoto kritéria, $Y(t)$ je aktuální hodnota měřené veličiny a $Y(p)$ je poslední hodnota odeslaná do řídicí stanice.

$$|Y(t) - Y(p)| > D$$

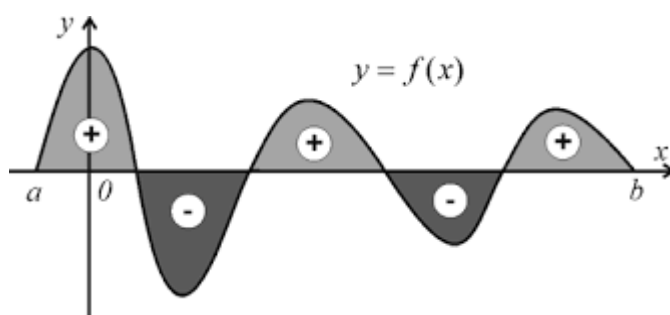
Rovnice 1: Delta kritérium



Obrázek 22: Delta kritérium (upraveno z [39])

Na obrázku 22 je znázorněno delta kritérium na blíže nespecifikované funkci. V době x_0 došlo k odeslání zprávy. Delta kritérium bude znovu aktivováno v případě, že by průběh funkce opustil vymezený šedivý pruh. Šířka vymezeného pruhu je závislá na velikosti citlivostní hladiny D .

Integrální kritérium načítá velikost plochy pod průběhem funkce, tato plocha je vztažena k poslední odeslané hodnotě. Lze tedy říct, že načítá velikost plochy pod průběhem změny veličiny.



Obrázek 23: Integrální kritérium[40]

Dle obrázku 23 došlo v čase „a“ k odeslání hodnoty, od té doby se načítala velikost plochy pod grafem vztažená k poslední odeslané hodnotě (zde vztaženo k 0). U hodnot větších, než poslední odeslaná hodnota je plocha pod průběhem započítávána s kladným znaménkem, u hodnot nižších než poslední odeslaná hodnota dochází naopak započítání plochy pod grafem se záporným znaménkem. V případě, že velikost této plochy v absolutní hodnotě přesáhne nastavenou hladinu citlivosti, tak dojde k odeslání aktuální hodnoty měřené veličiny do řídicí stanice.

Jelikož se v RTU nejedná o spojitý průběh, ale o diskrétní, tak výraz popisující toto kritérium neobsahuje integrál, ale sumu. Toto kritérium je popsáno následujícím výrazem (rovnice 2), kde I je hladina citlivosti integrálního kritéria, Δt je vzorkovací perioda diskrétního průběhu, $Y(k)$ je hodnota měřené veličiny v čase k a $Y(p)$ je poslední odeslaná hodnota do řídicí stanice.

$$\Delta t * \left| \sum_{k=p+1}^t (Y(k) - Y(p)) \right| > I$$

Rovnice 2: Integrální kritérium

Je logické, že čím nižší budou hladiny I a D , tím více bude přenašeno zpráv. S rostoucím počtem zpráv bude růst i shoda průběhu dostupného v řídicí stanici s reálným průběhem. Jako kritérium, pomocí kterého jsem hodnotil shodu průběhů jsem si zvolil směrodatnou odchylku. Předpis pro výpočet směrodatné odchylky je zapsán v rovnici 3.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z(i) - Y(i)]^2}{n}}$$

Rovnice 3: Směrodatná odchylka

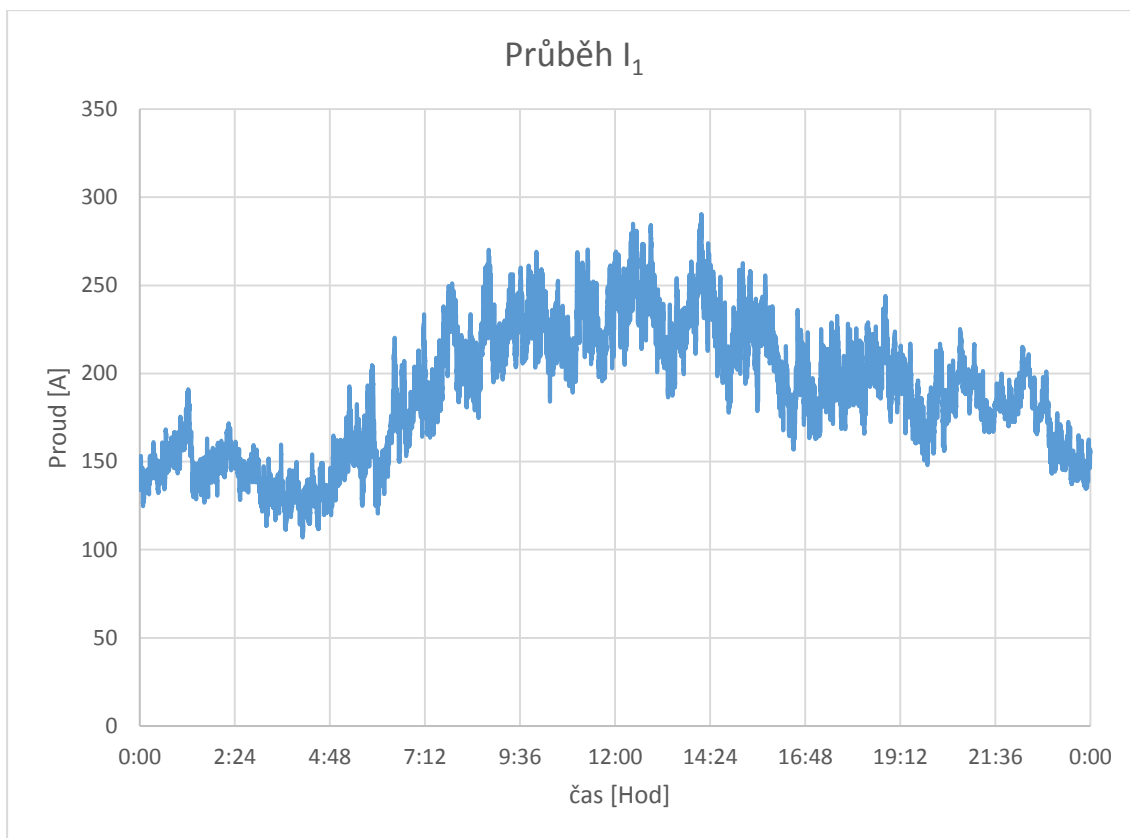
V tomto výrazu je σ směrodatná odchylka, Y je původní průběh veličiny, Z je průběh veličiny poskládaný na základě zpráv odeslaných do řídicí stanice a n je počet bodů, ze kterých je průběh Y v daném časovém období poskládán. U směrodatné odchylky platí, že čím nižší směrodatná odchylka je, tím více průběh v řídicí stanici odpovídá reálnému průběhu.

5.3.1 Optimalizace počtu zpráv

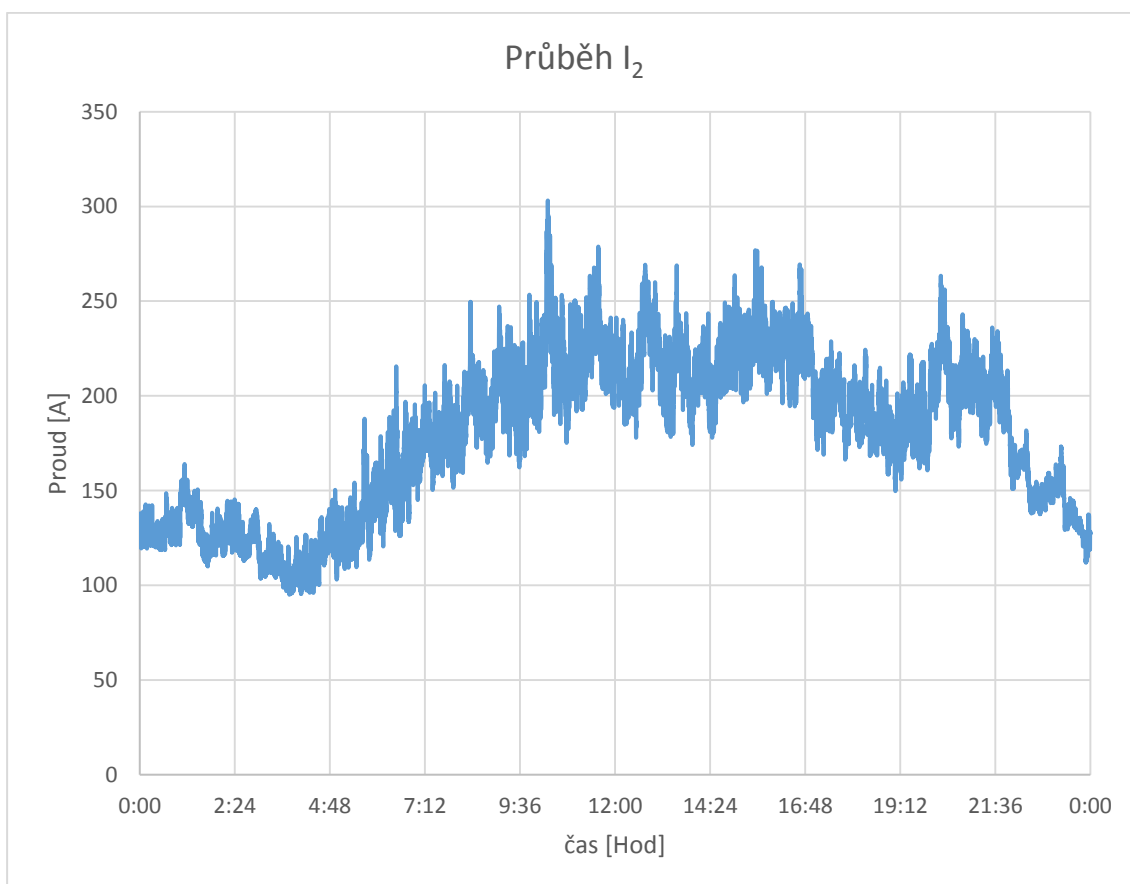
Výchozí data, která jsem měl k dispozici, byla naměřena na jedné ze stanic, zařazené do pilotního projektu společnosti PREdistribuce. Touto stanicí je TS 4593 nacházející se v Břevnově. Data jsou mimo jiné v podobě pětivteřinových průměrů z NN přípojnice. Naměřeny byly průběhy fázového napětí U_1 , U_2 a U_3 , proudu I_1 , I_2 a I_3 , činného výkonu P a jalového výkonu Q . Pro každý průběh se jednalo o 17 280 hodnot zachycených během dne. Na ukázkou zde uvádím denní průběhy jednotlivých veličin měřených na přípojnici NN viz grafy 1-8.

V závislosti proudů na čase lze pozorovat vysokou variabilitu hodnot. To je dáno relativně malým počtem zákazníků a jejich způsobem odběru elektřiny, jedna stanice VN/NN obsluhuje v průměru přibližně 240 zákazníků. Obecně platí, že čím více zákazníků je agregováno tím je nižší variabilita hodnot.

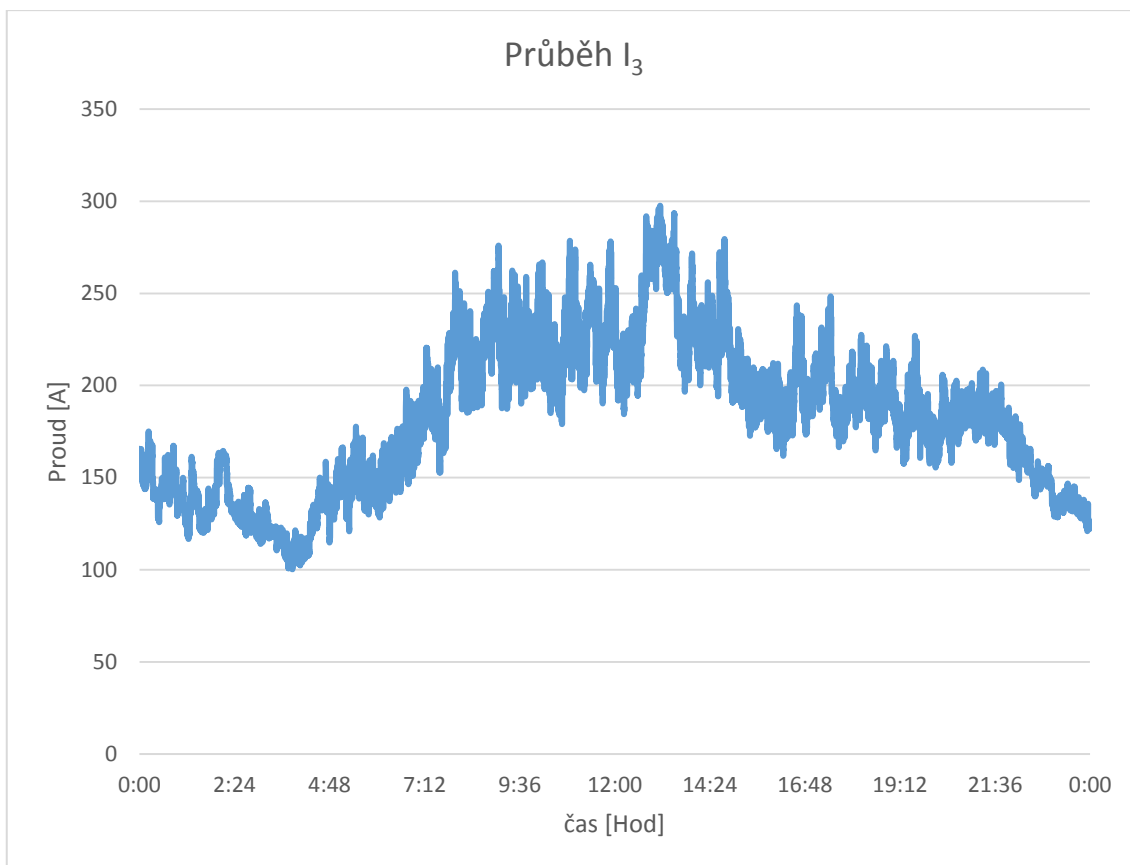
Průběh napětí v síti je monitorován a v případě potřeby je napětí regulováno. Na denním průběhu napětí jsou pozorovatelné zásahy odbočkových regulátorů transformátorů VVN/VN, viz grafy 5-7. K těmto zásahům došlo během pozorovaného dne přibližně v 5:30, 9:00, 20:00 a 23:30. Tyto zásahy jsou v průbězích označeny červenou šipkou.



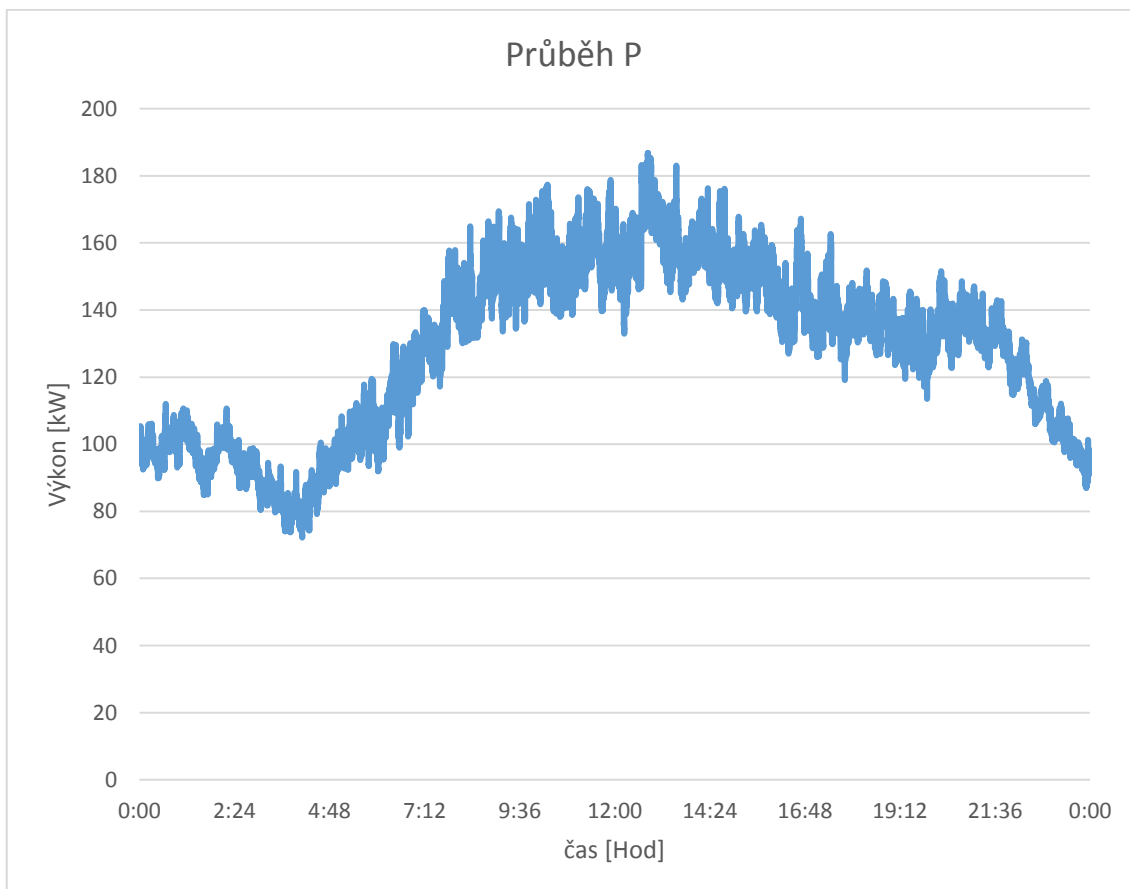
Graf 1: Denní průběh měřené veličiny (I_1)



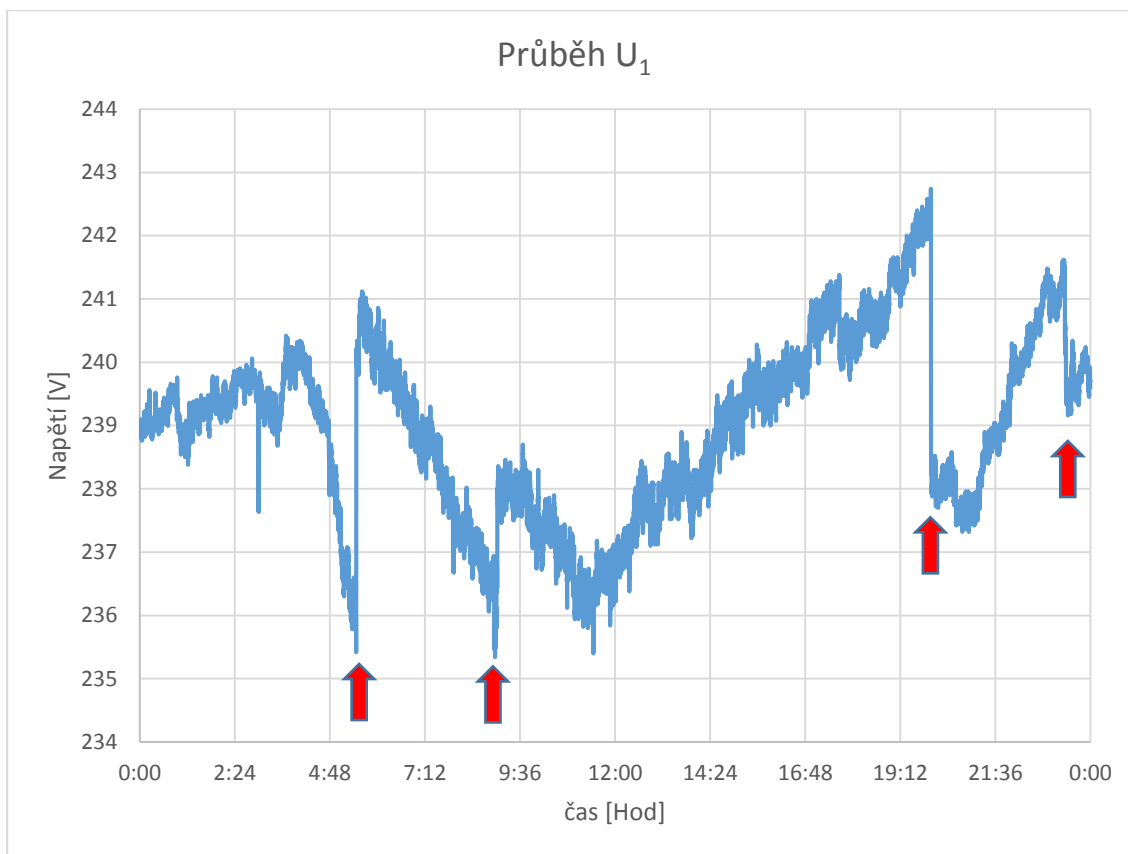
Graf 2: Denní průběh měřené veličiny (I_2)



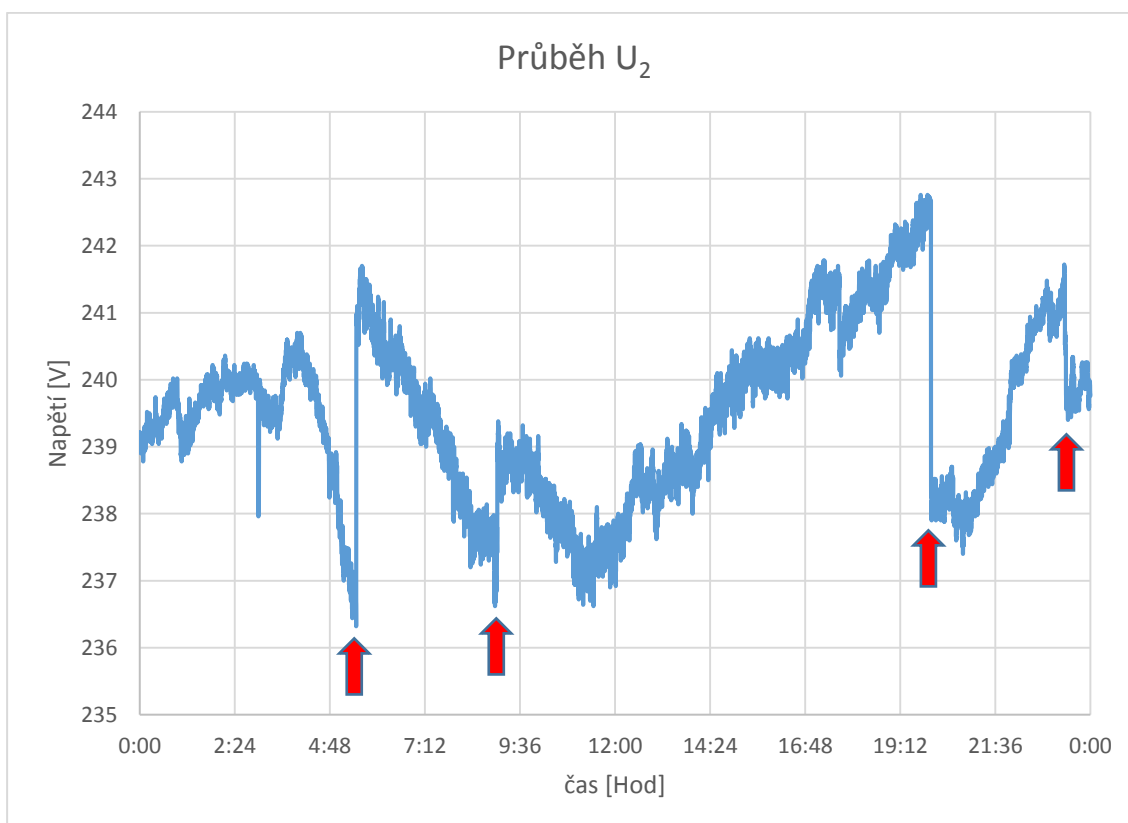
Graf 3: Denní průběh měřené veličiny (I_3)



