

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Diplomová práce

Optimalizace toku dat v síti

Bc. Kateřina Kadlecová

© 2016 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kateřina Kadlecová

Provoz a ekonomika

Název práce

Optimalizace toku dat v síti

Název anglicky

Optimization of data flow in a network

Cíle práce

Cílem práce je optimalizovat tok dat mezi přístupovými body a koncovými zákazníky lokálního poskytovatele datového připojení za účelem zlepšení kvality jeho služeb.

Metodika

1. Vymezení problému
2. Studium teoretických podkladů
3. Sestavení matematického modelu
4. Řešení matematického modelu
5. Interpretace výsledků
6. Návrh implementace řešení do praxe

Doporučený rozsah práce

60-80 stran

Klíčová slova

matematické modelování, datové toky, datové připojení

Doporučené zdroje informací

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO SYSTÉMOVOU INTEGRACI, – POUR, J. – ŠEDIVÁ, Z. – GÁLA, L. *Podniková informatika*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2615-1.

FIALA, P. *Operační výzkum : nové trendy*. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

TOMAN, P. *Informatika pro koncového uživatele*. Praha: Professional Publishing, 2011. ISBN 978-80-7431-057-7.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Houška, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2016

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Optimalizace toku dat v síti" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2016 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce doc. Ing. Milanu Houškovi, PhD. za konzultace a odborné rady, které mi v průběhu zpracování práce poskytl. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům společnost AIRWEB s.r.o. za odborné informace a data k mé práci a v neposlední řadě mému příteli Tomášovi Muchkovi za odborné konzultace a rady.

Optimalizace toku dat v síti

Optimization of data flow in a network

Souhrn

Práce se věnuje optimalizaci zapojení klientských stanic do sítě poskytovatele internetového připojení. Hlavním kritériem optimalizace bylo rovnoměrné připojení klientů na základě objemu stažených dat a vzdálenosti k přístupovým bodům poskytovatele. V praktické části byla úloha řešena jako dopravní problém vypočítaný doplňkem MS Excel Dumkosa. Získané řešení muselo být upraveno přidavnými omezeními, které byly nad rámec technických možností řešitele Dumkosa. Jako vstupní data sloužily záznamy z předem zvolené testovací skupiny 50 klientů. Data o těchto klientech byla sbírána po dobu jednoho měsíce, a to v 5minutových intervalech. Nad těmito daty byla následně provedena analýza a její výstupy byly použity v praktické části práce. V závěru práce došlo ke srovnání nově vypočteného řešení se stávajícím zapojením testovací skupiny a také byly diskutovány možnosti převedení řešení do globálního měřítka celé sítě společnosti.

Klíčová slova: optimalizace, internetové připojení, lineární programování, dopravní problém, Dumkosa,

Summary

The work aims to optimize connections between client stations and the rest Internet service provider's infrastructure. The main optimization criterion was to equally divide these client stations based on the amount of downloaded data and the distance between

client stations and provider's access points. The work was solved as a transportation problem and it was computed in a MS Excel plugin called Dumkosa. Calculated solution had to be adjusted for additional restrictions which were out of technical limits of Dumkosa solver. The computational part of the work was done on top of test group composed of 50 clients. Data from these clients were gathered for one month at 5 minute intervals. An analysis was performed on top of these records and its results were used later in the computational part of the work. At the end of the work was discussed a possible way how to transfer the algorithm from the test area to whole company network.

Keywords: Optimization, Internet Access, Linear Programming, Transportation Problem, Dumkosa

Obsah

1. Úvod.....	6
2. Cíl práce a metodika	7
3. Literální přehled.....	8
3.1. Internet	8
3.1.1. Historie Internetu	8
3.1.2. Protokoly TCP/IP	9
3.1.3. Počátky českého internetu.....	9
3.1.4. WorldWide Web	10
3.1.5. Struktura Internetu	10
3.2. Wi-Fi	11
3.2.1. Standardy Wi-Fi	11
3.2.2. Vliv viditelnosti na kvalitu signálu	12
3.2.3. Rozptylová spektra.....	12
3.2.4. Odolnost proti rušení.....	13
3.2.5. Rozdělení bezdrátových sítí	13
3.2.6. Provoz venkovních sítí.....	14
3.3. Přenosové jednotky	14
3.4. Teorie grafů.....	15
3.5. Dopravní problém	16

3.5.1. Vlastnosti dopravního problému	17
4. Praktická část	21
4.1. Aktuální stav	21
4.1.1. O zadavateli.....	21
4.1.2. Používané antény	21
4.1.3. Frekvence používané společností Airweb.....	25
4.1.4. Technické vybavení zadavatele.....	26
4.2. Výběr testovacích dat.....	27
4.2.1. Kritéria pro výběr testovací lokality	31
4.2.2. Opravy chybných dat zadavatele	32
4.2.3. Souhrn oprav dat	33
4.3. Analýza sesbíraných dat	33
4.3.1. Rozložení množství záznamů.....	34
4.3.2. NTP pakety.....	34
4.3.3. Chování zákazníků na Internetu.....	36
4.4. Vstupní data pro výpočet	38
4.4.1. Určení reprezentativní hodnoty pro jednotlivé body	40
4.4.2. Vzdálenosti mezi odběrnými místy a přístupovými body.....	44
4.4.3. Kapacity přístupových bodů	45
4.5. Popis modelu.....	45

4.6. Matematický model	46
4.7. Výpočet výchozího řešení.....	48
4.8. Výpočet optimálního řešení pomocí doplňku Dumkosa.....	48
4.8.1. Úprava optimálního řešení	55
5. Výstupy práce	58
5.1. Porovnání původní situace a nového optimálního řešení	59
5.2. Rozšíření algoritmu na celou síť Airwebu.....	60
5.2.1. Nárůst počtu bodů	60
6. Závěr	62
7. Seznam použité literatury	64
8. Přílohy.....	66
Příloha 1: Tabulka vzdáleností mezi klienty a přístupovými body.....	66
Příloha 2: Řešení vypočítané Mayerovou metodou	68
Příloha 3: Optimální řešení vypočítané řešitelem Dumkosa.....	70
Příloha 4: Tabulka perspektivity tras	72
Příloha 5: Maximální kapacity tras	74
Příloha 6: Upravené konečné optimální řešení	76
Seznam tabulek	78
Seznam grafů.....	80
Seznam obrázků	81

1. Úvod

Internetové připojení je dnes součástí většiny českých domácností, pro mnoho lidí je již standardním vybavením i na chatách a chalupách, kde tráví velkou část svého volného času. Využití internetového připojení je různorodé, od pracovních účelů, kdy se stále více a častěji nabízí a potažmo využívá tzv. homeoffice dnů, přes získávání informací, až po trávení volného času na sociálních sítích či zábavu pro děti i dospělé. Někdo Internet používá denně, jiní pouze nárazově k vyhledání potřebných informací či ke komunikaci. Tento fenomén se tak stal nedílnou součástí života všech lidí. Díky Internetu lze komunikovat napříč kontinenty, nakupovat veškeré sortimenty zboží nebo sledovat dění na druhém konci světa v přímém přenosu.

Internetové připojení je standard, který vyžaduje téměř každý občan, a proto je třeba budovat a udržovat síť pro připojení ve všech obcích po celém území České republiky. Propojení optickými kabely je vhodné na velké vzdálenosti, jako je propojení po mořském dně a mezi kontinenty. Své opodstatnění má i ve velkých městech s hustou zástavbou a koncentrovaným množstvím uživatelů. V rámci menších měst a na kratší vzdálenosti je však čím dál více využíváno připojení Wi-Fi, které je specifické vyšší flexibilitou a nižšími pořizovacími náklady. Flexibilitu tomuto typu připojení zajišťuje absence kabelů mezi zákazníkem a zřizovatelem připojení. Úpravy Wi-Fi sítí jsou tak relativně jednoduché a často nevyžadují ze strany zákazníka žádnou interakci.

Rámci pokrytí wi-fi připojení je třeba rovnoměrně připojit klienty na již vytvořené přístupové body, jelikož do této doby byly připojovány náhodně k daným přístupovým bodům. Nové optimální připojení by mělo zajistit zefektivnění sítě a možnost připojit do budoucna více spokojených uživatelů než při připojováním současným způsobem.

2. Cíl práce a metodika

Práce si klade za cíl rovnoměrně rozdělit zákazníky k přístupovým bodům tak, aby bylo nedocházelo k přetěžování sítě a ke zpomalení internetového připojení u žádného zákazníka. Práce je prováděna pro společnost AIRWEB s.r.o. Na základě vyhodnocení současných toků mezi jednotlivými body sítě bude zjištěno, jaké množství dat mezi těmito body proudí. Poté bude navržena nová síť, která by měla minimalizovat výkyvy a případné výpadky připojení.

První část tvoří teoretické pojmy, které bylo nutné nastudovat pro tuto práci. Jsou zde uvedeny a vysvětleny konkrétní vzorce, postupy a metody, které jsou dále uvedeny do praxe.

V praktické části je popsán současný stav sítě a stručně je představena společnost AIRWEB s.r.o. Čtenář zjistí, jaké síťové prvky společnost využívá a jak v současné době řeší propojení zákazníků se svojí infrastrukturou. Dále je popsán výběr dat, která byla pro účely práce sbírána po dobu jednoho měsíce a ukládána do databáze na serveru společnosti. Následně bylo třeba data roztřídit, provést jejich analýzu a popsat je. Data byla dále upravena do podoby vhodné pro výpočty.

Pro samotný výpočet optimálního řešení byl využit doplněk aplikace MS Excel Dumkosa, který pro svůj běh využíval již známé výchozí řešení (aktuální zapojení sítě). Výsledné řešení bylo dále upraveno podle kritérií pro daný dopravní problém.

V závěrečné části pak jsou popsány výsledky, kterých bylo dosaženo. Nové řešení je porovnáno se současnou situací a také jsou zde nastíněny možnosti transformace použitých postupů, aby fungovaly pro celou síť společnosti AIRWEB s.r.o.

3. Literální přehled

3.1. Internet

Síť Internet je nástupcem sítě APRANET, která vznikla jako v roce 1969 v USA pro vojenské potřeby. Internet se od všech ostatních vynálezů liší tím, že jde o dílo kolektivní a mezinárodní, což v sobě skrývá obrovský potenciál v podobě spolupráce lidí v rámci celé zeměkoule. (9)

Slovo Internet je složenina předpony inter (vztah mezi) a net (síť) a vysvětluje se jako celosvětový systém navzájem propojených počítačových sítí propojujících síťové uzly. Uzel je většinou počítač nebo zařízení se speciální síťovou funkcí (router). Aby komunikace probíhala bez chyb a mezi správnými počítači používající se protokoly TCP/IP. V širším slova smyslu slovo Internet reprezentuje služby, které lze s jeho pomocí provozovat. Jedná se například o webové stránky, e-mailovou komunikaci a další. (10)