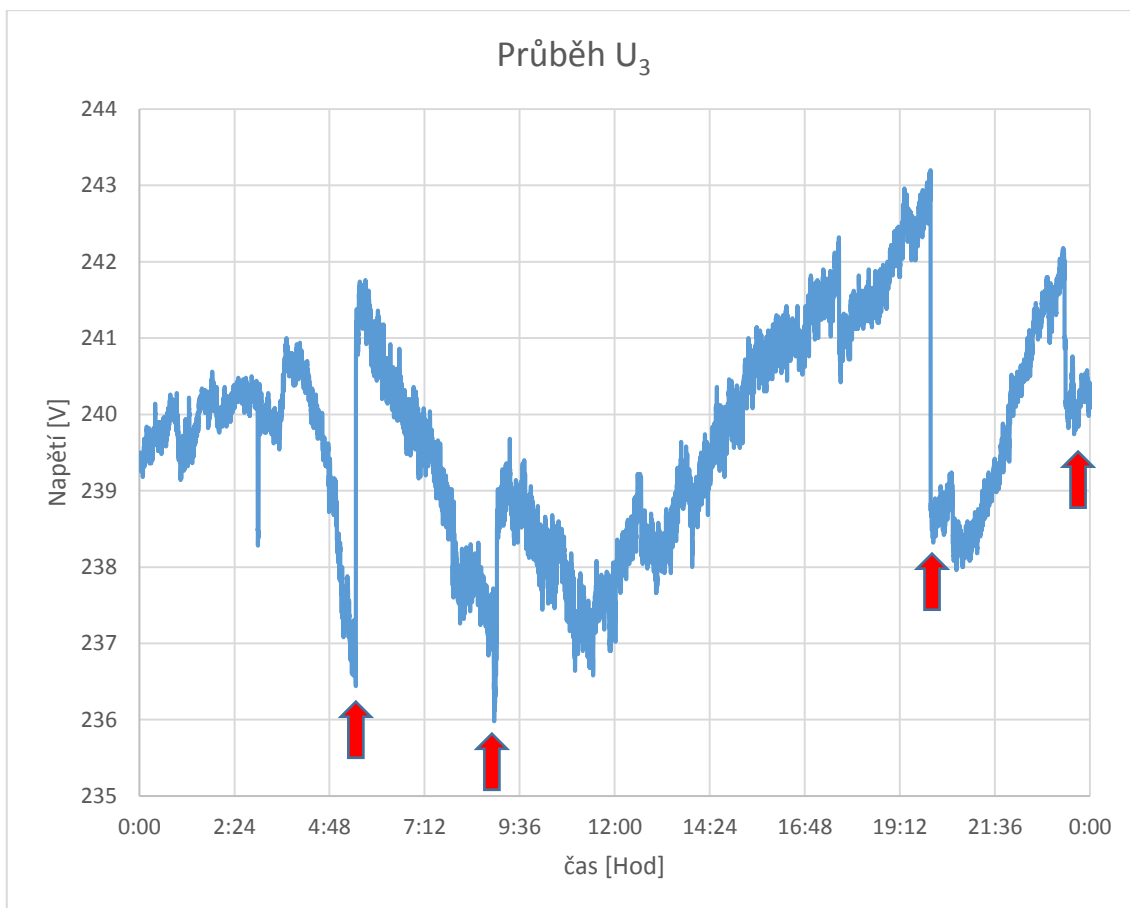
Graf 4: Denní průběh měřené veličiny (P)



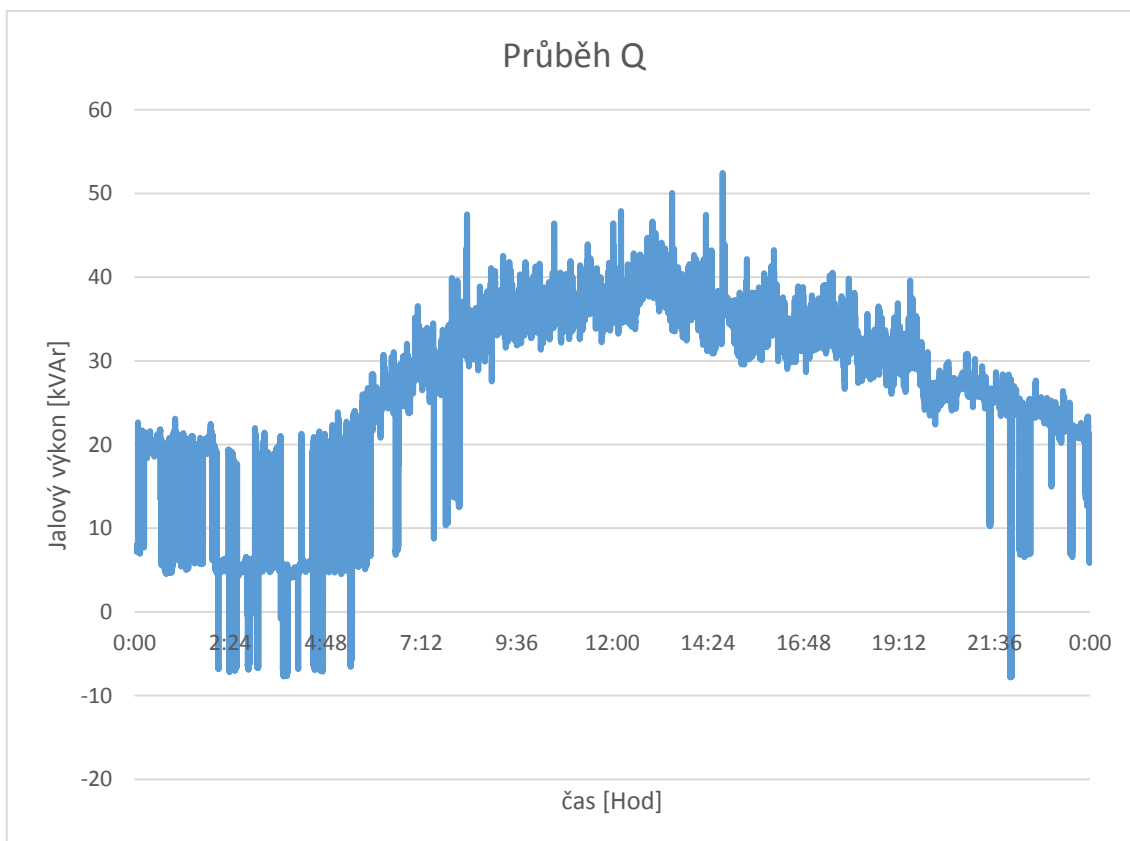
Graf 5: Denní průběh měřené veličiny (U_1)



Graf 6: Denní průběh měřené veličiny (U_2)



Graf 7: Denní průběh měřené veličiny (U_3)

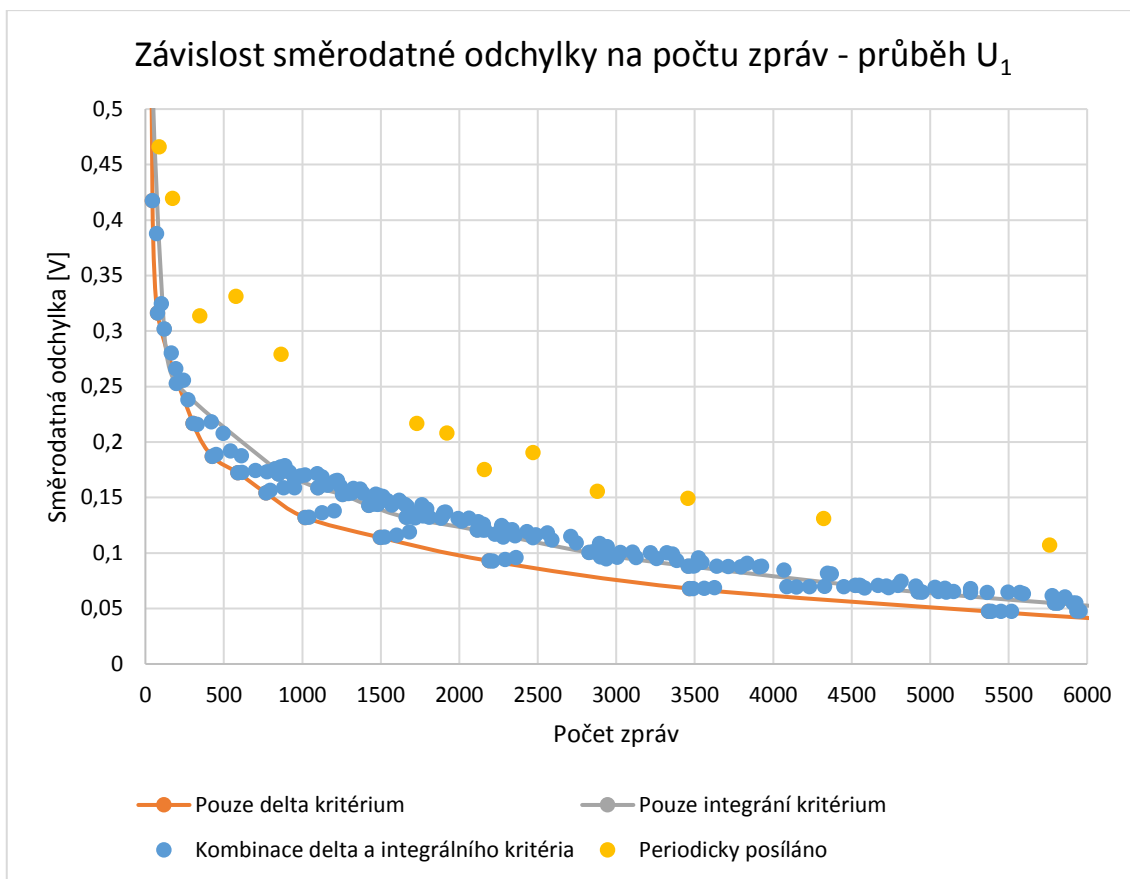


Graf 8: Denní průběh měřené veličiny (Q)

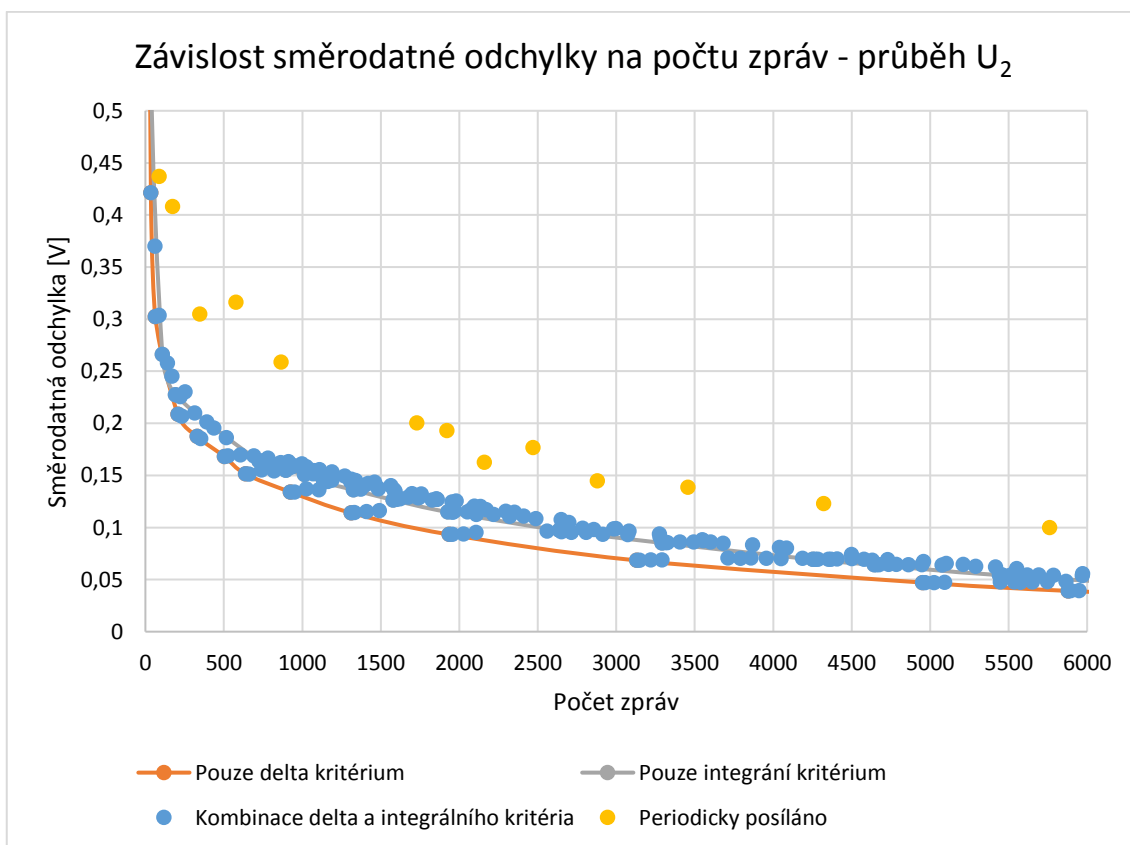
V rámci optimalizace počtu zpráv jsem nejdříve zkoumal závislost směrodatné odchylky na počtu odeslaných zpráv. To bylo provedeno jak pro periodické odesílání zpráv, tak pro mechanismus využívající delta a integrální kritérium. U kombinace delta a integrálního kritéria jsem testoval vždy i situaci, při níž je hladina citlivosti jednoho z kritérií tak vysoko, že by dle něj nedošlo k odeslání ani jedné zprávy.

Při přenosu všech zpráv by směrodatná odchylka průběhu v řídicí stanici byla nula, naopak při nepřenesení ani jedné zprávy by směrodatná odchylka byla maximální, ne však nekonečně velká. Těchto předpokladů využiji následně při popisu závislosti velikosti směrodatné odchylky na počtu zpráv.

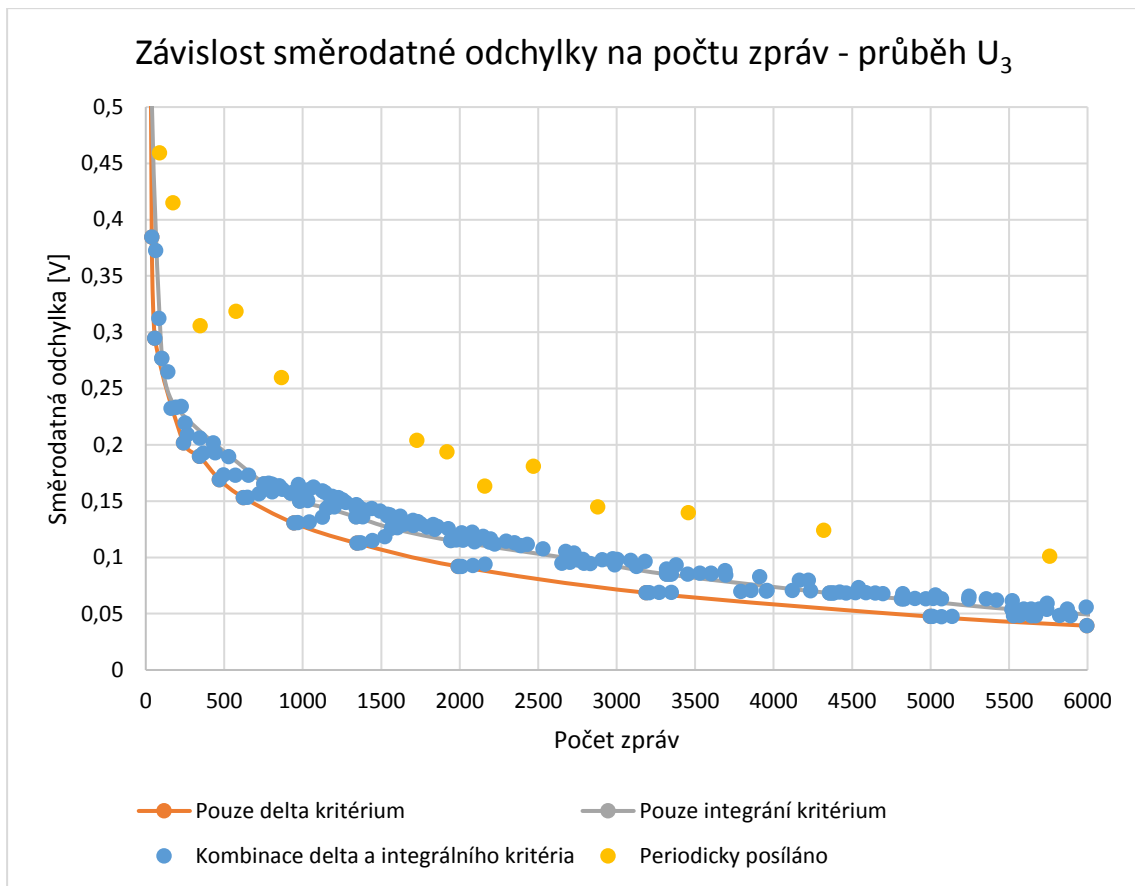
Jako jsou uvedeny grafy závislosti směrodatné odchylky na počtu zpráv pro fázové napětí U_1 , U_2 a U_3 (grafy 9-11). Zobrazena je pouze vybraná část grafu, při počtu zpráv blízcí se k nule postupně roste směrodatná odchylka až do hodnoty 2 V, naopak při počtu zpráv blízcí se k 17 280 se směrodatná odchylka blíží hodnotě 0 V. Modrou barvou jsou vyznačeny body, které byly získány delta a integrálním kritériem při různých kombinacích jejich hladin citlivosti. Hladinu citlivosti delta kritéria jsem volil v rozmezí 0,02 V až 5 V (při této hladině citlivosti nedojde ani jednou během dne k naplnění delta kritéria). Hladinu citlivosti integrálního kritéria jsem volil v rozmezí 0,1 V*s až 50 000 V*s (při této hladině citlivosti nedojde ani jednou během dne k naplnění integrálního kritéria). Žlutou barvou jsou vyznačeny body, které byly získány pomocí periodického odesílání stavu měřené veličiny. Vstupním parametrem periodického zasilání je konstanta, které říká každá kolikátá zpráva se má odeslat. Tuto konstantu jsem volil v rozmezí 1 až 20 000. Dále jsou zde oranžovou barvou vyznačeny body se spojnicí, které značí hodnoty v případě, že jsou zprávy odesílány pouze na základě delta kritéria (integrální kritérium je zatlumeno vysokou hladinou citlivosti). To samé pro integrální kritérium je vyznačeno body se spojnicí v šedé barvě (zde je hladina citlivosti delta kritéria velmi vysoko).



Graf 9: Závislost směrodatné odchyly na počtu zpráv (průběh U_1)



Graf 10: Závislost směrodatné odchyly na počtu zpráv (průběh U_2)



Graf 11: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh U_3)

V takto zkonstruované závislosti platí, že čím nižší je Y-ová souřadnice bodu, tím lepší je hodnota směrodatné odchylky při dané konfiguraci, a čím nižší je X-ová souřadnice bodu, tak tím méně je při dané konfiguraci odesíláno zpráv. Pokud bychom tedy hledali konfiguraci, při které by bylo dosaženo nejlepší směrodatné odchylky při co nejnižším počtu zpráv, tak bychom hledali bod, který je co nejbližší počátku osovým souřadnicím. Někdy jsou ale kladeny jiné restriktivní požadavky, například aby směrodatná odchylka daného průběhu nebyla větší než přípustná maximální hodnota, nebo aby počet zaslaných zpráv nepřekročil určitý maximální počet zpráv. V tom případě se v dané maximální hodnotě vynese kolmice na příslušnou osu, tím se vyznačí přípustná množina bodů a z ní se bere bod, který má nejnižší hodnotu souřadnice reprezentující veličinu, na kterou se nevztahuje restrikce.

Podoba závislosti směrodatné odchylky na počtu zpráv, kterou je možno vidět u napětí se opakuje i u ostatních měřených veličin. Pokusil jsem se tedy vyjádřit tuto závislost matematickou funkcí. Zaměřil jsem se především na aproximaci bodů získaných pouze delta kritériem a získaných pouze integrálním kritériem. Po otestování několika základních funkcí a jejich kombinací jsem usoudil, že závislosti nejlépe popisuje rovnice 4.

$$Y(x) = A - B * \ln(x + C)$$

Rovnice 4: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv

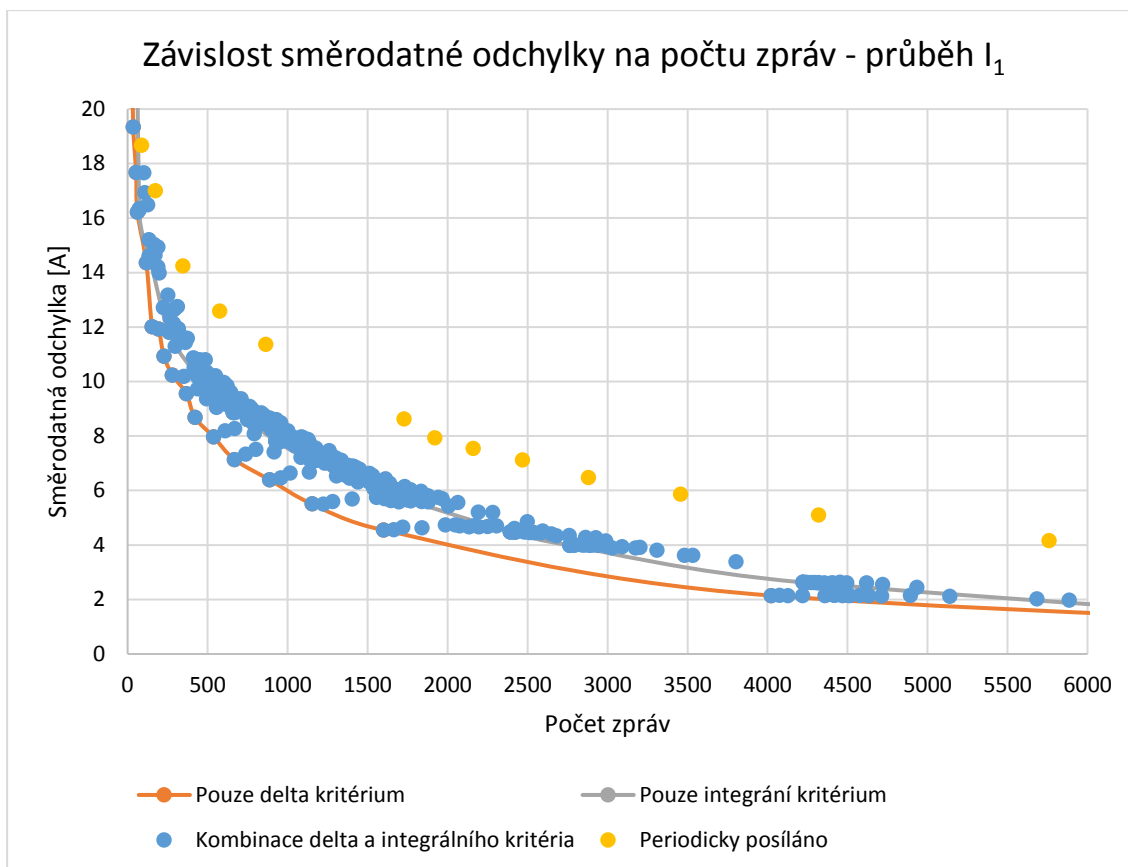
Zde Y je směrodatná odchylka, x vyjadřuje počet zpráv a A , B a C jsou konstanty. Konstanty A , B a C jsou pro každý průběh různé. Jedním z důvodů, proč nejlépe sedí logaritmická závislost, je fakt, že veličina X i Y nabývá nulové hodnoty. Touto skutečností byla vyřazena exponenciální závislost, která se k osám X a Y pouze limitně blíží, ale nikdy je neprotne. Toto zkusení je dáno diskretním průběhem, získaným na základě vzorkovací periody zařízení v chytré distribuční

trafostanici. Pokud bychom uvažovali spojitý průběh veličin, tak bychom potřebovali nekonečně mnoho hodnot abychom dosáhli nulové směrodatné odchylky.

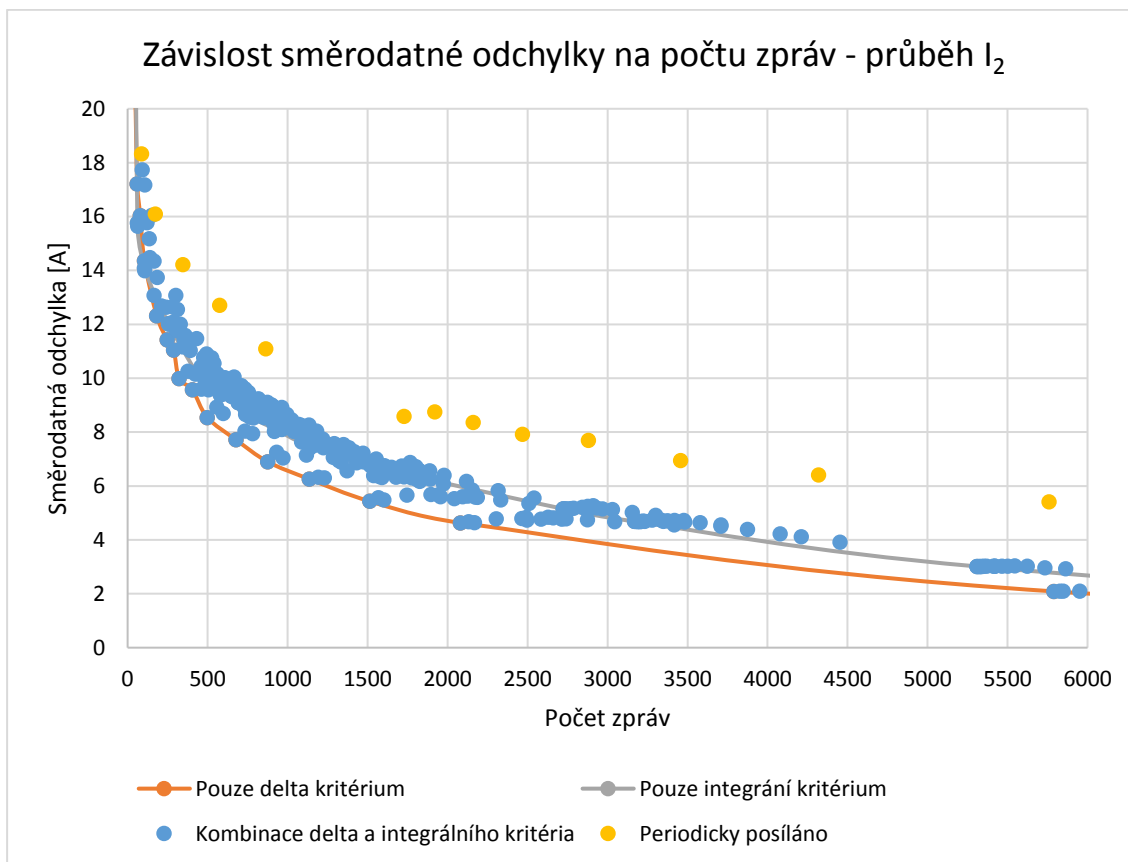
Z grafů závislostí pro fázová napětí je patrné, že zasílání zpráv periodicky je značně neefektivní. Tato metoda dosahuje horších hodnot než ostatní použité metody jak co do počtu zpráv na určitou směrodatnou odchylku, tak co do směrodatné odchylky při daném počtu zpráv. Při srovnání samotného delta kritéria a samotného integrálního kritéria nelze říci, že by jedno bylo jednoznačně lepší než druhé. Existuje oblast, ve které dosahuje lepších výsledků delta kritérium ale také oblast, ve které dosahuje lepších výsledků integrální kritérium. Přejít do těchto oblastí je individuální pro jednotlivé průběhy, ale pohybuje se mezi 100 až 200 zprávami a směrodatnou odchylkou 0,2 až 0,3 V. V této oblasti jsou obě kritéria přibližně stejně efektivní. Dalo by se očekávat, že kombinace těchto dvou kritérií zlepší směrodatnou odchylku při stejném počtu zpráv. Ovšem ukazuje se, že tato domněnka je nesprávná, neboť modře značené body nejsou nikdy blíže osám X a Y než body modré nebo šedivé (získané v dané oblasti tou lepší metodou z dvojice samotné integrální/ samotné delta kritérium). Je ovšem nutno podotknout, že v případě použití kombinace kritérií dochází k zvýšení spolehlivosti, neboť v případě selhání jednoho kritéria zabere druhé kritérium.

V grafech 12-14 je zachycena závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv u proudů I_1 , I_2 a I_3 . Směrodatná odchylka se s počtem zpráv blížícím nule pohybuje okolo 60 A. U delta kritéria jsem volil hodnoty hladiny citlivosti v rozmezí od 1 A až do 300 A. U integrálního kritéria jsem volil hladiny citlivosti od 5 A*s až do 10 000 000 A*s. Až při takto vysoké hodnotě nedošlo k odeslání jediné zprávy během pozorovaného dne. U periodického odesílání jsem volil stejné konstanty jako u průběhů s napětím. Barvy bodů a křivek jednotlivých mechanismů jsou stejné, jako u grafů závislostí pro fázová napětí.

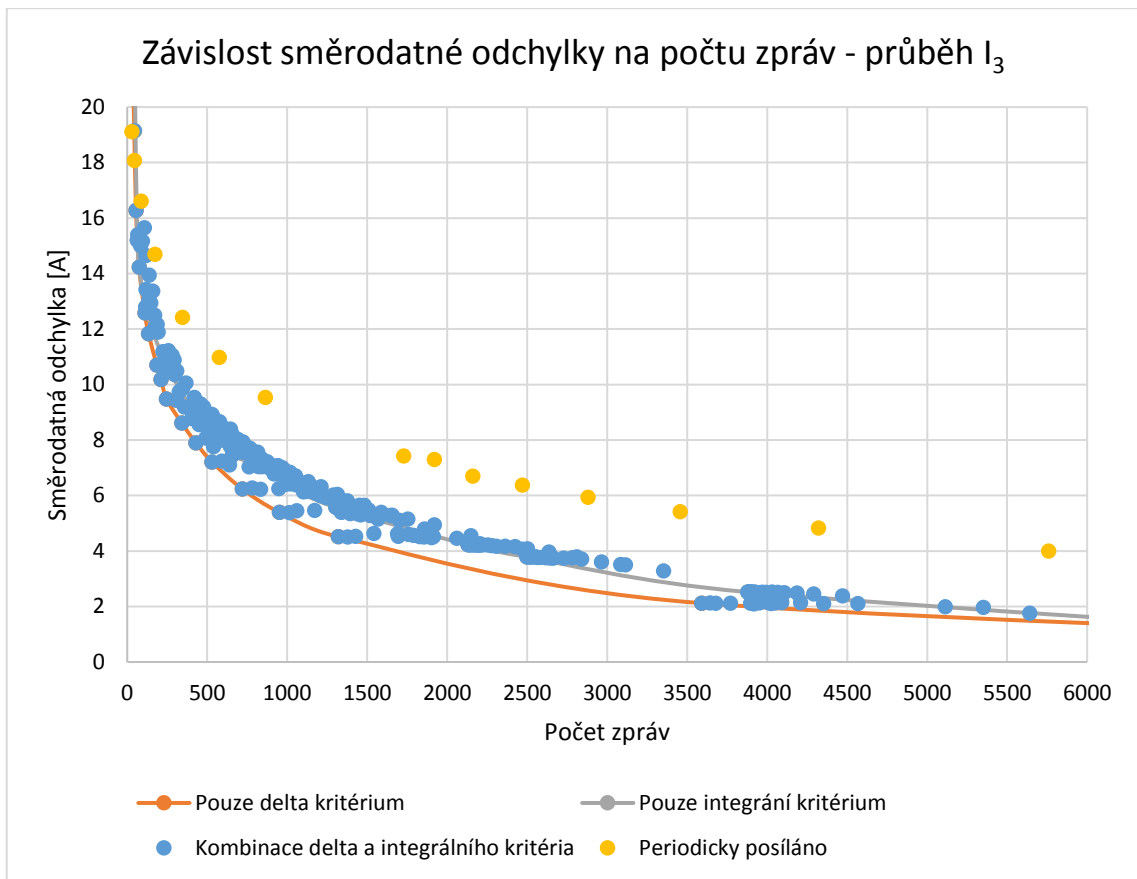
Zkoumáním průběhu těchto tří závislostí jsem zjistil, že periodické zasílání zpráv je i u proudu horší než delta a integrální kritérium. U průběhu I_3 sice v případě vysokých odchylek je periodické odesílání srovnatelné se zbylými mechanismy, ale to považuji za shodu náhod, neboť u zbylých průběhů se tak nestalo. Při srovnávání samotného delta a samotného integrálního kritéria shledávám samotné delta kritérium lepší skoro v celém rozsahu. Pouze v intervalu počtu zpráv 0 až 200 jsou kritéria srovnatelná. Ani u této závislosti se nepotvrdila myšlenka, že kombinací delta a integrálního kritéria vznikne přesnější mechanismus, ale předností této kombinace leží jinde.



Graf 12: Závislost směrodatné odchyly na počtu zpráv (průběh I_1)



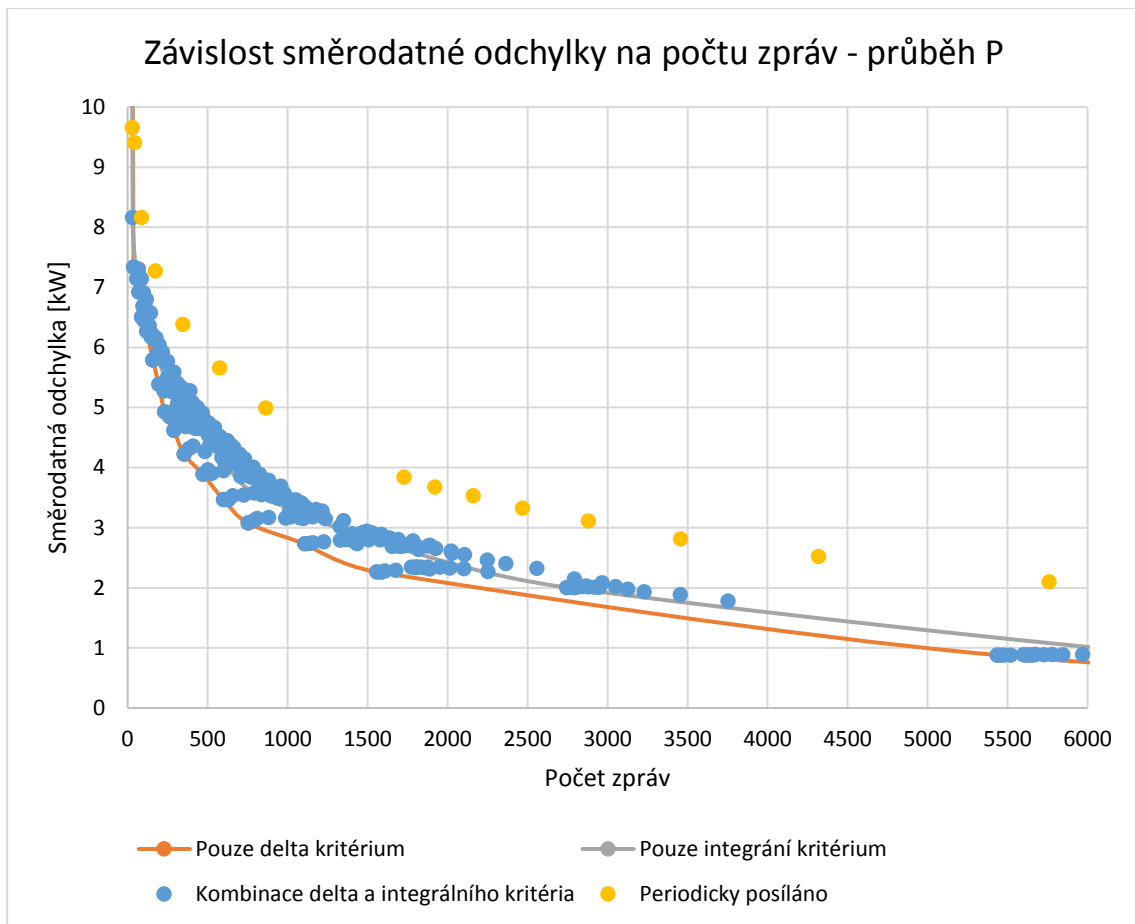
Graf 13: Závislost směrodatné odchyly na počtu zpráv (průběh I_2)



Graf 14: Závislost směrodatné odchytky na počtu zpráv (průběh I_3)

Při analýze závislosti směrodatné odchytky na počtu zpráv pro činný výkon jsem volil hladiny citlivosti u delta kritéria v rozmezí od 0,5 kW do 100 kW. Hladiny citlivosti u integrálního kritéria jsem volil od 5 kW*s do 10 000 000 kW*s. Konstanty u periodického zasílání zpráv jsou totožné s průběhy fázového napětí a proudu. Maximální hodnoty směrodatné odchytky dosahují při počtu zpráv blízcích se nule hodnot 40 kW. Při maximálním počtu zpráv je směrodatná odchytky nula.

Z této závislosti taktéž plyne, že periodické zasílání zpráv není efektivní, viz graf 15. Mnohem efektivnější je zasílání zpráv pomocí mechanismu na základě delta a integrálního kritéria. Při porovnávání samotného delta kritéria a samotného integrálního kritéria dosahuje samotné delta kritérium stejných nebo lepších hodnot. Stejných hodnot dosahuje v oblasti, kde se počty zpráv pohybují v rozmezí jednotek až 150 zpráv.

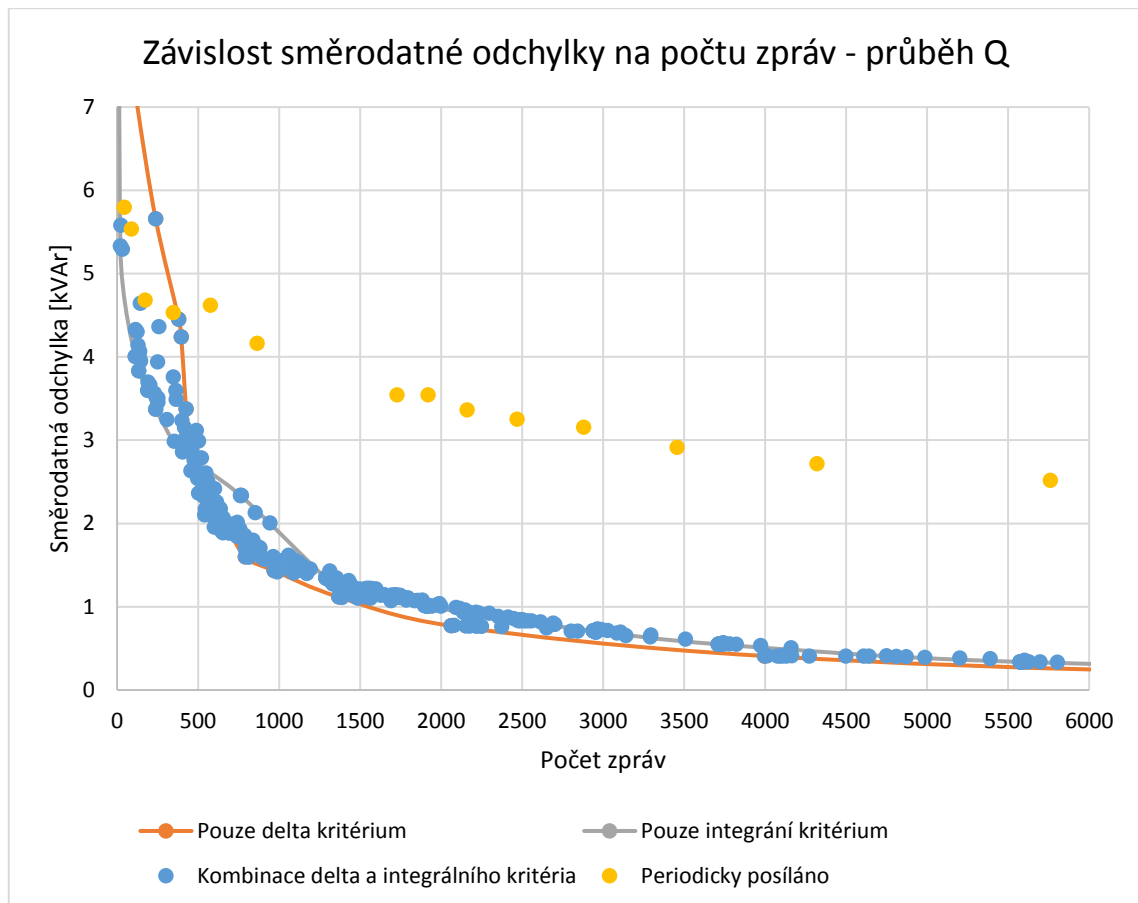


Graf 15: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh P)

Poslední měřenou veličinou na straně NN je jalový výkon. I pro tento průběh jsem vytvořil graf 16, ve kterém je znázorněna závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv. Citlivostní hladinu delta kritéria jsem volil v intervalu od 0,1 kVAr do 100 kVAr. U integrálního kritéria je citlivostní hladina z intervalu od 1 kVAr*s do 10 000 000 kVAr*s. Konstanty u periodického odesílání jsou totožné jako u předešlých průběhů.

Při limitní situaci, kdy se počty zpráv blíží nule, nabývá směrodatná odchylka hodnoty okolo 20 kVAr. Oproti předešlým průběhům je zde na první pohled patrné, že existuje oblast, ve které je samotné integrální kritérium výrazně lepší než samotné delta kritérium. Mimo tuto oblast platí, že nejhorší metodou je periodické odesílání zpráv, zbylé varianty jsou výrazně lepší. V této závislosti dávají zbylé metody velmi podobné hodnoty směrodatné odchylky pro daný počet zpráv, což se projevuje tím, že body nejsou příliš rozptýleny.

Počet zpráv, při kterém samotné integrální a samotné delta kritérium dosahují shodných směrodatných odchylek je okolo 500 zpráv. Při nižším počtu zpráv je samotné delta kritérium velmi neefektivní a směrodatná odchylka při srovnatelném počtu zpráv je i 1,5krát větší než u samotného integrálního kritéria. V této oblasti je i periodické odesílání zpráv lepší než samotné delta kritérium.



Graf 16: Závislost směrodatné odchyly na počtu zpráv (průběh Q)

Na základě faktů zjištěných ze závislosti směrodatné odchyly na počtu zpráv jsem se pokusil najít další spojitosti mezi průběhy U_1 , U_2 , U_3 a Q , které naopak chybí u průběhů I_1 , I_2 , I_3 a P . A také vysvětlit proč u některých průběhů je při nižším počtu zpráv efektivnější integrální kritérium. K dispozici jsem měl denní průběhy těchto veličin, které jsou uvedeny na začátku této podkapitoly.

Při pohledu na tyto průběhy jsou patrné společné znaky u některých průběhů. Například průběhy U_1 , U_2 , U_3 a Q obsahují výrazné skoky během dne. U napětí je to dáno regulací transformátoru VVN/VN, který je regulován ve chvíli kdy napětí dosáhne nastavených hodnot. U jalového výkonu jsou skoky dány různými charaktery odběru. U první skupiny průběhů, tedy I_1 , I_2 , I_3 a P žádné takové skokové změny nejsou pozorovány. Proto usuzuji, že toto je hlavní důvod, proč dochází při nízkém počtu zpráv u průběhů pro napětí a jalový výkon k menším směrodatným odchylkám pomocí samotného integrálního kritéria než pomocí samotného delta kritéria. Při vyšším počtu zpráv jsem žádné změny v pořadí efektivnosti kritérií nepozoroval.