3.1.1. Historie Internetu

Lze tvrdit, že úplně prvním impulsem pro vznik Internetu byla první umělá družice Země. Vypuštění sovětského Sputniku 1 ukázalo USA značné opoždění v kosmických a posléze i vojenských technologiích a přimělo je na situaci reagovat. (9)

V roce 1958 byla ministerstvem obrany USA založena agentura ARPA, která se zaměřovala na podporu výzkumných projektů v oblasti vývoje nových technologií. Z této skupiny vzniklo několik neformálních „hackerských“ skupin výzkumníků a programátorů zejména na akademické půdě. K nejvýznamnějším patřily MIT v Bostonu a kalifornské univerzity v Berkeley a Los Angeles. (9)

Přínos hackerských skupin si počátkem šedesátých let uvědomil Joseph C. R. Licklider, který tyto izolované skupiny spojil do neformální skupiny nazvané „Intergalactic Network“. Tato skupina pak začala pracovat na konceptu paketových sítí

založených na principech, které používá i dnešní Internet. Většina výzkumných pracovišť v té době tyto principy považovala za nesmysl. (9)

Projekt přinesl své ovoce v roce 1969 projektem APRANET. Tento tendr vypsal APRA v roce 1968 a přihlásilo se do něj 12 účastníků, ani jeden z nich nebyl žádný velký hráč jako IBM nebo AT&T. Zvítězila firma Bolt, Beranek and Newman (BBN) z Bostonu, která do projektu angažovala univerzitní pracoviště ze Stanfordu, Utahu, Santa Barbary a Los Angeles. BBN se staralo o vývoj jádra sítě, které bylo založeno na specializovaných zařízeních zvaných IMP. Univerzity pracovaly na softwaru, přes který by jejich koncové počítače mohly komunikovat. Historicky první zpráva byla odeslána 29.října 1969 ve 22:30 z Los Angeles do Stanfordu a zněla: LO. (9)

3.1.2. Protokoly TCP/IP

V první polovině 70. let byly využívány kromě ARPANETU i jiné sítě, jako například ALOHAnet na Havaji nebo CYCLADES ve Francii. Ačkoliv byly tyto sítě založeny na stejných principech, nemohly spolu komunikovat. Proto v roce 1973 začal Bob Kahn a Vint Cerf pracovat na specifikacích, které by sjednotily protokoly packetových sítí, jejich rozhraní s koncovými počítači a datové objekty vyměřované v těchto sítích. Bob Kahna Vint Cerf jsou dnes označováni za otce Internetu. Technologie TCP/IP (Transmission Control Protocol a Internet Protocol) propojila geograficky všechny vzdálené a technologicky různorodé sítě a vznikla tak ucelená síť Internet. (9)

3.1.3. Počátky českého internetu

Oficiální zahájení provozu českého (československého) Internetu je datováno ke dni 13. února 1992 na Českém vysokém učení technickém v Praze. Současně vznikl projekt FESNET (Federal Educational and Scientific Network) financovaný z Fondu rozvoje vysokých škol MŠMT a byly do něj zapojeny vysoké školy ze všech větších měst. Na počátku byla jediným mezinárodním spojením linka z Prahy do Lince o kapacitě 9 600 bitů za sekundu. (9)

3.1.4. World Wide Web

Do 90. let 20. století byl Internet pouze výhradou akademické půdy. Pro veřejnost byl těžko použitelný, protože se zobrazoval pouze jako text. Revoluci způsobila až služba WWW (World Wide Web), která umožnila masové používání Internetu širokou veřejností. Hlavními zakladateli služby WWW byli Tim Berners-Lee a Robert Cailliau v ženevském centru jaderného výzkumu CERN. Služba byla založena na principu hypertextu (soubor textů navzájem propojených pomocí odkazů) a komunikačním protokolu HTTP. (9)

První grafický klient Mosaic nesl většinu znaků moderních webových prohlížečů a byl volně dostupný pro všechny populární platformy osobních počítačů. Autoři Marc Andreessen a Eric Bina jej vyvinuli v americkém Národním centru superpočítačových aplikací (NCSA). (9)

3.1.5. Struktura Internetu

Zprostředkování připojení uživatelů mají na starosti poskytovatelé internetového připojení (Internet Services Providers – ISP) prostřednictvím internetového připojení, které je vedeno přes přípojku TV kabelu, telefonní linku ADSL či mobilní datové připojení. Poskytovatelé mají přístup k tzv. peeringovým uzlům, které jsou označovány jako IXP (Internet Exchange Point = bod výměny internetu). IXP jsou páteří Internetu a slouží především k tomu, aby si zde ISP vyměňovali své datové toky. V České republice je tímto bodem NIX.CZ. (10)

V počátcích Internetu tvořil celosvětovou síť hvězdicovitě uspořádaný omezený počet mezikontinentálních páteřních sítí. Mezi nevýhody takového uspořádání lze zařadit rozsáhlé důsledky výpadku některého z provozovatelů páteřních sítí, takřka monopolní postavení těchto provozovatelů a také značné datové zatížení těchto provozovatelů, jelikož veškerý transfer informací mezi páteřními sítěmi probíhal vždy přes provozovatele. Na základě těchto skutečností vznikly již zmiňované propojovací body IXP, které byly veřejné a do nichž se připojily jednotlivé telekomunikační společnosti. IXP zprostředkovávají přístup do více páteřních sítí. (10)

3.2. Wi-Fi

Wi-Fi je způsob komunikace mezi dvěma zařízeními bez použití kabelů. Komunikace probíhá na „volné“ části rádiového spektra, konkrétně na standardu 802.11. V současné době jsou využívány spektra 2,4GHz a 5GHz. (1)