Na závěr této podkapitoly bych rád shrnul několik hlavních poznatků pro optimalizaci počtu zpráv. Tyto poznatky jsou postaveny jen na několika průbězích v jeden náhodně vybraný den. Může se tedy stát, že se jedná o nereprezentativní vzorky. Tato skutečnost nemusí být zapříčiněna pouze nevhodně zvoleným dnem, ale také dalšími faktory. Například zda se výkon stanice pohybuje okolo jmenovitého výkonu, nebo okolo jednotek procent jmenovitého výkonu, dále počet a struktura odběratelů připojených k dané stanici, nebo zda je u některých odběratelů instalován zdroj elektrické energie uzpůsobený k dodávání elektrické energie do sítě. Zkoumat všechny tyto závislosti by bylo nad rámec této diplomové práce.

Na základě zjištěných poznatků bych nedoporučoval využívat periodické odesílání zpráv jako hlavní metodu posílání zpráv. Nejen že není efektivní, ale zároveň není schopno zachytit náhlé krátké špičky v průbězích měřených veličin. V případě většího počtu zpráv se jeví nejlépe samotné delta kritérium, ovšem z důvodu bezpečnosti není vhodné využívat samotné delta kritérium, ale vždy jej doplnit integrálním kritériem s hladinou citlivosti nastavenou tak, aby v případě funkčního delta kritéria zasílalo pouze jednotky zpráv během dne. Kombinace delta a integrálního kritéria, kdy jsou hladiny citlivosti nastaveny tak, aby se zprávy byly zasílány na základě obou kritérií v přibližně stejném poměru, se nejeví jako efektivní, a proto bych tuto kombinaci nedoporučil. Raději bych volil jedno kritérium jako primární a druhé doplňkové. V případě nízkého počtu zpráv lze u některých průběhů uvažovat o nasazení integrálního kritéria jakožto primárního.

V případě nastavování jednotlivých citlivostních hladin pro všechny měřené veličiny na jedné stanici bude nutné vycházet z celkových požadavků. Ty jsou reprezentovány především rámcovým požadovaným objemem přenesených dat za měsíc na danou stanici. To bude dáno z části i možnostmi zvolené komunikační technologie u dané stanice. A dále jsou kladeny nároky na přesnost průběhů doručených do řídicí stanice a následně zobrazených ve SCADA systému, neboť na základě těchto hodnot dispečeri mohou řídit a monitorovat distribuční síť. Tyto dva požadavky jsou většinou protichůdné, a je třeba volit rozumný kompromis s ohledem na dostupné technologie.

5.4 Velikost zprávy

Jak jsem již zmínil, tak při komunikaci mezi řídicí a řízenou stanicí se využívá protokolů z normy IEC 60870-5. Jednotlivé části této normy jsou popsány v kapitole 4. Velikost jedné datové jednotky na aplikační vrstvě je závislá na počtu a velikosti datových objektů. V případě, že aplikační datová jednotka neobsahuje tzv. telegram, tak je velikost zprávy 6 bajtů. Telegram bez datových objektů, kterých může být až 127, má velikost 6 bajtů, v závislosti na velikosti datových objektů uvnitř telegramu roste jeho velikost. V případě přenosu naměřené hodnoty se tedy velikost jedné zprávy na aplikační vrstvě může pohybovat mezi 20 a 40 bajty. Následně velikost zprávy narůstá režii jednotlivých vrstev. Dále je nutno započítat do přenášených objemů odpovědi na zprávy a potvrzovací zprávy. Během pilotního projektu byly empiricky pozorovány různé datové objemy na přenos jednoho údaje v závislosti na vrstvě, na které byla data měřena. Pro další modelování předpokládám, že odeslání jedné zprávy i s následnými odpověďmi a potvrzením si vyžádá na transportní vrstvě přibližně 80 bajtů a na síťové vrstvě přibližně 130 bajtů.

Vrstvu, na které počítat objemy dat, je vhodné volit s ohledem na metodu zpoplatnění přenesených dat. V případě komunikačních technologií ve vlastnictví distributora nebude záležet na které vrstvě budou data počítána. V případě mobilních sítí je však nutné znát metodiku jakou používá poskytovatel pro výpočet objemů přenesených dat. Například jeden z poskytovatelů, uvedený v následující části, uvádí ve svém ceníku, že objemy dat jsou měřeny na transportní vrstvě.[41] S tím však nelze počítat u všech poskytovatelů, proto raději budu počítat objemy na síťové vrstvě, tím předejdu případné chybě anebo vytvořím chybu, jejíž efekt nebude negativní z pohledu distributora. Při dalších výpočtech využívám přepočetni konstantu mezi B a kB, případně MB nebo GB, o velikosti 1024. Po přijetí těchto předpokladů mi vychází že na 1 MB (1048576 bajtů) dat při velikosti zprávy 130 bajtů připadá přibližně 8 tisíc zpráv.

5.5 Počet zpráv na modelovou stanicí

V této podkapitole na základě požadavků na důvěryhodnost průběhů vypočítám a odhadnu celkový objem dat odeslaných modelovou stanicí. Výpočty provedu na měřených průbězích na

NN sběrnici. U VN části je v modelové stanici měřeno dvakrát víc veličin, a proto předpokládám, že pro přenos VN veličin stanice využije dvakrát víc zpráv než pro NN veličiny. U veličin měřených na VN poli se nepředpokládá tak vysoké kolísání hodnot jako u NN veličin. Proto v případě potřeby lze volit vyšší směrodatné odchylky a tím dosáhnout nižšího počtu zpráv. Poslední skupinou komunikačních úloh je signalizace stavů a poruch, případně ovládací příkazy. Na základě naměřených počtů zpráv uvedených na začátku této kapitoly jsem vytvořil odhad počtu potřebných zpráv. Pro tento typ komunikace počítám celkem s tisícem zpráv za jeden měsíc.

U veličin měřených na NN sběrnici jsem pro model zvolil velikost směrodatné odchylky, kterou nesmí daný průběh překročit. Velikost směrodatné odchylky jsem určil na základě rozdílu maximální a minimální hodnoty denního průběhu, ze kterého jsem vzal určité procento, viz tabulka 7. U průběhů U_1 , U_2 a U_3 vychází průměrný rozdíl maximální a minimální hodnoty denního průběhu 7,02 V. U průběhů I_1 , I_2 a I_3 je průměrný rozdíl maximální a minimální hodnoty denního průběhu 196,26 A. U činného výkonu je rozdíl maximální a minimální hodnoty denního průběhu 114,69 kW, a u jalového výkonu 60,28 kVAr. Následně jsem z těchto hodnot bral 3 %, 2 % a 1 % a zkoumal kolik je potřeba zpráv, aby průběh dosahoval maximálně těchto směrodatných odchylek. V tabulce 7 jsou uvedeny maximální směrodatné odchylky pro příslušné procentuální hladiny.

Veličina	MAX – MIN	3 %	2 %	1 %
U [V]	7,02	0,21	0,14	0,07
I [A]	196,26	5,89	3,93	1,96
P [kW]	114,69	3,44	2,29	1,15
Q [kVAr]	60,28	1,81	1,21	0,60

Tabulka 7: Stanovené maximální směrodatné odchylky pro jednotlivé veličiny

Pro příslušné maximální dovolené směrodatné odchylky, jsem hledal takovou kombinaci citlivostních hladin kritérií, aby byla splněna směrodatná odchylka, a zároveň aby bylo použito co nejméně zpráv, a také aby byla využita obě kritéria, viz tabulka 8. U napětí a proudu jsem počty zpráv a vypočítanou směrodatnou odchylky počítal jako aritmetický průměr hodnot vypočítaných u průběhů z fáze 1, 2 a 3. Kombinací citlivostních hladin kritérií, pomocí kterých lze dosáhnout požadovaného výsledku, existuje mnoho, v tabulce 8 jsou mnou vybrané kombinace. Tento výběr jsem volil na základě znalostí průběhů závislosti směrodatné odchylky na počtu zpráv.

Veličina	Dovolená směrodatná odchylka	Citlivostní hladina delta kritéria	Citlivostní hladina integrálního kritéria [X*s]	Vypočítaný počet zpráv	Vypočítaná směrodatná odchylka
U [V]	0,21	0,5	50	439	0,204
U [V]	0,14	0,3	50	1 144	0,137
U [V]	0,07	0,15	50	3 422	0,069
I [A]	5,89	12	1 000	1 596	5,609
I [A]	3,93	8	1 000	2 796	3,749
I [A]	1,96	4	1 000	5 728	1,662
P [kW]	3,44	7	1 000	987	3,161
P [kW]	2,29	4	1 000	2 487	1,855
P [kW]	1,15	2	1 000	5 600	0,883
Q [kVAr]	1,81	6	900	787	1,802
Q [kVAr]	1,21	3	1 000	1 468	1,121
Q [kVAr]	0,60	1	1 000	4 077	0,408

Tabulka 8: Počet zpráv a směrodatné odchylky u vybraných citlivostních hladin kritérií

Při použití zde vypsaných citlivostních hladin by směrodatná odchylka měla být menší než dovolená. Především u činného a jalového výkonu, kde jsou hladiny zvoleny na základě jednoho průběhu, tak by se mohlo stát že, v případě že tento jeden průběh není reprezentativní, mechanismy se zvolenými citlivostními hladinami budou produkovat průběhy s vyššími než dovolenými směrodatnými odchylkami.

Vybrané citlivostní hladiny byly následně nasazeny do distribuční stanice. Pro tuto stanici jsem na základě minutových průměrů naměřených na stanici a pětiminutových průměrů ze SCADA dopočítal směrodatnou odchylku. K dispozici jsem měl i zachycené počty zpráv zaslaných během daného dne. V tabulce 9 jsou počty zpráv a vypočítaná směrodatná odchylka.

Veličina	Citlivostní hladina delta kritéria	Citlivostní hladina integrálního kritéria [X*s]	Naměřený počet zpráv	Naměřená směrodatná odchylka	Předpokládaný počet zpráv	Předpokládaná směrodatná odchylka
U [V]	0,5	50	746	0,222	439	0,204
I [A]	12	1000	3 336	19,127	1 596	5,609
P [kW]	7	1000	2 605	10,853	987	3,161
Q [kVAr]	6	900	570	4,082	787	1,802

Tabulka 9: Naměřené počty zpráv, dopočítaná směrodatná odchylka a předpokládané hodnoty

Co se týče počtu zpráv, tak v případě proudu, napětí a činného výkonu jsou přibližně dvakrát větší, než jsem očekával na základě modelu. U jalového výkonu je naopak počet zpráv nižší než očekávaný. K výpočtu směrodatné odchylky bylo použito již agregovaných minutových dat ze stanice, čímž mohlo dojít ke zkreslení oproti pětivteřinovým hodnotám. Hodnoty ze SCADA systému jsou navíc pětiminutové průměry. U napětí je směrodatná odchylka přibližně stejná jako bylo odhadnuto v modelu. U proudu a výkonu je dopočítaná směrodatná odchylka přibližně třikrát

větší než směrodatná odchylka odhadnutá pomocí modelu, a u jalového výkonu je směrodatná odchylka přibližně dvakrát větší.

Důvodem pro výrazně vyšší počet zpráv než byl předpoklad může být fakt, že RTU vyhodnocuje během pěti vteřin více naměřených hodnot. V případě že citlivostní hladina je nižší než oscilace hodnot během těchto pěti vteřin, tak může dojít až k několikanásobnému odeslání hodnoty během těchto pěti vteřin.

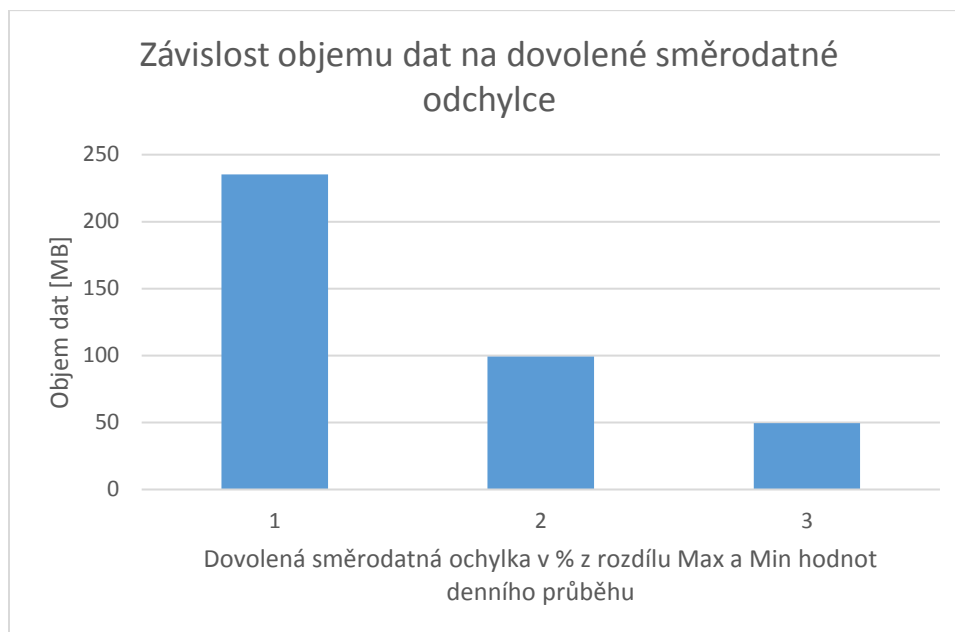
Hodnoty směrodatné odchylky mimo napětí jsou několikanásobně jiné než předpokládané. Zde je nutné porovnat z jakých dat je počítaná směrodatná odchylka v modelu a z jakých dat byla zde vypočítána směrodatná odchylka. U modelu jsou jako hodnoty ve SCADA systému brány odeslané hodnoty, případně poslední odeslané hodnoty. Nyní jsem měl k dispozici jako hodnoty ve SCADA pětiminutový průměr hodnot. Tímto průměrováním po dobu 5 minut se může až 60 hodnot sčítat, čímž dochází k výrazné ztrátě informace. To je důvod, proč je směrodatná odchylka dle naměřených průběhu vyšší, než byla očekávána v modelu.

Další chyba může být způsobena volbou nereprezentativního průběhu, tuto chybu by bylo možno vyloučit v případě statistického vyhodnocení průběhů z více stanic nebo alespoň více denních průběhů ze stejné stanice.

5.6 Objemy dat na stanicích

Pro další výpočet uvažuji využití dovolené směrodatné odchylky o velikosti 2 % z rozdílu maximální a minimální hodnoty denního průběhu. Při této směrodatné odchylce je dle modelu součet přenesených zpráv, potřebných pro měření veličin na sběrnici NN, přibližně 8 tisíc za den. To je při uvažování 30denního měsíce přibližně 240 tisíc zpráv. Modelová stanice má dva VN přívody, na každém je měřen stejný počet veličin jako na NN sběrnici. Budu předpokládat, že bude na každý přívod potřeba přibližně stejně zpráv jako na NN sběrnici, tedy 240 tisíc zpráv za měsíc. Součet zpráv potřebných na monitorování měření veličin je přibližně 720 tisíc za měsíc. K tomu je zapotřebí připočítat zprávy na zasílání signalizace stavů, poruch a povelů. Počet těchto zpráv jsem odhadl na 1 tisíc za měsíc. Celkově se dostane počet zpráv na hodnotu 721 tisíc zpráv za měsíc. Pro jistotu k této hodnotě přičtu 10% rezervu, tedy 72,1 tisíc zpráv. Odhad celkového počtu zpráv potřebných pro modelovou stanici za měsíc je 793,1 tisíc zpráv.

Při předpokladu, že 8 tisíc zpráv spotřebuje 1 MB dat, tak se celkový měsíční objem přenesených dat u modelové stanice rovná 99,14 MB. Stejnou úvahou a výpočtem jsem při zvolení směrodatných odchylek získaných jako 3 % z rozdílu denních maximálních a minimálních hodnot dostal měsíční objem dat 49,63 MB. A pokud bychom chtěli dosáhnout směrodatné odchylky maximálně 1 % z rozdílu maximální a minimální hodnoty denního průběhu, tak by bylo zapotřebí 235,26 MB. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v následujícím grafu 17.



Graf 17: Závislost objemu dat na dovolené směrodatné odchylce

Volba směrodatné odchylky metodou, kterou jsem využil, je zjednodušení, v praxi očekávám, že maximální směrodatná odchylka vzejde z požadavků dispečerů monitorující distribuční soustavu. Další faktor, který je při výhledu do budoucnosti nutné brát v potaz, je rostoucí počet monitorovaných veličin. Jako příklad zde mohu uvést jednotlivé vývody NN, na kterých lze měřit stejné veličiny jako na sběrnici NN. Těchto vývodů může být až v řádu jednotek, čímž se při stejné směrodatné odchylce dostaneme na několikanásobný počet zpráv oproti měření jedné sběrnice NN a dvou VN přívodů. Další nárůst dat může být způsoben přenosem většího objemu dat z řídicí stanice do chytré stanice, jedním z takových přenosů může být dálkový upgrade verze softwaru chytré stanice.

K dalšímu nárůstu objemu dat dojde ve chvíli kdy se přidají další funkcionality chytré stanice. V případě nasazení algoritmů řízení zátěže v síti bude nutné zajistit také, kromě naměřených dat na stanici, informace o stavu okolních stanic. Další funkcionality chytré stanice vyžadující zvýšené nároky na přenesené datové objemy je funkce datového koncentrátoru pro elektroměry u koncových odběratelů. Ale lze předpokládat, že výhledově na dalších 10 let budou objemy v řádech desítek až stovek MB na jednu chytrou distribuční trafostanici.

6 Komunikační síť do roku 2030

V rámci vývoje chytrých distribučních stanic ve vlastnictví PREDistribuce počítám do roku 2030 přibližně s 1500 kusy takovýchto stanic. Předpokládám lineární nasazování komunikačních modulů do stanic a následně vypočítám nákladový model na 10 let do konce roku 2030.

Tři komunikační technologie, které se jeví jako nejvhodnější na použití v chytrých distribučních trafostanicích, tedy mobilní síť, optické vlákno a komunikace po silovém vedení, byly otestovány v rámci pilotního projektu. I na základě zkušeností z pilotního projektu jsem se rozhodl vytvořit model, ve kterém jsou chytré stanice připojeny pomocí mobilních sítí. Důvodem pro volbu zrovna této technologie je rychlé a snadné nasazení a uvedení do provozu oproti zbylým technologiím.

V případě optických sítí by muselo dojít k urychlené výměně stávajícího vedení a kabelů za vedení a kabely vybavené optickým vláknem. To je sice dlouhodobě plánovaná aktivita, ale nelze ji kvůli tomuto projektu urychlit. Postupně jak se bude rozšiřovat optická síť ve vlastnictví distributora, tak bude možné přecházet z připojení pomocí mobilních sítí na připojení optickým vláknem, tím se výrazně zlepší přenosové rychlosti, a redundancí se zvýší spolehlivost přenosu.

Komunikace po silovém vedení se bohužel s výhledem do budoucnosti nejeví jako perspektivní, neboť se nezdá, že by přenosové rychlosti bylo možné zvyšovat. Dalším obrovským problémem je možné rušení signálu a v případě poruchy vedení zvýšená náročnost opravy vedení. Nasazení dostatečně rozsáhlé sítě postavené na této technologii by vyžadovalo delší časové období, které by následně pozdrželo spuštění ostrého provozu chytrých stanic.

V rámci využití mobilních sítí musí být chytrá stanice osazena komunikačním modulem schopným této komunikace. Tento modul musí obsahovat identifikační prvek účastníka v mobilní síti. Tímto prvkem je SIM karta.

6.1 Formát SIM karty

Nároky kladené na SIM karty jsou v některých ohledech nižší než na tzv. P2P (person to person) SIM karty, ale v jiných ohledech vyšší. Tyto SIM karty bývají také označovány jako M2M (machine to machine) nebo IoT (Internet of Things).

První odlišností je skupina služeb, které daná SIM karta využívá. Služby, které P2P SIM karta dnes využívá, jsou hlas, SMS, MMS a data. Naproti tomu M2M SIM karta si vystačí s využitím dat případně SMS. V závislosti na těchto službách jsou pak vhodné různé mobilní sítě pro konkrétní použití. V případě P2P SIM karet si operátoři vystačí s mobilními sítěmi druhé, třetí a čtvrté generace. Sice slyšíme o využití mobilních sítí páté generace pro mobilní telefony, to já osobně považuji za marketing operátorů, neboť v současné době a také s výhledem na následující roky jsou přenosové rychlosti čtvrté generace v podobě LTE advanced dosahující stovek Mbit/s dostačující.

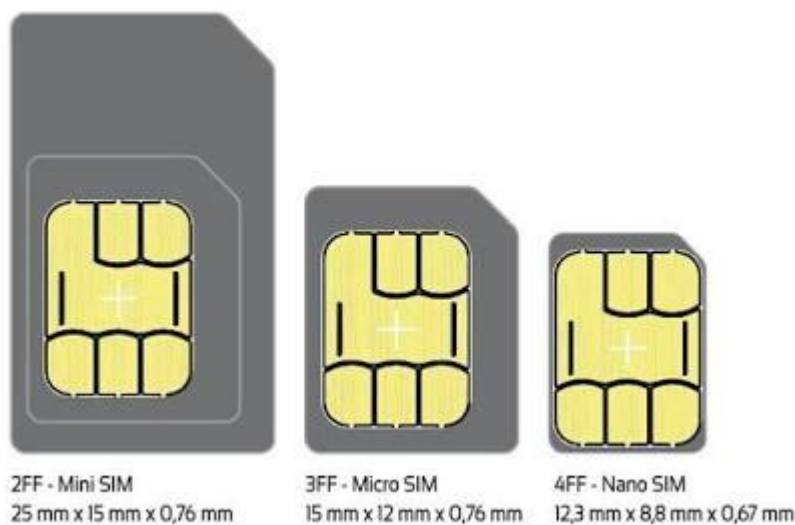
Naproti tomu M2M SIM karty vzhledem k rozličným účelům vyžadují rozličné mobilní sítě. Jednou velikou skupinou jsou zařízení, která mají omezený energetický zdroj. Jsou jimi zařízení a čidla, která mají k dispozici jednu baterii, která musí napájet zařízení po dobu jednotek let. Kvůli tomu musí být úsporné i komunikační moduly, které jsou po většinu času odpojeny od napájení a zapínají se jen v případě potřeby přenosu dat. K tomuto účelu jsou nasazovány technologie LTE cat. M1 a NB-IoT. Ty se vyznačují latencí v řádu až sekund a přenosovými rychlostmi v řádech kbit/s.