Na bezdrátových sítích je signál přenášen elektromagnetickým vlněním. Vlny se liší vlnovou délkou a frekvencí. Pásmo 2,4 GHz je volně použitelné pásmo a jako takové je využíváno i jinými technologiemi (mikrovlnné trouby, Bluetooth, bezdrátové telefony apod.). Pásmo 5 GHz je regulováno pravidly Českého telekomunikačního úřadu (ČTÚ). (6)

3.2.1. Standardy Wi-Fi

Pro vzájemnou komunikaci uzlů v síti bylo nutné stanovit normu, která ji upravuje. Hlavní výrobci bezdrátových technologií tedy založili alianci WECA (WirelessEthernet CompatibilityAlliance – sdružení pro kompatibilitu bezdrátového Ethernetu), která stanovila požadavky na zařízení a zajistila tak jejich vzájemnou kompatibilitu. Při splnění podmínek obdrží výrobek certifikát Wi-Fi, který potvrzuje kompatibilitu s výrobky ostatních výrobců. Samotná wireless norma byla odvozena z Ethernetu, proto s ním má některé společné znaky – přístupovou metodu CSMA/CD a obdobné složení paketu. Pro bezdrátové sítě LAN existuje několik standardů, jejichž základní vlastnosti jsou popsány v tabulce. (2)

Tabulka 1: Standardy pro bezdrátové LAN sítě. (6)

	802.11a	802.11b	802.11g
Rychlost přenosu (Mb/s)	54	11	54
Frekvence (GHz)	5	2,4	2,4
Dosah (m)	Max. 15 km	25 až 100	25 až 100

ČTÚ definoval pravidla pro použití normy 802.11a. Existují tři varianty lišící se (mimo jiné) povoleným výkonem vysílačů. Vzdálenost, na kterou mohou komunikovat zařízení normy 802.11a, se pak logicky liší. Maximum může být okolo 15 km. (6)

Standard 802.11g je zpětně kompatibilní se starším a pomalejším 802.11b (mohou spolupracovat na nižší rychlosti). (6)

Ze standardu 802.11g byla odvozena norma 802.11i, která používá bezpečnější autentizační a šifrovací algoritmus. (6)

3.2.2. Vliv viditelnosti na kvalitu signálu

Přímá viditelnost je nejdůležitějším faktorem při práci s bezdrátovými sítěmi. Optimální je, pokud mezi vysílačem a přijímačem nejsou žádné překážky a výkon sítě je tak omezen pouze výkonem vysílače. Elektromagnetické vlny špatně pronikají přes vodivé překážky jako ocel či jiné kovy. Materiály jako sádkartón, tvárnice nebo omítka pak způsobují ztlumení signálu. Vysoce vodivé materiály v okolí vysílače způsobují odraz signálu, který pak v opačné fázi proniká k přijímači a ten tak nedokáže původní signál z vysílače správně interpretovat. (2)

Antény zachycují elektromagnetické vlnění a jeho energii přeměňují na elektrický signál o téže frekvenci. Všechny informace, které jsou v původním elektromagnetickém vlnění uloženy se tak zachovávají pro demodulační obvody přijímače. U bezdrátových sítí se pracuje s velmi slabým signálem, a proto musí být antény co nejúčinnější. (2)

Na některých místech je nutné malé antény posílit dalšími doplňkovými, které jsou schopné lépe snímat signál.

Antény lze rozdělit na:

- Směrové,
- všesměrové, jež vysílají ve všech směrech se stejnou intenzitou.

3.2.3. Rozptylová spektra

Rozptylování spektra je způsob přenosu, při kterém se vysílaný signál nedrží jen na jedné nosné frekvenci (jako například u AM a FM přenosů), ale je zároveň rozdělený mezi více frekvencí. Rozptylování spektra bylo původně nevržené pro vojenské použití, při

kterém bylo potřeba rádiové a radarové vysílání chránit před prozrazením a rušením. Vysílaný signál se pohybuje jen těsně nad úrovní šumu a přijímač se řídí matematickým algoritmem, aby věděl, kde další část signálu hledat. Rozptylování spektra má v bezdrátových sítích řadu výhod, už jen z principu je například nenáročné na výkon a odolné proti náhodnému rušení. Díky rozptylování spektra lze s pomocí jedné skupiny frekvencí obsloužit větší množství zařízení naráz, než pokud by rozptylování použito nebylo. U těchto zařízení pak stačí měnit frekvence v různých časech. Při současném stavu elektroniky jsou i složité RF obvody malé a cenově dostupné. (2)

3.2.4. Odolnost proti rušení

Vysílání s rozptýleným spektrem je už z principu tolerantní k náhodnému rušení. Pokud je na některé z nosných frekvencí v libovolném okamžiku rušivý signál, snadná rekonstrukce původních informací je provedena kódováním dat. Běžně tato situace nastává při rušení čistým šumem, kde je jedna konkrétní nosná frekvence na okamžik narušena šumem, ale v dalším kole již použita být může. (2)

Při opakovaném rušení jedné frekvence je již tato frekvence nepoužitelná. Ideální bezdrátová karta by si toho všimla, této frekvenci by se vyhýbala a tudíž by snížila datový tok. Tento postup je však zakázaný předpisy pro rozptylování spektra. I přesto se některé bezdrátové technologie s dlouhodobým rušením vypořádávají lépe než jiné. (2)

Rychlost přenosu dat po bezdrátové síti je snižována vlivem rušení a vzrůstající vzdáleností. Standardy jsou již připravené a rychlost snižují postupně. Pokročilejší techniky umožňují takové zpracování signálu, které snižuje ztráty pomocí vícenásobného příjmu.(2)

3.2.5. Rozdělení bezdrátových sítí

Bezdrátové sítě jsou nejčastěji rozdělovány dle prostředí, ve kterém jsou používány na:

- Vnitřní vícebodové sítě
- Vnější dvoubodové sítě
- Vnější vícebodové sítě

Vnitřní vícebodové sítě se nachází uvnitř budov a slouží k připojení zařízení na firemní páteřní síť. Vhodně umístěné přístupové body se starají o pokrytí všech potřebných míst uvnitř budovy. Některé sítě se mohou obejít bez přístupového bodu, ale je zde omezení na malý počet zařízení uvnitř sítě. (2)

Vnější dvoubodové sítě propojují 2 budovy, které mají každá svoji vlastní vnitřní kabelovou síť. Od vnitřních sítí se liší hlavně použitým softwarem a zvolenou anténou, která je pomocí RF kabelu připojena k přístupovému bodu nainstalovanému v budově. Provoz sítě, kde každá z budov má svoji velkou kabelovou síť, je o něco složitější než provoz klasické bezdrátové sítě. Oba bezdrátové přístupové body (mosty) si musí udržovat adresní tabulky. Přístupové body potřebují vlastní software pro přemostění sítě venkovním dvoubodovým spojením. V případě, že na sebe oba konce mostu vidí a jsou vybaveny vysoce ziskovými směrovými anténami, lze překlenout i vzdálenost 20 km. (2)

Vnější vícebodové sítě jsou takové sítě, kde přístupový bod vysílá všesměrovou anténou a každý z klientů jej přijímá venkovní směrovou anténou. Centrální stanice je schopna obsloužit klienty až do vzdálenosti 8-10 km dle viditelnosti. (2)

3.2.6. Provoz venkovních sítí

Venkovní sítě na rozdíl od sítí vnitřních používají odolné venkovní antény a většinou slouží jako síťový most. Venkovní antény fungují úplně stejně jako vnitřní antény, jen s tím rozdílem, že jsou odolnější vůči vlivům počasí, jsou vybaveny speciálními venkovními úchyty a je třeba je bránit proti úderu blesku. Úchyty pro antény musí být pevné a odolné proti větru a jiným vnějším vlivům. (2)

3.3. Přenosové jednotky

Veškeré informace se ve světě počítačů předávají prostřednictvím řetězců složených z binárních hodnot, zde konkrétně z nul a jedniček. Nejmenší jednotka, která nabývá právě hodnot 0 nebo 1, se nazývá bit a značí se malým b. Bity se pak seskupují do větší jednotky - byte. (8)

Jeden byte se skládá z 8 bitů (příklad 00000001, 11001100 a podobně). Termín byte byl zaveden v roce 1956 Wernerem Buchholzem. Na počátku popisoval skupinu 1 - 6 bitů, avšak již na konci roku 1956 byl zaveden 8 bitový byte a tento standard vydržel až dodnes. (8)

Do jednoho bytu lze uložit až 256 různých hodnot, což stačí pro rozlišení celé anglické abecedy a dalších běžně používaných znaků. (8)

Převody jednotek byly z technických důvodů upraveny na mocniny čísla 2. Kilobyte tedy vyjadřoval $2^{10} = 1024$ bytů. Stejný přepočít platí i pro další násobky jako -mega (2^{20}), -giga (2^{30}) atd. Tento převod však neodpovídá převodu jednotek dle soustavy SI, proto byl v prosinci 1998 zaveden nový systém převodu jednotek. Původní KB = 1024 B byl nahrazen značkou KiB (kibibyte) a značkou kB (kilobajt) bylo označeno 1000 B. (8)

3.4. Teorie grafů

Grafy jsou typem rozhodovacích úloh a lze je definovat jako množinu bodů G s dvěma podmnožinami – U (množina uzlů – obecně označovány u_1, u_2, \dots, u_n) a H (množina hran - h_{ij}), tj. $G=\{U,H\}$. V tomto případě jsou uzly všechny druhy bodů (linky, přístupové body i koncoví uživatelé) a hranami jsou cesty mezi nimi, ohodnoceny maximální možnou propustností z jednoho bodu do druhého tzn., že se jedná o ohodnocené hrany, které označujeme y_{ij} . (3)

Grafy jsou děleny na neorientované a orientované. Neorientovanými grafy jsou takové, u kterých je mezi každou dvojicí uzlů umožněn pohyb v obou směrech. V případě orientovaných hran (např. pohyb je umožněn pouze z uzlu u_2 do u_3) jde o orientovaný graf. (3)

Cesta v grafu z uzlu u_i do u_j je určena posloupností navzájem na sebe navazujících hran, která začíná v uzlu u_i a končí v u_j . Graf, ve kterém se nachází mezi libovolnou dvojicí uzlů neorientovaná hrana, se nazývá souvislý graf. Pokud cesta začíná i končí v jednom uzlu, jedná se o speciální typ nazývaný cyklus. (3)

3.5. Dopravní problém

Dopravní problém je jedním z typů distribučních úloh. Nejčastěji jde o přesun daného zdroje na dodavatelská místa, tak aby byly minimalizovány celkové náklady.