Další skupinou jsou zařízení, která nemají problém se zdrojem energie, ovšem vyžadují vysoké přenosové rychlosti, neboť jsou v reálném čase závislé na komunikaci s ostatními zařízeními nebo

ovládacím serverem. Příkladem mohou být autonomní továrny s průmyslovými roboty nebo řízení dopravy. Za tímto účelem jsou vyvíjeny sítě označované jako páté generace, jejichž předností jsou přenosové rychlosti v řádech Gbit/s a latencí v řádech milisekund. To vede k situaci, kdy výpočetní výkon musí být na základnových stanicích, protože vytvořit dostatečně dimenzovaný datový propoj s centrálním bodem je téměř nemožné.

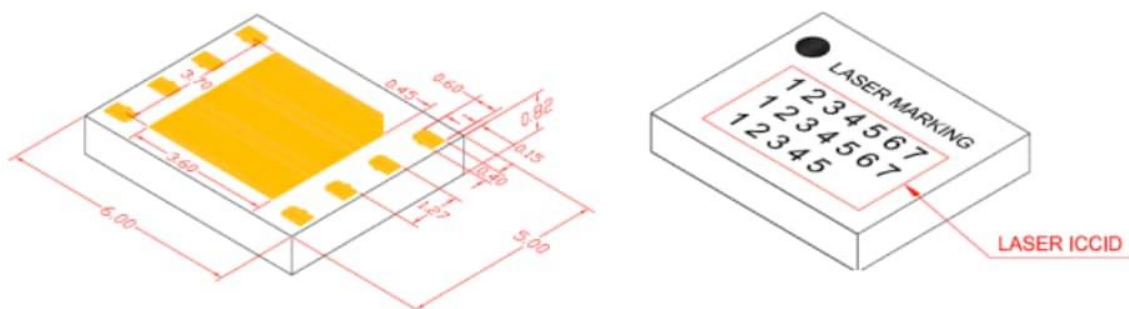
Pro případ komunikace distribuční trafostanice jsou, vzhledem k přenosovým rychlostem a přítomnosti napájení ze sítě, dostačující sítě čtvrté generace.

Fyzický formát SIM karty je závislý na konkrétním modelu komunikačního modulu. V případě že výrobce nevyužije možnost naletování tzv. E-SIM (embedded-SIM) přímo do komunikačního modulu, tak osadí komunikační modul slotem pro jeden z následujících formátů. Mini SIM, Micro SIM anebo Nano SIM, viz obrázek 24.



Obrázek 24: Formát SIM karet [42]

Výhodou těchto slotů je, že výrobce dodá zařízení a provozovatel až následně na základě volby operátora obdrží SIM karty, které instaluje do zařízení. V případě E-SIM, viz obrázek 25, musí provozovatel dopředu rozhodnout, jaké SIM karty chce při výrobě zabudovat do zařízení, což může být komplikované zvláště v případě objednávky malého množství zařízení.



Obrázek 25: Formát MFF2 SIM (vzdálenosti v mm) [43]

Nezávisle na formátu SIM karty, je však důležité vybrat takové SIM karty, které dokáží odolat podmínkám, kterým budou vystaveny v průběhu životnosti. Jako příklad uvádím dva standardy jednoho z operátorů, viz tabulka 10. Samozřejmostí je odolnost vůči vlhkosti, prachu a vibracím.

	M2M Commercial	M2M Industrial
Provozní teplota	-25 °C až +85 °C	-40 °C až +105 °C
Počet cyklů čtení/zápis	500 000	2 000 000
Uchování dat	2 roky	10 let

Tabulka 10: Přehled klíčových vlastností vybraných standardů SIM [44]

6.2 Datová konektivita

Pro 1500 SIM karet, s kterými budu v modelu počítat, lze využívat různé možnosti, jak pro ně nakupovat data. Přehled mechanismů, jak nakupovat data je vypsán v následující tabulce 11.

Název	Vysvětlivky
PPU	Pay-per-use
Denní balíček	Na jednu SIM
Měsíční balíček	Na jednu SIM/Na SIM v rámci 1 služby
Balíček dat	Na jednu SIM/Na SIM v rámci 1 služby
Dynamický balíček	Na SIM v rámci 1 služby

Tabulka 11: Přehled účtování dat

Metoda PPU (pay-per-use) je velmi jednoduchá, v rámci účetního období se načítá provoz v daných jednotkách (kB nebo MB) a následně na konci účetního období je dle cenikové ceny vypočtena celková cena za využitá data. Velmi často je v ceníku položka měsíční poplatek za SIM, který pokrývá operátorovi náklady spojené s vedením SIM karty v provozuschopném stavu. Tato metoda je vhodná především pro testovací provoz, nebo ve chvíli, kdy není předem znám objem dat za určité časové období.

Denní balíček, jak již název napovídá je určitý objem dat na dobu 24 hodin. Je velmi často používán u předplacených P2P SIM karet nebo u tarifů, které nezahrnují data. Pokud to operátor umožňuje, tak ve chvíli, kdy koncové zařízení začne využívat data, je automaticky aktivován tento balíček. Platnost balíčku je do doby vyčerpání daného objemu nebo uplynutí 24 hodin, podle toho co nastane dřív. Tato metoda je vhodná pro P2P SIM karty, pro M2M SIM karty je nevhodná, především z toho důvodu, že na straně přístroje není osoba, ale stroj, který nedokáže řídit tuto službu.

Měsíční balíček je limitován účetní periodou, v tomto případě měsícem. Zároveň je pevně stanovený objem dat na tuto periodu, v případě, že nedojde k vyčerpání daného objemu, tak data propadnou. V případě brzkého vyčerpání dat je povětšinou možné provést tzv. dokup dat, ta ovšem také propadnou ke konci účetního období. Jedná se velmi často používaný mechanismus zpoplatnění dat, především v rámci tarifů pro P2P SIM karty. V tomto segmentu někteří operátoři nabízejí možnosti sdílení datového balíčku mezi jednotlivými SIM kartami v rámci jednoho zákazníka (např. rodiny). V rámci M2M SIM karet se využívá právě sdílení balíčku pro více SIM karet, není zde limitace, že všechny SIM karty daného zákazníka sdílejí stejný datový balíček, ale zákazník sdružuje SIM karty do skupin, a následně skupina čerpá z datového balíčku skupiny.

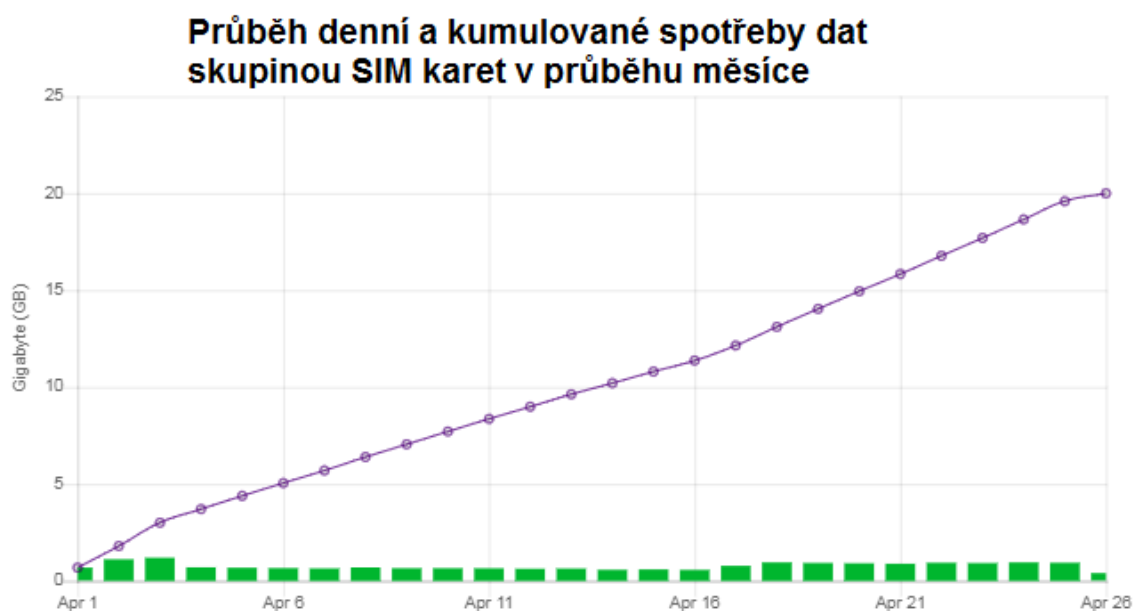
Balíček dat na rozdíl od měsíčního balíčku není limitován délkou účetní periody nebo jedním měsícem. Je zde ale určitá doba, po kterou je datový balíček platný. Poměrně často se lze setkat s dobou 3 měsíce, 6 měsíců, nebo jeden rok, ale existují i případy, kdy je balíček aktivní po dobu

10 let. Je možné mít balíček dat pro jednotlivou SIM kartu, nebo sdílet nakoupený balíček dat mezi skupinu SIM karet. Tento mechanismus je vhodný v případě, že nelze tvořit pravidelné vyúčtování služby, či pravidelně vybírat úhradu za danou službu. Jako příklad lze uvést zařízení pro koncového zákazníka, v rámci kterého bude SIM karta s koupeným balíčkem dat. Jelikož by bylo velmi nákladné následně každý měsíc vybírat od mnoha koncových zákazníků poplatky za data, tak se v rámci prodejní ceny zaplatí SIM karta s balíčkem dat, který by měl vystačit po celou dobu životnosti zařízení.

Dynamický balíček je specialita M2M SIM karet. Myšlenka za tímto mechanismem je následující. Ve chvíli, kdy je karta aktivní, tak využívá definovaný objem dat za časový úsek, po zbytek času nevyužívá žádná data. Například přibližně 2 GB za měsíc. Takže když je daná SIM karta aktivní, tak přispívá do společného balíčku dat, pokud je deaktivována, tak nepřispívá. Navíc, když je SIM karta aktivní pouze 15 dní z 30, tak přispěje pouze 1 GB dat, ale také je účtováno pouze za 1 GB dat. Využití tohoto mechanismu je u všech sezónních zařízení, například sněžných pluhů, které jsou využívány pouze v zimním období, nebo u zemědělské techniky používané pouze v období sklizně.

Kromě jiného principu účtování za využívání služby je zapotřebí mít jiné nástroje na řízení a ovládání služby. To je dáno především tím, že u koncového zařízení s danou SIM kartou není člověk, kterému v případě potřeby může někdo ze zákaznické linky zavolat, nebo komunikovat pomocí SMS zpráv. Dále je standardní situace, kdy jedna osoba ovládá desítky, stovky nebo tisíce SIM karet. Proto je standardní P2P zákaznický portál nedostatečný. Trendem v oblasti M2M portálů je poskytnout mimo pravidelného vyúčtování také nástroje pro správu SIM karet.

Jako příklad uvádím grafické znázornění průběhu využívání dat a to jak v průběhu měsíce, tak v jednotlivých dnech skrz skupinu SIM karet. Na základě znalosti historických dat lze pomocí tohoto nástroje identifikovat problémové chování daného celku, případně využít tato data pro plánování nákupu dat pro další období. Na následujícím obrázku 26 je zelenými sloupci znázorněn počet spotřebovaných dat za jednotlivé dny a fialovou křivkou je uvedena kumulovaná měsíční spotřeba dat.



Obrázek 26: Přehled spotřeby dat skupinou SIM karet

Ta samá data je potřeba sledovat pro jednotlivé SIM karty, vzhledem k obrovskému počtu karet ale není možné sledovat jednotlivé grafy a analyzovat jejich vývoj. K hlídání neočekávaného chová existují alarmy, které v případě nestandardního chování proaktivně uživatele upozorní. Nejjednodušší typ alarmu je hlídání měsíční spotřeby dat, v případě překročení nastaveného limitu je uživatel upozorněn například emailem. Kromě hlídání spotřeby dat může být hlídána přítomnost SIM karty v síti, nepřítomnost může znamenat poruchu nebo poškození zařízení. V rámci skupiny SIM karet je vhodné hlídat zbývající objem nevyčerpaných dat, a v případě poklesu objemu pod zvolený limit informovat uživatele o dané situaci, aby uživatel mohl předejít situaci, kdy zařízení nebudou moci komunikovat z důvodu vyčerpaných dat. V neposlední řadě jsou užitečné nástroje pro hromadné nastavování SIM karet, například aktivace či deaktivace.

Při výběru poskytovatele SIM karet bychom tedy kromě ceny měli přihlídnout k výše uvedeným okolnostem a vyhodnotit, zda poskytovatel je kromě konektivity schopen nabídnout vhodné mechanismy k tvorbě datových balíčků a nástroje pro správu a řízení služeb.

6.3 Poskytovatelé

Při výběru kandidátů na vhodného poskytovatele SIM karet jsem se snažil vybrat různorodé varianty z pohledu výše uvedených kritérií. Zároveň jsem se neomezil pouze na nabídku lokálních poskytovatelů, protože v současnosti platí legislativa upravující velkoobchodní ceny dat v celé Evropské unii. V roce 2019 je velkoobchodní cena stanovena na 4,5 EUR za 1 GB dat bez DPH.[45] Mohlo by se sice zdát, že lokální poskytovatel je schopen nabídnout lepší cenu než zahraniční poskytovatel s takto stanovenou nákupní cenou dat. Ovšem právě možnost provozovat SIM karty napříč celou Evropou nabízí možnost na platformě mít řádově více karet, čímž dochází k úspoře při správě karet a proto může být výsledná cena nižší. Nebo můžou poskytovat lepší nástroje pro správu SIM karet, za které si bude zákazník ochoten připlatit. V následujících podkapitolách porovnávám tři zvolené poskytovatele SIM karet.

6.3.1 Things mobile

Tento poskytovatel se profiluje jako první globální mobilní operátor specializovaný pouze na internet věcí (IoT). Nabízí pokrytí ve 165 zemí světa a podporuje všechny dostupné technologie, tedy 2G, 3G, 4G, LTE CAT-1, LTE CAT-M1 a brzy NB-IoT. V rámci těchto 165 zemí využívá sítě více jak 350 operátorů. To je obrovská výhoda při pohybu zařízení mezi jednotlivými zeměmi například u zařízení, která kontrolují podmínky při přepravě zboží. Ovšem pro účely chytrých distribučních stanic nám stačí pokrytí v rámci České republiky.

V rámci svého portálu nabízí nástroje na správu cenových plánů pro SIM karty, zároveň nástroje pro řízení služby a nastavení SIM karet jako například alarmy. Mimo to nabízí API (application programming interface), které si zákazník může implementovat do svých aplikací a tím do nich integrovat jednotlivé funkcionality portálu. Další nabízená funkcionalita, která nebude u chytrých stanic využita, je lokalizace zařízení pomocí GSM triangulace. Doplnkovou službou je nabídka VPN (virtual private network), pomocí níž lze zařízení připojit přímo do vlastní sítě.

SIM karty jsou nabízeny ve všech standardních formátech mini (2FF), mikro (3FF) a nano (4FF). Mimo to poskytovatel nabízí také formát SIM-On-Chip (MFF2 embedded).

Ohledně datových balíčků disponuje tento poskytovatel širokou škálou možností. Nejjednodušší variantu PPU nabízí také, cena za MB je podle zóny z které jsou data čerpána, celkově je svět rozdělen do sedmi zón a ceny se pohybují v rozmezí 0,1 €/MB až 5 €/MB, není zde měsíční poplatky za SIM, ale je zde určité minimální plnění v případě malé konzumace dat. Dále jsou k dispozici balíčky na 1 SIM kartu s platností měsíc nebo rok. A nechybí sdílené balíčky dat mezi

SIM karty s dobou platnosti měsíc nebo rok. Cena za samostatnou E-SIM činí 3 €, v případě nákupu kreditu ke kartě je za kartu poplatek 1 €. Klasická SIM karta je zpoplatněna 2,5 €, v případě nákupu kreditu je karta zdarma. Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH.[46]

6.3.2 INCE

INCE je další z poskytovatelů, kteří nabízí tzv. IoT SIM karty. Předností, kterou uvádějí je jednoduché pořízení a užívání SIM karet. Porytí nabízejí ve většině evropských zemích. Mimo Evropu lze využívat jejich SIM karty v USA, Číně a Rusku. Ve většině zemí nabízí pokrytí 2G,3G a 4G. V Německu navíc nabízí NB-IoT. Do budoucna je plánovaná podpora LTE-M1. SIM karty lze koupit ve standardních formátech a také lze objednat formát E-SIM (MFF2), za ten je příplatek 2 €.

Jak jsem již zmínil, hlavní tahák, který poskytovatel sám uvádí, je jednoduchý cenový plán. Nabízí tzv. The INCE Lifetime Fee. V rámci tohoto produktu obdrží zákazník za cenu 10 € SIM kartu s 500 MB a 250 SMS s možností čerpání po dobu 10 let. Žádné další poplatky nejsou ani za management SIM karty, nastavování VPN, APN (access point name) nebo softwarové licence. Data a SMS je možno čerpat v libovolné zemi, ve které má tento poskytovatel pokrytí. V rámci této ceny je k dispozici i zákaznický portál.

Tato nabídka je mířena především na zařízení, která během své životnosti nebudou potřebovat více dat či SMS, než je v balíčku nabízeno. Není tedy třeba se starat o vyúčtování a výběr peněz. To není případ chytrých distribučních stanic, u nichž se očekávají řádově mnohem větší objemy dat v rámci deseti let, pro tento případ nabízí operátor možnost dokoupit další balíček o velikosti 500 MB a 250 SMS za cenu 10 €.[47]

6.3.3 Kaktus

Jako posledního poskytovatele do modelu jsem vybral lokálního poskytovatele kaktus. Výběr jsem provedl na základě srovnání z webu tarifomat.cz, kde jsem vybral poskytovatele, který nabízí nejlevnější datový balíček, v tomto případě o velikosti 500 MB, neboť očekávám, že to je dostačující měsíční objem dat pro chytré distribuční trafostanice. Kaktus nabízí tzv. „samoobnovovací“ balíček, který se obnoví po uplynutí 30 dnů, nebo spotřebování dat, podle toho co nastane dřív. Cena za tento balíček je 100 Kč s DPH a obsahuje 500 MB dat.

Problém, který může nastat se SIM kartami tohoto poskytovatele, jsou provozní podmínky, pro které jsou tyto karty vyrobeny. Na webu operátora tyto podmínky nejsou uvedeny a proto neočekávám, že by měly industriální standard. Další možnou překážkou je zákaznický portál, který je vytvořen na správu jednotek SIM karet v rámci jednoho zákazníka a není vybaven nástroji na správu a řízení služby se stovkami SIM karet. Co se týče nabízené konektivity, tak maximální přenosová rychlost je nastavena na 20 Mbit/s. Těchto rychlostí je možno dosáhnout v sítích 4G. Tam, kde nejsou k dispozici tyto sítě, je možno využívat sítě 3G a 2G.[48]

Kaktus je virtuální operátor, který využívá infrastrukturu T-Mobile. SIM karty jsou ve vlastnictví virtuálního operátora, a společnost funguje technicky a procesně odděleně. Tím, že využívá infrastrukturu T-Mobile, tak služby nakupuje za velkoobchodní ceny právě od tohoto operátora. Je možné pouze spekulovat, zda kaktus má adekvátní marži na těchto balíčcích nebo zda se jedná o prodejní tahák daného produktu a hlavní část marže tvoří prodej ostatních služeb jako hlas a SMS.

To vše vede k logické úvaze, že v množství 1500 SIM karet by velmi podobnou cenu mohl nabídnout přímo samotný operátor. Zároveň by bylo možné dojednat speciální várku SIM karet, které odolají provozním podmínkám v distribučních stanicích. Nejedná se ovšem o dostatečně

velkou várku SIM karet, aby bylo rentabilní vyvíjet nové nástroje na správu a řízení služby. Tohoto poskytovatele lze brát jako reprezentativní vzorek, který vyjadřuje variantu dojednání personalizované nabídky jednoho ze tří velkých českých operátorů.

6.4 Nákladový model

Ekonomický přínos chytrých stanic je dán více faktory. Celkový přínos nasazení chytrých stanic je ve zvýšení spolehlivosti dodávek elektrické energie a ve snížení doby výpadku dodávek elektrické energie. Jako příklad lze uvést identifikace místa poruchy v řádu vteřin, tím lze v první řadě snížit náklady spojené s lokalizací poruchy v podobě výjezdního vozidla s techniky, kteří systematicky kontrolují jednotlivé stanice. V druhé řadě snížením doby výpadku dojde k snížení celkové nedodané elektřiny, která by mohla být prodána. Dalším příkladem je snížení ukazatelů SAIDI a SAIFI, v následku čehož mohou být ušetřeny náklady za jiná opatření zvyšující kvalitu dodávek.

K vyjádření celkových nákladů na chytré stanice by bylo nutné započítat i náklady na přípravu projektu, návrh architektury sítě, pilotní projekt, HW vybavení stanic, instalaci zařízení, údržbu zařízení, zaškolení obsluhy, přenos dat a další. Právě nákladovému modelu na datovou konektivitu se budu v další části práce věnovat.

Porovnám celkově tři varianty, všechny počítají s vybavením stanic komunikačním modulem využívajícím mobilní sítě. Každá z variant reprezentuje jiného poskytovatele, jehož SIM karty jsou instalovány do stanic. Jednotlivé poskytovatele jsem již představil.

Název varianty	Nakupované balíčky
Things mobile	sdílený balíček dat
1NCE	balíček dat na SIM
Kaktus	měsíční balíček dat na SIM

Tabulka 12: Přehled variant nákladového modelu s metodou nákupu dat

V základním modelu počítám s finálním počtem 1500 SIM karet během 10 let. Odhadovaná spotřeba dat na jednu SIM kartu je 300 MB za měsíc. V rámci modelu nepředpokládám, že by v průběhu těchto deseti let došlo ke změně poskytovatele. Z tohoto důvodu přijímám předpoklad, že smlouva na SIM karty bude dohodnuta na celou dobu trvání modelu, a i ceny za služby budou předem dohodnuty na celé období. Ve chvíli, kdy dojde ke změně poskytovatele je nutné mít na paměti, že jsou s tím spojeny náklady na výměnu SIM karet ve všech stanicích.