Typický příklad dopravního problému definuje m - zdrojů (dodavatelů) D_1, D_2, \dots, D_m s kapacitami a_1, a_2, \dots, a_m . Kapacity obsluhují n odběrných míst O_1, O_2, \dots, O_n , které mají určité požadavky b_1, b_2, \dots, b_n . Každá dvojice zdroj-odběrné místo je oceněna, nejčastěji to jsou náklady za přepravu jedné jednotky od dodavatele k odběrateli. Ocenění jedné jednotky označujeme jako c_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$. Cílem dopravního problému je stanovit optimální rozdělení přepravy mezi zdroji a odběrnými místy tak, aby nebyly překročeny kapacity zdrojů a zároveň byly uspokojeny všechny požadavky odběratelů. K vyřešení tohoto problému je nutno stanovit hodnoty proměnných x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, které udávají konkrétní hodnotu přepraveného zboží mezi i -tým zdrojem a j -tým odběrným místem. Dopravní problém pak lze zapsat pomocí následujícího matematického zápisu: (4)

Minimalizovat

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n.$$

Dvojitě indexování zajišťuje lepší orientaci v problému a přesně určuje, který požadavek bude obslužen kterým dodavatelem.

3.5.1. Vlastnosti dopravního problému

Ve vyrovnaném dopravním problému, lze definovat následující pojmy:

1. **Přípustné řešení** dopravního problému je vektor

$$x = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}, \dots, x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn})^T,$$

jehož složky vyhovují vlastním omezením modelu dopravního problému a podmínkám nezápornosti. (4)

2. **Základní přípustné řešení** dopravního problému je přípustné řešení, které má nejvýše $(m+n-1)$ složek kladných, ostatní složky jsou rovny nule. Vektory strukturních koeficientů u kladných složek tvoří lineárně nezávislou soustavu. (4)

3. **Optimální řešení** dopravního problému je přípustné řešení, které minimalizuje hodnotu účelové funkce.

Pro řešení dopravního problému platí následující věty:

(1) **Věta: Dopravní problém má přípustné řešení.**

Platnost věty lze odvodit ze vztahu:

$$x_{ij} = \frac{a_i b_j}{K},$$

kde

$$K = \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Po dosazení do vlastních omezení dopravního modelu je zřejmé, že řádková omezení jsou splněna.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{a_i b_j}{K} = \frac{a_i}{K} \sum_{j=1}^n b_j = a_i$$

Pro sloupcové omezení pak platí:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{i=1}^m \frac{a_i b_j}{K} = \frac{b_j}{K} \sum_{i=1}^m a_i = b_j.$$

Protože jsou požadavky i kapacity nezáporné platí také $x_{ij} \geq 0$.

Platnost věty lze ověřit intuitivně. Pokud se součet kapacit rovná součtu požadavků, lze pravděpodobně nalézt způsob jak rozdělit kapacity mezi odběratele, tak aby byly uspokojeny dané požadavky. (4)

(2) **Věta: Dopravní problém má základní přípustné řešení.**

Jakoukoliv náhodně zvolená proměnná je položena

$$x_{rs} = \min(a_r, b_s) = t$$

a tím se změní disponibilní pravé strany:

$$a'_r = a_r - t, \quad b'_s = b_s - t.$$

Tímto je dosaženo vynulování kapacity dodavatele nebo požadavku odběratele. Odpovídající omezení vyškrtneme a pokračujeme ve výpočtu zmenšeného modelu až do posledního kroku, kde musí být zbytková kapacita dodavatele rovna zbylému požadavku odběratele. Tímto krokem pak vyškrtneme obě omezení najednou. *Počet kladných proměnných je tedy o jednu menší než počet omezení tj. $(m+n-1)$, což je podle definice právě maximální počet kladných složek základního řešení dopravního problému. Vzhledem ke způsobu výpočtu hodnot proměnných je takto získané řešení vždy přípustné a výběr proměnných zaručuje i lineární nezávislost jejich vektorů.* (4)

(3) Věta: Dopravní problém má optimální řešení

Množina přípustných řešení dopravního problému je zdola omezena podmínkami nezápornosti a shora kapacitami dodavatelů a požadavky odběratelů. Graf tedy tvoří konvexní mnohostěn, kde vždy existuje alespoň jeden bod, kde účelová funkce nabývá svého maxima resp. minima. Pokud se účelová funkce dotkne množiny přípustných řešení ve více než jednom bodu, má dopravní problém nekonečně mnoho optimálních řešení. (4)

Základní věta dopravního problému,

(4) Věta: Každá báze dopravního problému je trojúhelníková

Matice báze \mathbf{B} dopravního problému má $(m+n-1)$ sloupcových vektorů, z nichž každý má $(m+n)$ složek. Abychom ji mohli invertovat, musí být tato matice čtvercová. Protože jeden řádek této matice je lineární kombinací ostatních, můžeme ho vynechat a definovat redukovanou matice báze \mathbf{B}_0 , která je čtvercová rozměru $(m+n-1, m+n-1)$. Spolu s maticí \mathbf{B}_0 definujeme i redukovaný vektor pravých stran \mathbf{b}_0 , což je vektor pravých stran $\mathbf{b} = (a_1, \dots, a_m, b_1, \dots, b_n)^T$, ve které vynecháme odpovídající složku. Vhodnou permutací řádků, popř. sloupců můžeme převést matici \mathbf{B}_0 na trojúhelníkový tvar. Alespoň v jednom řádku této matice je pouze jedna jednička, ostatní koeficienty jsou nulové. Této vlastnosti můžeme využít např. k výpočtu nových hodnot základních proměnných při změnách pravých stran omezení.