Varianty budu hodnotit na základě kritéria NPV, jelikož se bude jednat o nákladové NPV tak budu počítat výdaje s kladným znaménkem. U nákladového NPV je varianta s nižším NPV lepší. Alternativně bych mohl využít metodu diskontovaných nákladů. Tato metoda by měla vrátet stejné výsledky jako nákladové NPV, ale osobně si myslím, že není tolik známá jako NPV.

Kritérium NPV počítá s diskontní sazbou, kterou potřebuji vhodně zvolit. Distribuce elektrické energie je regulované odvětví, ve kterém ERÚ (energetický regulační úřad) stanovuje míru výnosnosti regulační báze aktiv. Pro čtvrté regulační období je hodnota míry výnosnosti rovna 7,951 % [49]. Přijmu tedy zjednodušující předpoklad, kterým je konstantní diskont po celých deset let roven míře výnosnosti stanovené ERÚ na čtvrté regulační období.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+d)^t}$$

Rovnice 5: Vzorec pro výpočet NPV

Při výpočtech budu využívat vzorec uvedený v rovnici 5, kde NPV je čistá současná hodnota, CF_t vyjadřuje výdaje v čase t , d je diskontní sazba a t je čas v letech od počátku modelu. V závislosti na různých metodikách účtování spotřeby dat budu náklady počítat v době kdy vzniknou, nebudou tedy vždy vztaženy k začátku nebo konci roku, proto je možné, že t nebude vždy celočíselné. Model je počítán na deset let, proto $T=10$.

V případě měsíční spotřeby dat 300 MB/SIM a nárůstu počtu sim karet 150 za rok je celkový objem dat spotřebovaný všemi SIM kartami za 10 let 29 700 000 MB. Na základě těchto hodnot jsem u jednotlivých poskytovatelů vybral nejvhodnější možnou variantu nákupu dat viz tabulka 12.

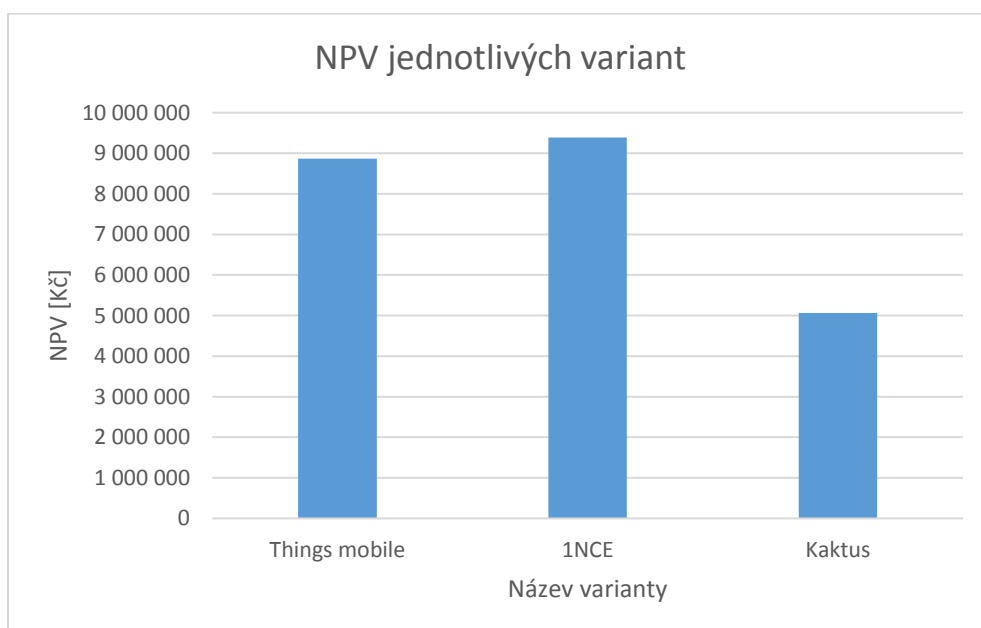
U Things mobile vychází nejlépe nakupovat balíček o velikosti 1 TB který je sdílený mezi všechny SIM karty, a je možno jej vyčerpat do jednoho roku. Cena za tento balíček je 18 000 € bez DPH. Během prvního roku je vzhledem k nízkému počtu SIM karet dostačující balíček o velikosti 500 GB za 10 000 € bez DPH. Ve variantě 1NCE je jediná možnost, a to nákup 500 MB v balíčku s trvanlivostí 10 let a po vyčerpání dokupovat. Cena prvotního balíčku i dokupovaného balíčku činí 10 € bez DPH. Ve variantě kaktus je taktéž jedna varianta, a to samoobnovovací balíček o velikosti 500 MB s trvanlivostí 30 dní. Jeho cena je 100 Kč s DPH což je 82,65 bez DPH.

Kurz CZK/€ jsem pro výpočet použil aktuální v den výpočtu, který činil 25,69 CZK/€. Prognóza ČNB sice počítá s poklesem kurzu v následujících letech pod úroveň 25 CZK/€, ale to je pouze prognóza a já v rámci zjednodušujícího předpokladu budu uvažovat fixní současný kurz. V případě vyplnění prognózy ČNB by na tom byly výhodněji varianty, u kterých se platí v €.

Hodnoty NPV jednotlivých variant v této modelové konfiguraci jsou uvedeny v následující tabulce 13 a grafu 18.

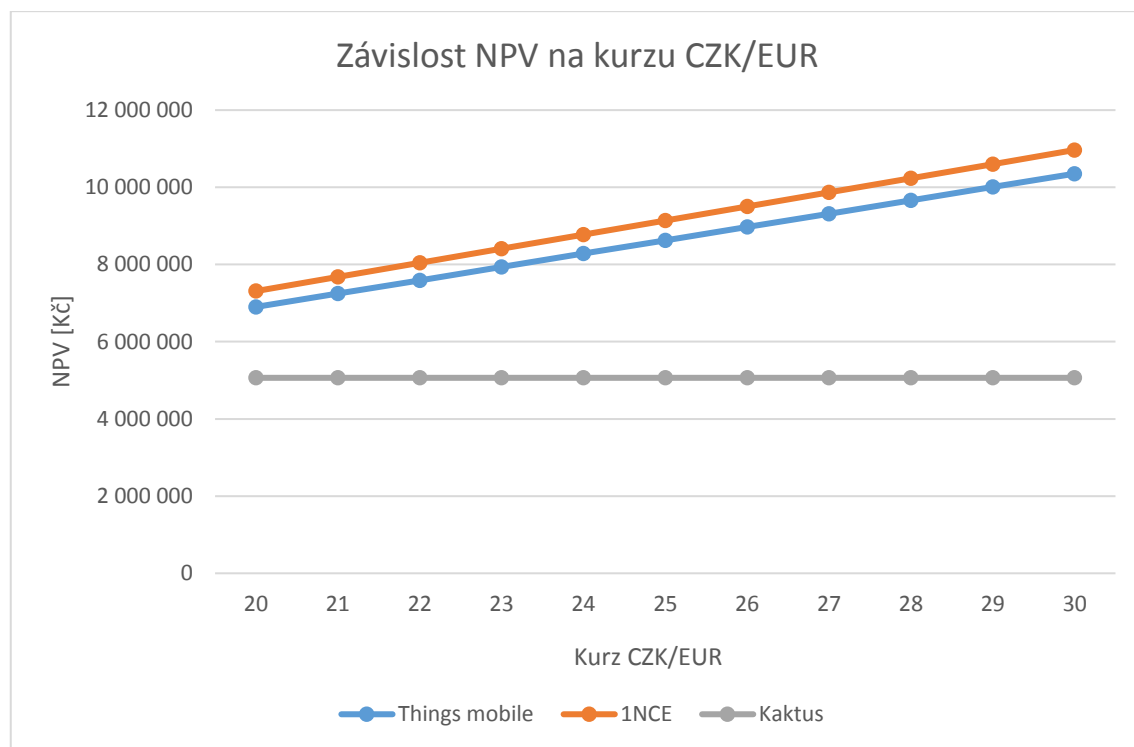
Název varianty	NPV [Kč]
Things mobile	8 864 958
1NCE	9 391 423
Kaktus	5 064 626

Tabulka 13: NPV jednotlivých variant



Graf 18: NPV jednotlivých variant do roku 2030

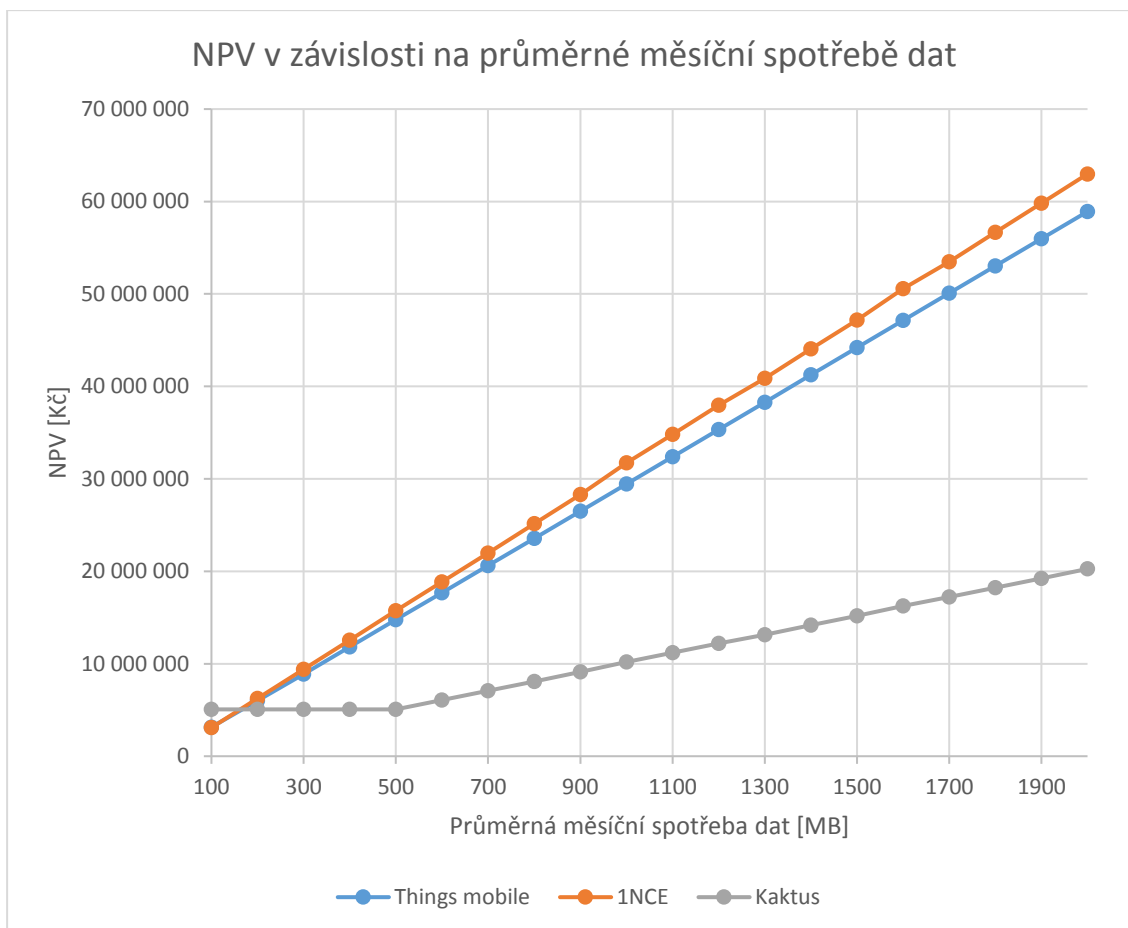
Jak je patrné, tak nejlépe vychází varianta Kaktus s NPV 5,1 mil. Kč, druhá v pořadí je Things mobile s NPV 8,9 mil Kč a poslední je varianta 1NCE s NPV 9,4 mil. Kč. Zároveň je značná pravděpodobnost, že přijaté předpoklady nebudou přesně takové, jaké jsem si zvolil, proto jsem provedl následující citlivostní analýzy. Nejprve jsem zkoumal závislost NPV na kurzu CZK/EUR, viz graf 19.



Graf 19: Závislost NPV na kurzu CZK/EUR

Varianta Kaktus není na kurzu závislá, zbylé dvě varianty logicky vycházejí lépe v případě silnější koruny vůči euru. Aby došlo k vyrovnání NPV jednotlivých variant, tak by se musel kurz CZK/EUR pohybovat mezi 14 až 15 CZK/EUR.

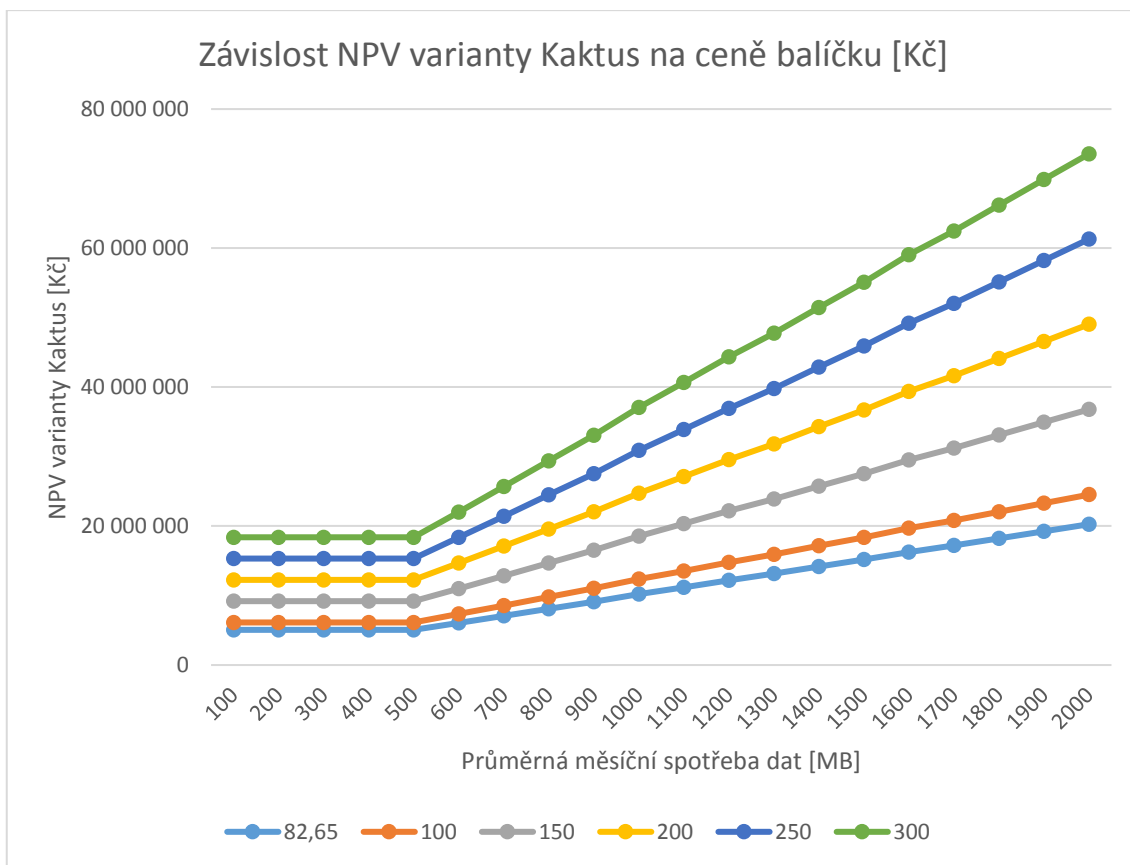
Další závislost, které jsem se věnoval, je závislost na průměrné měsíční spotřebě dat na SIM kartu. Průběhy jsem volil v intervalu průměrné měsíční spotřeby od 100 MB až do 2000 MB. Závislost je vidět v následujícím grafu 20.



Graf 20: Závislost NPV na průměrné měsíční spotřebě dat

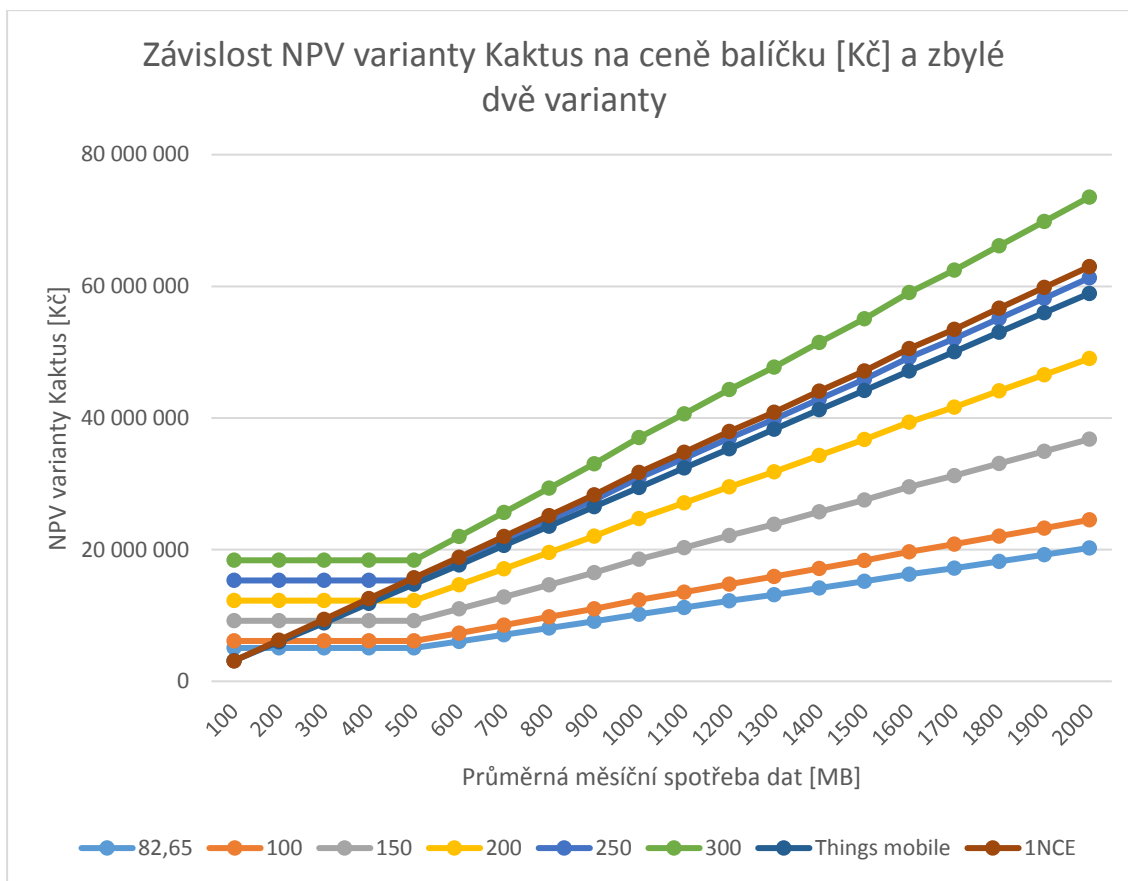
Z tohoto grafu je vidět, že varianta Things mobile je vždy lepší než varianta 1NCE. Varianta Kaktus je při malých měsíčních objemech dat nejhorší, ale pro 160 MB se vyrovná variantě 1NCE a při 173 MB se vyrovná variantě Things mobile. Od hodnoty 173 MB je varianta Kaktus nejlepší.

Jak již bylo zmíněno varianta Kaktus neposkytuje vhodné specializované nástroje na správu a ovládání služby ani vhodný standard SIM karet. Proto očekávám nutné vyjednávání ohledně detailů služby, což může mít za následek jinou než zde uvedenou cenu za datový balíček. Ta je u ostatních variant je garantována, proto podrobím variantu Kaktus citlivostní analýze na cenu balíčku. Cenu jsem měnil od nabízené ceny až do ceny 300 Kč bez DPH/balíček viz graf 21.



Graf 21: Závislost NPV varianty Kaktus na ceně balíčku

Průběh jednotlivých křivek napovídá, že se tvar výrazně nemění, ale křivky jsou vůči sobě posunuty. První část do 500 MB je konstantní a následně se jedná o rostoucí přímku. Abych mohl tyto varianty srovnat se zbylými, tak jsem do stejného grafu umístil dva průběhy od dvou zbylých poskytovatelů, viz graf 22. Z toho grafu je patrné, že v případě ceny dat 300 Kč/balíček u Kaktusu už jsou ostatní varianty lepší. A v případě Things mobile stačí, aby cena byla 250 Kč/balíček a varianta Kaktus bude horší při libovolném objemu dat. Postupně jak se snižuje objem dat průměrně spotřebovaný jednou SIM kartou za měsíc, tak vycházejí varianty 1NCE a Things mobile postupně lépe než varianty Kaktus s různou cenou za datový balíček.



Graf 22: Závislost NPV varianty Kaktus na ceně balíčku a zbylé varianty

V současné době existuje mnoho možností pořízení datové konektivity pro chytré stanice. V rámci modelu jsem vyhodnotil 3 vybrané varianty připojení prostřednictvím mobilního operátora. Porovnání založené na ceně dopadlo nejlépe pro variantu Kaktus, jak jsem již zmínil, není nutné volit tohoto konkrétního poskytovatele, ale libovolného, který nabídne srovnatelnou cenovou nabídku s ohledem na některé nestandardní požadavky. Zbylé dvě varianty vyšly po stránce NPV přibližně stejně, ale hůř než Kaktus. Důvodem pro volbu jedné z těchto dvou variant, nebo jim podobným, je nutnost nástrojů pro správu a řízení služby, jedním takovým požadavkem může být nutnost připojením do VPN (virtuální privátní síť), nebo požadavek hlídání podezřelého chování jednotlivých SIM karet. Lze říct, že vzhledem k možnosti vybírat i ze zahraničních poskytovatelů, tak se společnost nakupující SIM karty nachází ve výhodné pozici a může vybírat poskytovatele a produkt, který jí bude vyhovovat nejvíce.

7 Datové uložště

Před samotným návrhem procesů nakládání s daty z chytrých distribučních trafostanic je nutné definovat očekávání a požadavky, které musí být splněny. Pro tuto modelovou situaci předpokládám požadavek na dostupnost historických dat ze stanic až 5 let dozadu. Tato data by měla být dostupná skoro v reálném čase, maximálně s krátkou prodlevou. Starší data budou archivována, aby bylo možné v případě potřeby tato data využít, není však nutná dostupnost v reálném čase.

Před dalším návrhem skladovacích možností je nutno klasifikovat data. Jelikož se jedná o historická data z distribučních trafostanic, tak je nelze hodnotit jako kritická pro provoz distribuční soustavy. V případě nedostupnosti, či snad nenávratné ztrátě dat, není ohrožen chod soustavy. To je patrné i ze současné situace, kdy tato data vůbec nejsou v reálném čase k dispozici. I když s rostoucí automatizací a nasazováním algoritmů se může stát, že bez těchto historických dat budou některé řídicí mechanismy funkční pouze omezeně. V budoucnu se tedy může stát, že se důležitost těchto dat přehodnotí.