V tabulce dopravního problému není k dispozici matice \mathbf{B}_0^{-1} . Hodnoty základních proměnných tedy není možné vypočítat podle vztahu.

$$x_B = B_0^{-1} \cdot b_0$$

kde $b_0 \dots$ je redukovaný vektor pravých stran omezení,

$x_B \dots$ vektor hodnot základních proměnných.

Je však možno vynásobit tento vztah maticí \mathbf{B}_0 , kterou známe:

$$B_0 \cdot x_B = B_0 \cdot B_0^{-1} \cdot b_0$$

kde $B_0 \cdot B_0^{-1} = E$.

po dosazení a rozepsání dostaneme soustavu rovnic, kde alespoň jedním řádkem soustavy rovnic je určena jediná proměnná, která je rovna pravé straně. (4)

4. Praktická část

4.1. Aktuální stav

4.1.1. O zadavateli

Společnost AIRWEB s.r.o., dále jen Airweb, obstarává připojení k Internetu pro řádově jednotky tisíc zákazníků po celých západních Čechách.

Tato společnost poskytuje datové připojení v zejména v bývalém Klatovském okrese (Plzeňský kraj). Po celém území, kde poskytuje služby, má vytvořenou síť tzv. linků. Tato síť byla důkladně popsána a zdokumentována v diplomové práci Ing. Tomáše Muchky: Vizualizace sítě klientů. Tato práce zmapovala současný stav připojení klientů k jednotlivým linkům.

4.1.2. Používané antény

V celé síti jsou používány tři typy bodů:

Velké antény (linky) zajišťují přenos dat na velké vzdálenosti a komunikují s přístupovými body a jinými linky, v některých situacích i klienty. Jako zařízení se pro linky používají antény s označením UBNT PowerBeam ISO 5 GHz (300 MM) (Obrázek 1). Tento typ je používán konkrétně ve vybrané vesnici Chudenice, v rámci sítě jsou použity ještě další dva typy antén.

Tabulka 2: Vlastnosti antény typu UBNT PowerBeam ISO 5 GHz (300 MM) (11)

Frekvence	5 GHz
Přenosová rychlost	Více než 150 Mb/s
Teoretický dosah	Více než 25 km
Cena	115 USD

Obrázek 1: UBNT PowerBeam ISO 5 GHz (300 MM)



Přístupové body komunikují se zákazníky a rodičovským linkem. Jejich počet je závislý na velikosti oblasti potřebné k pokrytí. Přístupové body jsou umístěny převážně na výškových budovách (věže kostelů, stožáry, případně budovy na kopcích). Na jednom místě je většinou umístěno více přístupových bodů, které jsou natočeny různými směry, tímto to je zajištěna dobrá viditelnost a dosažitelnost pro koncové klienty. Na jeden přístupový bod je připojeno přibližně 8-14 koncových uživatelů. Na přístupových bodech je nejčastěji využívána anténa s označením UBNT Rocket M5 5 GHz (Obrázek 2).

Obrázek 2: UBNT Rocket M5 5 GHz



Tabulka 3: Vlastnosti antény typu UBNT Rocket M5 5 GHz (12)

Frekvence	5 GHz
Přenosová rychlost	Více než 150 Mb/s
Teoretický dosah	Více než 25 km

Uživatelé jsou označovány domácnosti neboli koncoví uživatelé, kteří využívají připojení k Internetu pro své potřeby. Uživatelé jsou připojeni na přístupové body, ve výjimečných případech přímo na linky. Klienti jsou vybaveni anténami typu UBNT LocoM5 5 GHz (Obrázek 3) nebo UBNT PowerBeam 5 GHz (300 MM) (Obrázek 4).

Obrázek 3: UBNT LocoM5 5 GHz



Tabulka 4: Vlastnosti antény typu UBNT LocoM5 5 GHz (13)

Frekvence	5 GHz
Přenosová rychlost	Více než 150 Mb/s
Teoretický dosah	Více než 10 km

Obrázek 4: UBNT PowerBeam 5 GHz (300 MM)



Tabulka 5: Vlastnosti antény typu UBNT PowerBeam 5 GHz (300 MM) (14)

Frekvence	5 GHz
Přenosová rychlost	Více než 150 Mb/s
Teoretický dosah	Více než 20 km

Na území obce Chudenice je používán jeden link, který se v tomto výpočtu neuvažuje, jelikož je pouze jeden a nelze pro něj nic optimalizovat. Optimalizace probíhá na přístupových bodech, kterých je v Chudenicích 5.

4.1.3. Frekvence používané společností Airweb

Společnost Airweb používá pro přenos signálu frekvence 24 GHz, 10 GHz a 5 GHz. Frekvenční pásmo 24 GHz není licencované a je používáno pro přenos velkého množství dat na velké vzdálenosti. Pásmo o frekvenci 10 GHz je licencované a je využíváno ve velmi zahlcených oblastech, protože má výrazně méně šumu než frekvence 5 GHz. Ze známých Wi-Fi frekvencí 5 GHz a 2,4 GHz využívá Airweb pouze první zmíněnou. Frekvence 2,4 GHz není Airwebem využívána z důvodu silného šumu způsobeného

velkým množstvím zařízení komunikujících na této frekvenci v městských zástavbách. Frekvenční pásma pro Wi-Fi připojení jsou podrobněji popsána v kapitole 3.2.