Další hledisko je citlivost dat z chytrých stanic. To je nutné určit nejenom z důvodů zřízení přístupů k datům v rámci společnosti, ale také z důvodu umístění dat. Dle mého názoru jsou tato data natolik citlivá, že nepřipadá v úvahu jejich umístění na cloudovém uložšti. A to nejen z důvodu nulové kontroly nad fyzickým přístupem k datům (diskům), ale také je zde vysoké riziko prolomení ochran a odcizení dat.

Varianta, která respektuje charakter a citlivost dat je vlastní datové uložště umístěné v rámci vlastního či pronajatého datacentra. Tím bude mít provozovatel distribuční soustavy plnou kontrolu jak nad fyzickým přístupem k datům, tak i nad přístupem k datům v rámci vlastní sítě či z internetu.

Při návrhu datového uložště je nutné zvážit architekturu diskového pole. S ohledem na klasifikaci dat je nutné volit architektury, které dokáží v případě fyzického selhání pevného disku zachovat data. K tomu se využívají metody RAID (Redundant Array of Independent Disks). Pro tuto aplikaci lze využít metodu RAID1, označovanou také jako zrcadlené disky. Jak již název napovídá, každý úsek dat je uložen na dva disky. V případě poruchy jednoho z disků jsou data k dispozici na druhém. Ve chvíli kdy dojde k poruše i druhého disku jsou data nenávratně ztracena, proto je nutné první vadný disk v co nejkratší době vyměnit za nový funkční. Ve chvíli, kdy dojde k výměně disku začne proces synchronizace, při kterém se data nahrají na nový disk. Při využití této metody je však možné využít pouze polovinu součtu celkové kapacity disků.[50]

V případě potřeby navýšit kapacitu diskového pole, se využívá metoda RAID0. Při této metodě jsou data rovnoměrně rozdělena mezi jednotlivé disky. Díky tomu se dosáhne také zrychlení zápisu.[50] Samozřejmě je možno tyto metody kombinovat. Kombinace těchto konkrétních dvou metod se poté označuje jako RAID10 nebo RAID01.

7.1 Velikost datového uložště

Velikost datového uložště je nutno navrhnout tak, aby bylo schopno uchovat data po požadované době. V tomto případě předpokládám, že daná doba je 5 let. Nyní je zapotřebí odhadnout objem dat, který bude představovat průběhy ze všech 1500 chytrých stanic za dobu 5 let. Dále je nutno rozhodnout, zda ukládat všechna data, která byla odeslána do řídicí stanice, nebo pouze některá.

Metod pro výběr dat je několik. Lze ukládat pouze zprůměrovanou hodnotu za daný časový úsek. Při použití této metody dojde k eliminaci krátkých špiček a k vyhlazení průběhu. Velikost uložených dat pak závisí na volbě délky periody, čím delší perioda, tím méně dat, ale také více vyhlazené a zkrácené průběhy.

Další variantou je nasadit stejné mechanismy, které využívají RTU v chytrých stanicích, tedy delta a integrální kritérium. V tom případě by bylo logické nasadit vyšší (méně citlivé) citlivostní hladiny, aby docházelo k méně častému spínání mechanismu. V případě sepnutí je daná hodnota zapsána do databáze. Touto metodou by bylo zajištěno zachování významných špiček v průbězích a zároveň došlo k redukcí počtu ukládaných hodnot.

Poslední variantou je zapisovat všechny hodnoty, které jsou zaslány z chytrých stanic do řídicí stanice. V tomto případě dojde k zachování průběhů, ale nedojde k žádné redukcí počtu ukládaných hodnot.

V případě tohoto modelového výpočtu zvolím poslední výše jmenovanou variantu, tedy ukládání všech hodnot. Toto rozhodnutí jsem udělal s ohledem na to, že v případě zachování všech dat je možné v budoucnu změnit metodu a redukovat data. K této redukcí může v budoucnu dojít i z důvodu, že dojde k manažerskému rozhodnutí, že daná data nemají hodnotu nákladů potřebných k jejich uchování.

V předešlých výpočtech jsem počítal přibližně s 300 MB dat na jednu stanicí. Část z těchto dat nebude použita na přenos měřených veličin, proto předpokládám že pouze 90 % z tohoto objemu tvoří zprávy s měřenými veličinami. Na základě modelu chytré stanice by to odpovídalo přibližně 2,16 milionu zpráv s hodnotami veličin. V případě 1500 stanic se pak počet zpráv za měsíc rovná 3 240 milionům. Pro cíl mít k dispozici průběhy za 5 let je nutno na diskovém uložišti skladovat celkem 194,4 miliard hodnot.

Pokud by nebyl požadavek na uchování všech přenesených hodnot, tak by tu byla varianta ukládat hodnoty ze SCADA systému. Ze SCADA systému jsou každých 5 minut k dispozici čtyři hodnoty (maximum, minimum, průměr a aktuální hodnota) měřené veličiny. V takovém případě by během pěti let bylo zapotřebí uložit pouze 3,2 miliardy hodnot. Tuto variantu však v modelu neuvažují.

V závislosti na volbě mezi relačními databázemi nebo třeba databázemi časových řad, se bude odvíjet celkový objem dat. Pro tuto modelovou situaci přijmu zjednodušující předpoklad a zvolím relační databázi. V této databázi budu ukládat do jednotlivých tabulek naměřené hodnoty. Každé měřidlo tak bude mít vlastní tabulku, do které se budou ukládat hodnoty z přijatých zpráv. Pro lepší přehlednost lze pro každý měsíc tvořit novou tabulku. Z každé zprávy uložím naměřenou hodnotu jako datový typ float a k ní připojím časovou značku. V případě použití MySQL databáze zabírá datový typ timestamp 4 bajty a float také 4 bajty.[51] Celkově tedy případně na jednu zprávu zaslou z chytré stanice 8 bajtů v databázi.

Databáze by po zaplnění zprávami za 5 let provozu měla obsahovat skoro 200 miliard záznamů, a měla dosáhnout velikosti 1,41 TB. Velikost dat za jeden rok provozu by měla být 289,7 GB.

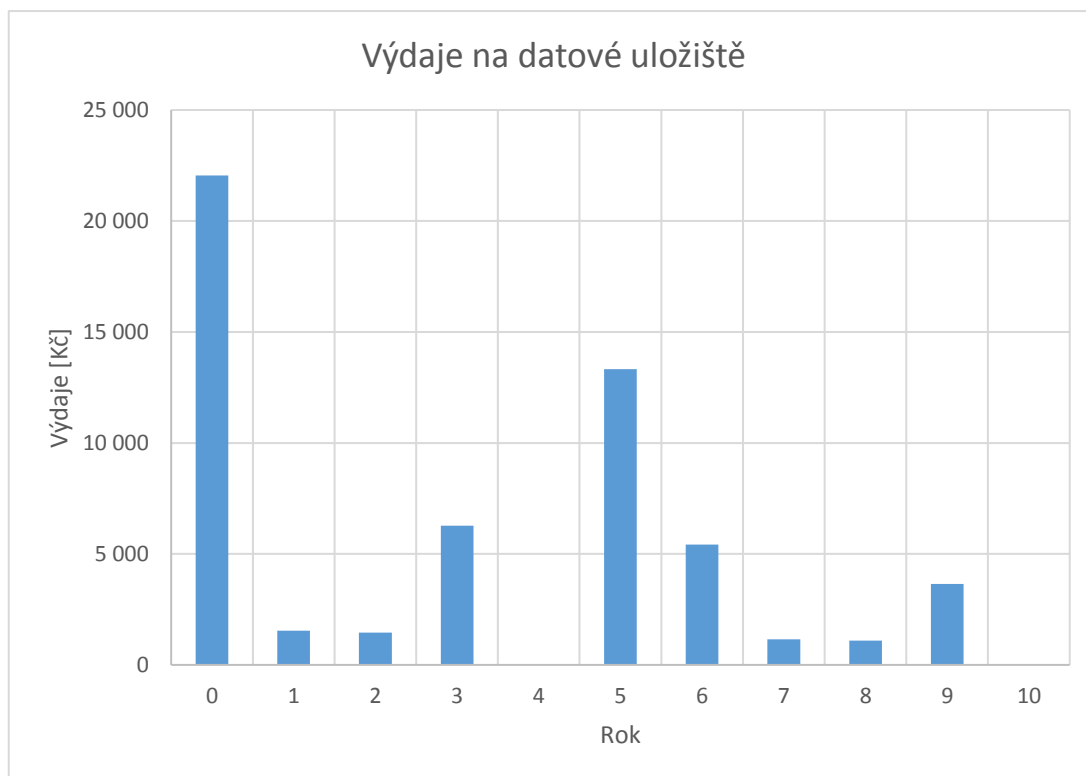
7.2 Nákladový model

V rámci nákladového modelu počítám celkem s dostupnou kapacitou diskového pole 2 TB. Toho lze dosáhnout zapojením dvou 1 TB disků do RAID0 a následně redundanci dat zajistí zapojení dalších dvou 1 TB disků do RAID1. Celkově je zapotřebí 4 kusů 1 TB pevných disků. Aby bylo možné disky zapojit do RAIDu a následně připojit k síti je zapotřebí NAS (Network attached storage) server. Tím je vyřešeno ukládání dat po dobu 5 let, následné zálohování a archivaci je nutné provádět na externí médium. Tímto médium mohou být externí pevné disky, optické nosiče

nebo magnetické archivační pásky. Pro tento model jsem zvolil archivační Blu Ray M-Disc (Millennial Disc) o kapacitě 100 GB. Tuto technologii jsem zvolil, neboť se prezentuje jako archivační medium schopné archivace po dobu 1000 let[52], což je pro naše účely dostačující. Další výhodou je nízká cena a rozšířenost Blu ray vypalovaček a čteček. Se zálohami dat jsem počítal každého čtvrt roku, na což by kapacita jednoho disku měla být dostatečná. Při této frekvenci zálohování bude zapotřebí 40 disků během 10 let.

Cena NAS serveru se čtyřmi sloty je 12 065 Kč bez DPH[53], životnost tohoto zařízení odhaduji na 5 let, po této době počítám s nákupem obdobného zařízení ve stejné pořizovací ceně. Cena pevného disku s kapacitou 1 TB je 1 412 Kč bez DPH[54], záruka tohoto zařízení je 3 roky. V nákladovém modelu nepředpokládám životnost delší než záruku a proto po 3 letech počítám s nákupem nových disků. Pro praktické použití je lepší využít disky různých výrobců nebo alespoň různých výrobních sérií, aby nedošlo kvůli výrobní vadě k poruše více disků najednou nebo v krátkém časovém rozmezí. Pro zálohovací a archivační účely počítám s nákupem externí vypalovačky a čtečky Blu Ray disků za 2 719 Kč bez DPH[55]. Očekávám, že toto zařízení vydrží sloužit po celých 10 let. K tomu je zapotřebí dokupovat Blu Ray M-Disk, ty je možné koupit za 1 612 Kč bez DPH[56], v balení po 5 kusech.

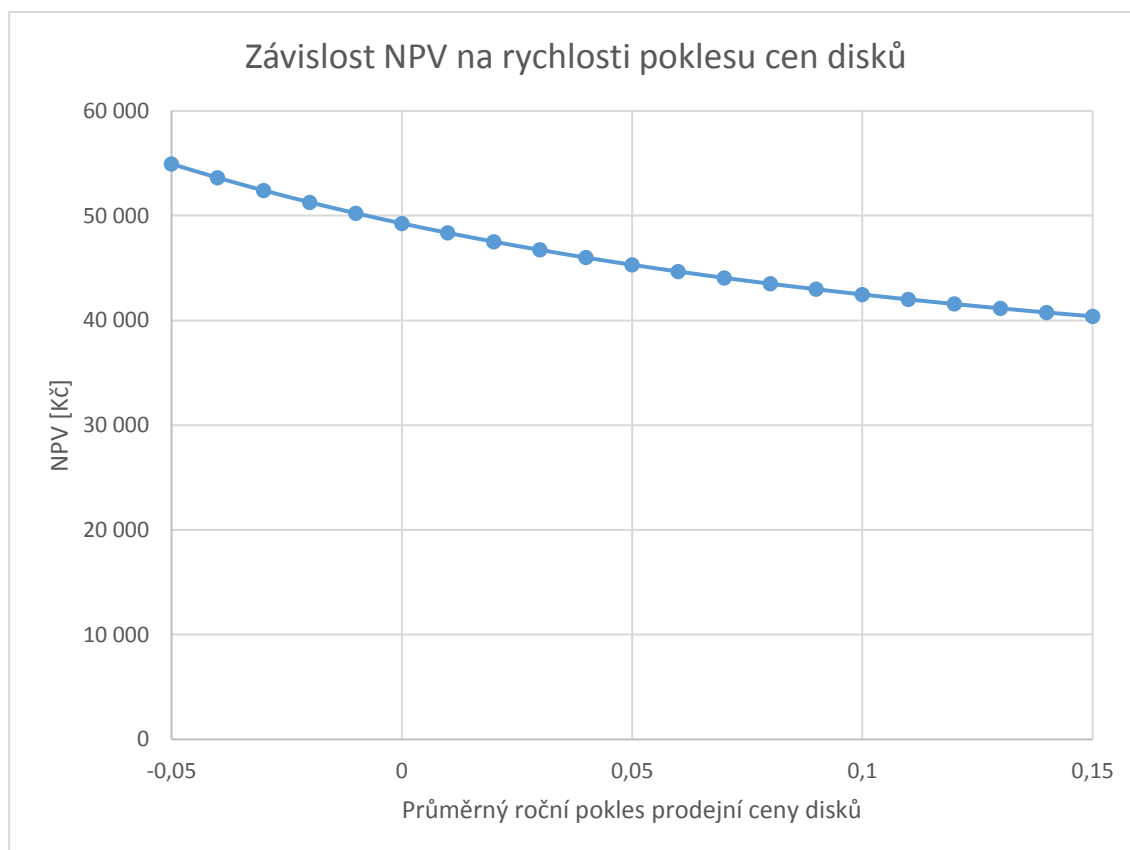
K hodnocení této varianty využiji metodu nákladového NPV se stejnými předpoklady jako u hodnocení variant poskytovatelů SIM karet. V případě modelu datového uložení počítám s předpokladem poklesu ceny pevného disku rychlostí 5 % za rok. Stejnou rychlost klesání ceny očekávám i u Blu Ray M-Disků. Při takto nastaveném modelu vychází nákladové NPV 45 tisíc Kč. V následujícím grafu 23 je zobrazena hodnota výdajů v jednotlivých letech.



Graf 23: Velikost výdajů na datové uložení v jednotlivých letech

Podstatná část výdajů je realizována v roce 0, tedy před uvedením datového uložení do provozu. Poté následuje velký výdaj v pátém roce, kdy dochází k výměně NAS serveru. Další významné výdaje jsou realizovány v šestém a devátém roce, kdy dochází k obměně pevných disků, ceny těchto disků ale postupně klesají. Zbylé výdaje tvoří nákup archivačních disků.

V rámci citlivostní analýzy jsem zkoumal dopad různé rychlosti klesání cen disků na výsledné NPV, výsledná závislost je vynesena v grafu 24. V rámci klesání cen disků počítám cenu pevných disků, tak i archivačních Blu Ray disků. V případě konstantní ceny po celých 10 let vychází NPV 49 tisíc Kč, pokud by snad došlo ke zdražování průměrným ročním tempem 5 %, tak NPV je 55 tisíc Kč. Naopak v případě rychlého poklesu cen průměrným tempem 15 % za rok, tak NPV vyjde 40 tisíc Kč.



Graf 24: Závislost NPV na průměrném ročním poklesu cen disků

Tento model neuvažuje některé provozní náklady, především náklady na elektrickou energii nutnou k provozu tohoto vybavení, poté dohled nad stavem úložiště a případné zásahy IT obsluhy. V případě umístění datového úložiště v externím datacentru nejsou započítány náklady na pronájem a případné doplňkové služby jako využití centrálního záložního zdroje. V případě umístění ve vlastním datacentru by šlo tyto náklady vyčíslit jako velikost ušlé příležitosti daný prostor pronajmout. Pronájmem prostor ve vlastním datacentru se však vytrácí jedna z hlavních výhod a tou je, že do daných prostor nemá fyzický přístup nikdo jiný než zaměstnanci distributora.

Další možností by bylo využít již funkčního datového úložiště, které by se pouze kapacitně rozšířilo. Tuto variantu jsem však nemohl namodelovat, neboť nejsem detailně obeznámen s architekturou současného datového úložiště PREdistribuce.

I přes všechny zde nezapočítané náklady na datové úložiště jsou náklady na desetiletý provoz takového úložiště řádově nižší než provoz komunikační sítě. Osobně si myslím, že tyto informace při kvalitní analýze dokáží ušetřit náklady v minimálně stejné výši, například na fyzickém zařízení distribuční soustavy v následku optimalizace využívání jednotlivých komponent.

8 Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na vybrané části problematiky chytrých sítí. V úvodní části práce byla uvedena motivace zavádění chytrých sítí a popis co všechno se skrývá pod pojmem chytrá síť. Obecně se nové technologie v rámci smart grid nasazují jako reakce na měnící se charakter výroby a spotřeby, nové trendy (např. elektromobilita) a neustále se zpřísňující požadavky na spolehlivost dodávky elektrické energie ze strany distributorů.

V rámci druhé kapitoly byla pozornost věnována distribuční soustavě. Jednak vymezení této soustavy a dále podrobný popis infrastruktury distribuční společnosti PREdistribuce, a.s., působící na území hlavního města Prahy a Roztok. Následovala motivace distribučních společností zavádět chytré distribuční stanice a výčet požadavků, které jsou na stanice kladeny. Z těchto požadavků vychází technologický návrh chytrých stanic, který byl v této podkapitole také popsán. V závěru této kapitoly byl uveden popis a navržená schémata doplněna obrázkem komunikačního modulu pilotní chytré distribuční trafostanice.

V třetí kapitole byly popsány komunikační protokoly. Nejdříve byl uveden krátký úvod do problematiky protokolů a popis OSI modelu a TCP/IP protokolu. Následoval popis protokolů v rámci normy IEC 60870-5, které jsou zaměřeny na komunikaci systémů a zařízení pro dálkové ovládání. Alternativou této skupiny protokolů je standard DNP3 spravovaný organizací IEEE. Obě možnosti mají mnoho společného a jsou navrženy za účelem vzdálené správy a ovládání systémů z centrálního systému. Důvodem proč IEC 60870-5 dostalo přednost před DNP3 je rozšíření této normy v Evropě. Vzhledem k již relativně rozsáhlé implementaci zařízení v energetice podporujících tuto normu lze očekávat její využití i v budoucnosti.

Následovala kapitola zaměřená na komunikační technologie. Na úvod této kapitoly je uvedeno obecné schéma telekomunikační infrastruktury distributora elektrické energie. V tomto schématu jsou uvedeny jak technologie vlastněny a provozovány PDS, tak i technologie třetích stran, které může distributor využívat pro přenos dat. V další části této kapitoly jsou popsány technologie, které jsou využívány v rámci jednotlivých telekomunikačních sítí. V poslední části této kapitoly jsou popsány jednotlivá fyzická média a technologie, které tato média využívají. Pozornost je věnována technologii PLC využívající silové vedení k přenosu dat, dále radiovým technologiím v podobě WiMAX a mobilních sítí, a na závěr kabelovým technologiím, především těm optickým. S ohledem na budoucí potenciál jednotlivých technologií se jeví nejlépe investice do optických kabelů. V případě potřeby rychlého plošného nasazení se jeví mobilní síť jako nejvhodnější.

V páté kapitole byly popsány funkční celky modelové stanice. Tyto funkční celky plní definované komunikační úlohy. Na základě naměřených dat ze stanic v rámci pilotního projektu bylo zjištěno kolik zpráv je potřeba pro jednotlivé skupiny komunikačních úloh. Na základě těchto údajů bylo měření spojitých veličin identifikováno jako nejnáročnější na počet zpráv, a proto bylo zkoumáno, jak efektivně snížit počet těchto zpráv. Před samotnou optimalizací byly popsány mechanismy na základě kterých jsou tyto zprávy odesílány. Na základě těchto mechanismů byly porovnávány průběhy v trafostanici a ve SCADA systému. Jako metrika byla použita směrodatná odchylka jejíž závislost na počtu zpráv byla zkoumána. Tato závislost byla identifikována jako logaritmická (vynásobena zápornou konstantou) v součtu s konstantním členem. Na základě těchto závislostí byly pro vybrané směrodatné odchylky dopočítány parametry vybraných mechanismů a tyto parametry nasazeny na reálné stanice. Při vyhodnocení dat ze stanic byly pozorovány a vysvětleny odchylky od teoretického modelu. Na závěr této kapitoly byly řádově odhadnuty měsíční objemy dat potřebné na jednu stanici.

V navazující kapitole byl popsán nákladový model na komunikační síť pro chytré distribuční trafostanice. V rámci modelu bylo uvažováno s postupným nárůstem počtu chytrých stanic tempem 150 stanic za rok. Celý model byl počítán na 10 let s očekávaným začátkem v roce 2020. V roce 2030 je tedy předpokládán počet stanic v rámci PREdistribuce, a.s. přibližně 1500. Očekávaný objem přenesených dat na jednu stanicí je cca 300 MB za měsíc. Vzhledem k harmonogramu osazování chytrých stanic na jedné straně a budování optické infrastruktury v rámci obnovy silové sítě byla jako dočasné řešení zvolena mobilní síť. V rámci modelu s mobilní sítí byla popsána vybraná specifika této sítě. Nejprve jednotlivé formáty SIM karet a specifikace jednotlivých typů SIM karet. Zde byla identifikována potřeba využití SIM karet schopných odolat provozním podmínkám trafostanice, jeden z poskytovatelů tyto typy označuje jako M2M commercial a M2M industrial SIM. Následoval popis mechanismů zpoplatnění užívání dat a popis nástrojů pro správu většího počtu SIM karet určených pro chytrá zařízení. V závislosti na mechanismech zpoplatnění spotřeby dat a dostupnosti nástrojů na správu SIM karet byly vytvořeny 3 varianty (poskytovatelé), které splňovaly základní podmínku a tou bylo poskytnutí datové konektivity pro jednotlivé stanice.

První variantou bylo využití služeb poskytovatele Things mobile, u které je počítáno s nákupem sdíleného balíčku dat mezi všechny SIM karty, v rámci této varianty je k dispozici portál s nástroji pro správu SIM karet. Druhá varianta zahrnovala poskytovatele INCE, tato varianta počítala s nákupem balíčku dat pro jednotlivé SIM karty, nástroje pro správu SIM karet jsou k dispozici v této variantě. Poslední varianta má název Kaktus a reprezentovala lokálního poskytovatele mobilních služeb, data byla nakupována v podobě měsíčních balíčků pro jednotlivé SIM karty. U této varianty chybí specializované nástroje pro správu SIM karet a je nutno dojednat typ SIM karet vhodných do provozních podmínek distribuční trafostanice.

Z těchto tří variant dle kritéria NPV vyšla nejlépe varianta s názvem Kaktus s hodnotou nákladového NPV 5,1 mil. Kč, následovala varianta Things mobile s NPV 8,9 mil. Kč a poslední varianta INCE měla NPV 9,4 mil. Kč. Následně byla provedena citlivostní analýza na významné vstupy. První byl kurz eura vůči koruně, varianty mají přibližně stejné NPV při kurzu 14 až 15 CZK/EUR. Další citlivostní analýza byla provedena pro průměrnou měsíční spotřebu dat, v případě že by průměrná měsíční spotřeba dat byla mezi 160 až 180 MB, tak by NPV jednotlivých variant bylo přibližně stejné. Poslední citlivostní analýza byla provedena na změnu ceny balíčku u varianty Kaktus, zde je volba varianty s nejlepším NVP závislá na průměrné měsíční spotřebě dat.

V závěrečné kapitole byla popsána úvaha nad tvorbou a samotná tvorba datového úložiště a metoda archivace dat. Nakonec bylo počítáno s variantou vybudování samostatného datového úložiště v rámci jednoho z datacenter ve vlastnictví distribuční společnosti. Následoval nákladový model na samotné úložiště po dobu deseti let. Nákladové NPV takto konfigurovaného úložiště vyšlo 45 tisíc Kč. U tohoto modelu byla provedena citlivostní analýza na rychlost růstu či poklesu cen pevných disků použitých v datovém úložišti. NPV se mění v tomto případě o jednotky tisíc v závislosti na rychlosti změny cen pevných disků.

V této práci jsem se zaměřil na využití M2M technologií prostřednictvím mobilního operátora a nákladovou optimalizaci ze strany PDS. Tyto technologie se jeví jako optimální v krátkodobém až střednědobém horizontu. V dlouhodobém horizontu je cílem vybudovat robustní a spolehlivou komunikační síť pod plnou kontrolou PDS, tato síť by měla být na bázi ověřené technologie, kterou je optická síť. Význam komunikační infrastruktury v rámci distribuční sítě roste spolu se zvyšujícími se nároky na spolehlivost a kvalitu dodávek elektřiny a se zaváděním technologií Smart Grid.

S rozšiřující se komunikační infrastrukturou přibývá i přenesených data, která je nutno efektivně zpracovat, využít a archivovat. Lze také očekávat stále větší propojování dat z jiných zdrojů. Nejrůznější smart technologie (dobíjecí infrastruktura elektromobilů, technologie budov, technologie chytrých měst atd.) nabízejí obrovské množství dat využitelných i pro úlohy spojené s rozvojem a provozem distribuční sítě.

V dalším kroku vidím užitečné se zaměřit zejména na různé scénáře využití dat a jejich přínos pro distribuční soustavu. Na základě jejich analýzy bude pak možné vyhodnotit jak detailní data má smysl přenášet a archivovat, po jakou dobu je uchovávat a jaké volit metody komprese dat. Ruku v ruce s technickými parametry komunikačního řešení, archivace a zpracování dat jde ekonomické hodnocení celého systému.

Zatímco nákladovou stranu implementovaného řešení je možno vyhodnotit relativně transparentně, vyhodnocení přínosů není vždy jednoduché vyčíslit. V některých případech je možné přímo vyčíslit snížení nákladů jako přímý důsledek zavedení konkrétního řešení, jindy zase lze náklady obhájit jako nutné za účelem získání podkladů pro manažerské rozhodnutí. V dalších případech, vzhledem k nejistotě budoucího vývoje, lze využít k ocenění implementovaných řešení metody oceňování reálných opcí.

Celá tato problematika je pro mě velmi zajímavá, protože smysluplně spojuje oblasti distribuce elektřiny, telekomunikací a IT jak z technického, tak ekonomického pohledu.

Seznam symbolů a zkratek

AMI	advanced metering infrastructure
AMM	advanced metering management
APCI	application protocol control information
APDU	application protocol data unit
API	application programming interface
ASDU	application service data unit
BI	binary input
BO	binary output
BPL	broadband over powerline
BPLC	broadband power line communication
CAIDI	customer average interruption duration index
ČNB	česká národní banka
ČSN	česká technická norma
DA	distribution automation
DAFC	day ahead congestion forecast
DC	demand control
DG	distributed generation
DPH	daň z přidané hodnoty
DR	demand response
DTS	distribuční trafostanice
ERÚ	energetický regulační úřad
EMC	elektromagnetická kompatibilita
ES	elektrizační soustava
EZS	elektrický zabezpečovací systém
E-SIM	embedded subscriber identity module
ICT	information and communication technologies
IEC	international electrotechnical commission
IEEE	institute of electrical and electronics engineers
IoT	internet of things
IP	internet protocol
ISO	international organization for standardization
ITU	international telecommunication union
IZP	identifikátor zkratových proudů

KLZ	kombinované zemní lano
LTE	long term evolution
MAC	media access control
MDMS	meter data management system
MMS	multimedia messaging service
M2M	machine to machine
NAS	network attached storage
NB-IoT	narrowband internet of things
NN	nízké napětí
NPLC	narrowband power line communication
NPV	net present value (čistá současná hodnota)
ODF	optical fiber distribution frame
OSI	open system interconnection
OZE	obnovitelná zdroj energie
PPU	pay per use
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PLC	power line communication
PQ	power quality
PS	přenosová soustava
P2P	person to person
RAID	redundant array of independent disks
RTU	remote terminal unit
SA	substation automation
SAIDI	system average interruption duration index
SAIFI	system average interruption frequency index
SCADA	supervisory control and data acquisition
SG	smart grid
SIM	subscriber identity module
SMS	short message service
TCP	transmission control protocol
TS	trafo stanice
UPS	uninterruptible power supply/source
VPN	virtual private network
VN	vysoké napětí

VVN

velmi vysoké napětí

Seznam použité literatury

- [1] Ministerstvo průmyslu a obchodu, “INICIATIVA PRŮMYSL 4.0,” 2015.
- [2] C. W. Gellings, *Smart Grid : Enabling Energy Efficiency and Demand Response*. Lilburn, UNITED STATES: The Fairmont Press, Inc., 2009.
- [3] Ministerstvo průmyslu a obchodu, “Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG),” 2015.
- [4] S. F. Bush, *Smart Grid: Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid*. 2014.
- [5] R. Rashed Mohassel, A. Fung, F. Mohammadi, and K. Raahemifar, “A survey on Advanced Metering Infrastructure,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 473–484, Dec. 2014.
- [6] B. Das, *Power Distribution Automation*. Institution of Engineering and Technology, 2016.
- [7] P. Siano, “Demand response and smart grids—A survey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 461–478, Feb. 2014.
- [8] “ČEPS, a.s. - Dispečerské řízení,” *ČEPS, a.s.* [Online]. Available: <https://www.ceps.cz/cs/dispecerske-rizeni>. [Accessed: 24-Dec-2018].
- [9] “ČEPS, a.s. - Dispečink ČEPS,” *ČEPS, a.s.* [Online]. Available: <https://www.ceps.cz/cs/dispecink-ceps>. [Accessed: 24-Dec-2018].
- [10] “ČEPS, a.s. - Prevence havarijních stavů a jejich řešení,” *ČEPS, a.s.* [Online]. Available: <https://www.ceps.cz/cs/prevence-havarijnich-stavu-a-jejich-reseni>. [Accessed: 24-Dec-2018].
- [11] “Rozvoj optické infrastruktury | ČEZ Distribuce,” *ČEZ Distribuce, a. s.* [Online]. Available: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/rozvoj-opticke-infrastruktury.html>. [Accessed: 24-Dec-2018].
- [12] “Co je chytrý elektroměr | PRE,” *Pražská energetika, a. s.* [Online]. Available: <https://www.pre.cz/cs/firmy/sluzby-zakaznikum/co-delat-kdyz/chytry-elektromer/>. [Accessed: 24-Dec-2018].
- [13] Department for Business Energy and Industrial Strategy, “Smart Meters Implementation Programme 2017 progress update,” 2017.
- [14] P. Toman, J. Drápela, S. Mišák, J. Orságová Marr N Paar, and D. Topolánek, *Provoz distribučních soustav*. 2011.
- [15] “Zákon č. 458/2000 Sb.” [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>. [Accessed: 20-Nov-2016].
- [16] “Technické informace | PREDistribuce, a. s.,” *PREDistribuce, a.s.* [Online]. Available: <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/technicke-informace/>. [Accessed: 20-Mar-2019].
- [17] Energetický regulační úřad, “Roční zpráva o provozu ES ČR,” 2016.
- [18] PREDistribuce a. s., “Výroční zpráva 2017,” 2018.
- [19] “PREDistribuce pokračuje ve zvyšování spolehlivosti a bezpečnosti dodávky elektrické energie na území Prahy. Jmenovité investiční stavby roku 2016 a 2017,” *AF POWER agency a. s.* [Online]. Available: <http://www.decentralnienergetika.cz/clanek/predistribuce-pokracuje-ve-zvysovani-spolehlivosti-a-bezpecnosti-dodavky-elektricke-energie-na-uzemi-prahy-jmenovite-investicni-stavby-roku-2016-a-2017/>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [20] “Prostorový prefabrikát pro kioskové trafostanice PET – Prefa.cz,” *Prefa Brno a.s.* [Online]. Available: <https://www.prefa.cz/nadrze-a-prostorove-prefabrikaty/prvky-pro->

- podzemni-site-a-energetiku/prostorovy-prefabrikat-pro-kioskove-trafostanice-pet/. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [21] PREdistribuce a. s., “Souhrnná zpráva o dosažené úrovni kvality distribuce elektřiny a souvisejících služeb,” 2018.
- [22] “Inteligentní distribuční trafostanice pro budoucí bezpečnou distribuci energie,” *Siemens a.s.* [Online]. Available: www.siemens.com/transformersubstations. [Accessed: 24-Apr-2019].
- [23] “4.2 Referenčný model OSI/ISO | Počítačové siete,” *jecool.net*. [Online]. Available: <http://upol.jecool.net/sk/4-sietove-normy-a-standardy/4-2-referencny-model-osiiso/>. [Accessed: 13-Nov-2018].
- [24] “Information Technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model (ISO/IEC 7498-1: 1994) (S),” Jan. 1995.
- [25] “Sít'ové modely a architektury,” *Web zdarma s.r.o.* [Online]. Available: http://site.borec.cz/02_Architektura_iso_osi.htm. [Accessed: 11-May-2019].
- [26] “IEC 60870-5 Stack Overview,” *Triangle MicroWorks, Inc.* [Online]. Available: <http://www.trianglemicroworks.com/products/source-code-libraries/iec-60870-scl-pages/overview>. [Accessed: 21-Apr-2019].
- [27] M. Petr, “Description and analysis of IEC 104 Protocol Petr Matoušek,” 2017.
- [28] A. Sendin, A. Sendin, M. A. Sanchez-Fornie, and I. Berganza, *Telecommunication networks for the smart grid*. Artech House, 2016.
- [29] H. P. E. Stern, S. A. Mahmoud, and L. E. Stern, *Communication systems : analysis and design*. Pearson Prentice Hall, 2004.
- [30] “Coriant and Orange Set World Records for Optical Transmission Capacity and Distance Using State-of-the-Art Modulation Technology in Multi-Terabit Field Trial,” *Infinera Corporation*. [Online]. Available: <https://www.coriant.com/company/press-releases/coriant-and-orange-set-world-records-for-optical-transmission-capacity-and-distance-using-state-of-the-art-modulation-technology-in-multi-terabit-field-trial>. [Accessed: 30-Dec-2018].
- [31] “SDH Synchronous Digital Hierarchy Pocket Guide,” *VIAMI Solutions Inc.* [Online]. Available: <https://www.viamisolutions.com/en-us/literature/sdh-technology-pocket-guide-en.pdf>. [Accessed: 30-Dec-2018].
- [32] “Understanding SONET/ SDH -electroSofts.com,” *electroSofts.com*. [Online]. Available: <http://www.electrosofts.com/sonet/>. [Accessed: 30-Dec-2018].
- [33] T. P. Walker, “Optical Transport Network (OTN) Tutorial,” 2009.
- [34] J. Postels, “RFC 791 Internet Protocol DARPA Internet Program Protocol Specification,” *Def. Adv. Res. Proj. Agency*, pp. 1–5, 1981.
- [35] S. Galli, A. Scaglione, and Z. Wang, “For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid,” *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 998–1027, Jun. 2011.
- [36] “Open PLC European research alliance for new generation PLC integrated network | Projects | FP6 | CORDIS | European Commission,” *The Publications Office of the European Union*. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/71133/factsheet/en>. [Accessed: 01-Jan-2019].
- [37] “A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™ What is it?,” *LoRa Alliance™*, 2015. [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>. [Accessed: 06-Jan-2019].
- [38] T. Josef, *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: ČVUT, 2011.

- [39] “Epsilon-Delta-Kriterium der Stetigkeit – Serlo „Mathe für Nicht-Freaks“ – Wikibooks, Sammlung freier Lehr-, Sach- und Fachbücher,” *wikibooks.org*. [Online]. Available: https://de.wikibooks.org/wiki/Mathe_für_Nicht-Freaks:_Epsilon-Delta-Kriterium_der_Stetigkeit. [Accessed: 12-May-2019].
- [40] P. Kreml and Evropský sociální fond., *Matematika II*. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007.
- [41] “Kaktus - Základní ceník Balíčky,” *T-Mobile Czech Republic a.s.* [Online]. Available: www.mujkactus.cz. [Accessed: 03-May-2019].
- [42] “What is the meaning of micro sim(3FF)? - Quora,” *Quora*. [Online]. Available: <https://www.quora.com/What-is-the-meaning-of-micro-sim-3FF>. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [43] “SIM-ST-MFF2 Global IoT SIM Card - Hologram | Mouser Europe,” *Mouser Electronics, Inc.* [Online]. Available: <https://eu.mouser.com/new/hologram/hologram-sim-st-mff2-sim/>. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [44] “Telefónica M2M Global SIM,” *Telefonica S.A.* [Online]. Available: https://iot.telefonica.com/sites/default/files/m2m_telefonica_sim_capabilities_0.pdf. [Accessed: 23-Apr-2019].
- [45] “Roaming v EU Politika přiměřeného využívání, poplatky a limity. - Vaše Evropa,” *Vaše Evropa*. [Online]. Available: https://europa.eu/youreurope/citizens/consumers/internet-telecoms/mobile-roaming-costs/index_cs.htm. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [46] “The best IOT and M2M rates in the world | Things Mobile,” *Things Mobile Srl*. [Online]. Available: <https://www.thingsmobile.com/business/plans>. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [47] “THE INCE ALL-IN PRICING - TOO GOOD TO BE TRUE?,” *INCE GmbH*. [Online]. Available: http://wp.ince.staging.moodley.info/wp-content/uploads/2019/02/INCE-Pricing_Blog_Post.pdf. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [48] “Nejčastější dotazy - mujkactus.cz,” *T-Mobile Czech Republic a.s.* [Online]. Available: <https://www.mujkactus.cz/nejcastejsi-dotazy>. [Accessed: 27-Apr-2019].
- [49] Energetický regulační úřad, “Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství s prodlouženou účinností do 31. prosince 2020.” p. 171, 2018.
- [50] VUT FIT, “Disková pole (RAID),” *Fakulta informačních technologií VUT v Brně*. [Online]. Available: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/ITP/public/itp07/raid00.pdf>. [Accessed: 05-May-2019].
- [51] “MySQL :: MySQL 8.0 Reference Manual :: 11.8 Data Type Storage Requirements,” *Oracle Corporation*. [Online]. Available: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/storage-requirements.html>. [Accessed: 05-May-2019].
- [52] “M-DISC Technology | M-DISC,” *M-Disc*. [Online]. Available: <http://www.mdisc.com/mdisc-technology/>. [Accessed: 05-May-2019].
- [53] “Synology DiskStation DS918+ | CZC.cz,” *CZC.cz s.r.o.* [Online]. Available: <https://www.czc.cz/synology-diskstation-ds918/220867/produkt>. [Accessed: 05-May-2019].
- [54] “WD Red (EFRX), 3,5” - 1TB WD10EFRX | CZC.cz,” *CZC.cz s.r.o.* [Online]. Available: <https://www.czc.cz/wd-red-efrx-3-5-1tb/112470/produkt>. [Accessed: 05-May-2019].
- [55] “ASUS BW-12D1S-U / Blu-ray BD-R+DVD±RW/RAM externí vypalovačka / U | Mironet.cz,” *CZC.cz s.r.o.* [Online]. Available: <https://www.mironet.cz/asus-bw12d1s-bluray-bdrdvdrrwram-externi-vypalovacka-usb-30-cerna+dp205762/>. [Accessed: 05-May-

2019].

- [56] “43834 Verbatim Blu-ray M-DISC BD-R, 100GB, 4x, | LAN-SHOP.cz,” *LAN-SHOP*. [Online]. Available: https://www.lan-shop.cz/verbatim-43834-207547?gclid=EAIaIQobChMIiKDnhI2F4gIVS-h3Ch2tXAa6EAYYASABEgI5E_D_BwE. [Accessed: 05-May-2019].

Seznam obrázků

Obrázek 1: Přehledové schéma elektrizační soustavy [14]	4
Obrázek 2: Mapa distribučního území PREdistribuce a.s. [16]	5
Obrázek 3: Zatížení jednotlivých katastrů hlavního města Prahy v roce 2019	6
Obrázek 4: Zatížení jednotlivých transformoven na území hlavního města Prahy v roce 2019 ...	6
Obrázek 5: Zatížení jednotlivých uzlových oblastí na území hlavního města Prahy v roce 2019.	7
Obrázek 6: Polohopisné schéma vedení 110 kV [16]	8
Obrázek 7: Transformovna 110 kV [19]	8
Obrázek 8: Blokovaná stanice VN/NN [20]	9
Obrázek 9: Konstruktivní schéma chytré distribuční stanice	11
Obrázek 10: Blokované schéma funkčních celků chytré distribuční stanice	11
Obrázek 11: Sekundární technika chytré distribuční trafostanice	12
Obrázek 12: Architektura OSI modelu [25]	15
Obrázek 13: Srovnání architektury OSI a TCP/IP	15
Obrázek 14: Možné topologie připojení v rámci IEC 60870-5 [26]	17
Obrázek 15: Formát rámce APDU [27]	19
Obrázek 16: Formát ASDU [27]	19
Obrázek 17: Architektura komunikační sítě PDS [28]	20
Obrázek 18: Modelové schéma komunikační sítě PDS	21
Obrázek 19: Schéma ADM na uzlech [32]	22
Obrázek 20: Konstrukce kombinovaného zemnicího lana [38]	25
Obrázek 21: Schéma modelové chytré stanice	27
Obrázek 22: Delta kritérium (upraveno z [39])	30
Obrázek 23: Integrované kritérium [40]	30
Obrázek 24: Formát SIM karet [42]	50
Obrázek 25: Formát MFF2 SIM (vzdálenosti v mm) [43]	50
Obrázek 26: Přehled spotřeby dat skupinou SIM karet	52

Seznam grafů

Graf 1: Denní průběh měřené veličiny (I_1)	32
Graf 2: Denní průběh měřené veličiny (I_2)	32
Graf 3: Denní průběh měřené veličiny (I_3)	33
Graf 4: Denní průběh měřené veličiny (P)	33
Graf 5: Denní průběh měřené veličiny (U_1)	34
Graf 6: Denní průběh měřené veličiny (U_2)	34
Graf 7: Denní průběh měřené veličiny (U_3)	35
Graf 8: Denní průběh měřené veličiny (Q)	35
Graf 9: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh U_1)	37
Graf 10: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh U_2)	37
Graf 11: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh U_3)	38
Graf 12: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh I_1)	40
Graf 13: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh I_2)	40
Graf 14: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh I_3)	41
Graf 15: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh P)	42
Graf 16: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv (průběh Q)	43

Graf 17: Závislost objemu dat na dovolené směrodatné odchylce	48
Graf 18: NPV jednotlivých variant do roku 2030	56
Graf 19: Závislost NPV na kurzu CZK/EUR	57
Graf 20: Závislost NPV na průměrné měsíční spotřebě dat	58
Graf 21: Závislost NPV varianty Kaktus na ceně balíčku	59
Graf 22: Závislost NPV varianty Kaktus na ceně balíčku a zbylé varianty	60
Graf 23: Velikost výdajů na datové uložení v jednotlivých letech	63
Graf 24: Závislost NPV na průměrném ročním poklesu cen disků	64

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vybrané ukazatele distribuční sítě PREDistribuce [18]	7
Tabulka 2: Jednotlivé části normy IEC 60870-5	16
Tabulka 3: "EPA" vrstvy [27]	18
Tabulka 4: Vrstvy protokolu IEC 60870-5-104 [27]	18
Tabulka 5: Měřené veličiny na distribuční trafostanici	28
Tabulka 6: Počty zpráv za týden na jednu stanici podle skupin úloh	29
Tabulka 7: Stanovené maximální směrodatné odchylky pro jednotlivé veličiny	45
Tabulka 8: Počet zpráv a směrodatné odchylky u vybraných citlivostních hladin kritérií	46
Tabulka 9: Naměřené počty zpráv, dopočítaná směrodatná odchylka a předpokládané hodnoty	46
Tabulka 10: Přehled klíčových vlastností vybraných standardů SIM [44]	51
Tabulka 11: Přehled účtování dat	51
Tabulka 12: Přehled variant nákladového modelu s metodou nákupu dat	55
Tabulka 13: NPV jednotlivých variant	56

Seznam příloh

Rovnice 1: Delta kritérium	30
Rovnice 2: Integrální kritérium	31
Rovnice 3: Směrodatná odchylka	31
Rovnice 4: Závislost směrodatné odchylky na počtu zpráv	38
Rovnice 5: Vzorec pro výpočet NPV	55