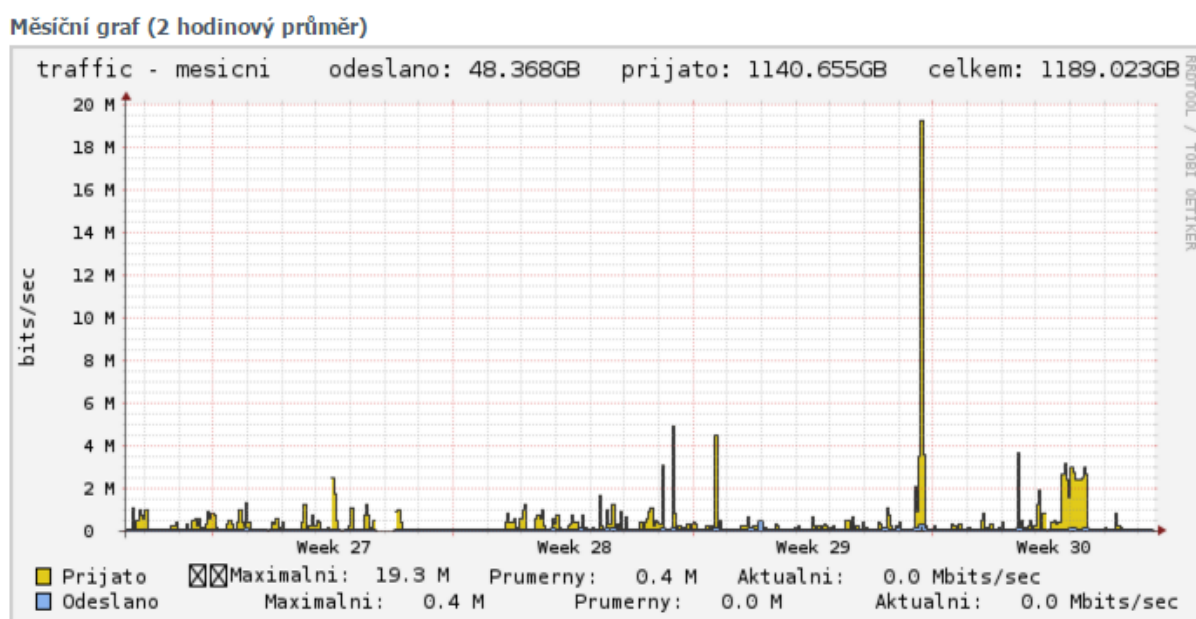
4.1.4. Technické vybavení zadavatele

Pro účely diplomové práce zpřístupnila společnost Airweb řešitelce některé části své technické infrastruktury. Zejména se jednalo o část záznamů v SQL databázi Firebird. Zpřístupněné záznamy se týkaly měřených hodnot o zákaznících a informací o jednotlivých bodech tvořících infrastrukturní síť společnosti.

Pro účely statistiky eviduje Airweb u každého klienta v pětiminutových intervalech záznamy o množství přijatých a odeslaných dat. Tyto záznamy jsou ukládány v bytech. Airweb získané záznamy neukládá do klasické SQL databáze, nýbrž pomocí nástroje [RRDTool](#) agreguje data každého klienta do separátních souborů.

Hlavní motivací pro tuto činnost je snadná a nenáročná tvorba grafů ukazujících využívání připojení k Internetu za předem definované časové období. Grafy s uvedenými statistikami jsou pak jednou ze služeb, které Airweb nabízí svým zákazníkům.

Obrázek 5: Ukázka služeb Airwebu – statistika přijatých a odeslaných dat.



Využívání nástroje RRDTool s sebou nese určité výhody i nevýhody. Mezi výhody patří konstantní velikost datového souboru, která byla zadána jako parametr při jeho vzniku. Dalšími výhodami jsou pak široká podpora mezi Open Source (15) nástroji a velmi snadný převod uložených dat do grafické podoby.

Konstantní velikost datového souboru je realizována pomocí automatické agregace uložených hodnot v průběhu času. V případě nastavení, která zvolil Airweb jsou data agregována pomocí následujících pravidel:

Tabulka 6: Pravidla pro agregování dat.

Časové období	Interval ukládaných dat
Posledních 24 hodin	5minutový průměr
Posledních 7 dní	30minutový průměr
Posledních 31 dní	2hodinový průměr
Poslední rok	denní průměr

Z výše uvedeného výčtu je zřejmé, že ze starších dat lze získat pouze základní statistiky, jako je celkové množství, průměrné množství, minimální průměrná hodnota a maximální průměrná hodnota přijatých a odeslaných dat. Tyto hodnoty navíc nelze získat pomocí jednoho dotazu, jelikož jsou data ukládána pro každého zákazníka zvlášť.

4.2. Výběr testovacích dat

Předchozí kapitola se zabývala zmapováním aktuálního stavu evidování záznamů o přijatých a odeslaných datech jednotlivých zákazníků Airwebu. Vzhledem ke způsobu ukládání těchto dat (RRDTool) a z toho plynoucích faktů, že pro starší data jsou známy pouze průměrné hodnoty a že samotný přístup k datům je velmi obtížný, protože jsou ukládána do tisíců souborů, bylo se zaměstnanci společnosti dohodnuto, že aktuální 5minutové záznamy budou ukládány do klasické SQL tabulky, která bude sloužit pro potřeby této práce.

Prostým výpočtem lze zjistit množství záznamů, které se do takovéto tabulky dostane za jeden den.

$$\text{počet záznamů} = 24 \cdot (60/5) \cdot \text{počet zákazníků}$$

Pokud budeme uvažovat horní mez počtu zákazníků, tedy cca 10 000, získáme hodnotu 2 880 000 záznamů za den. Interval jednoho dne bohužel není příliš vypovídající pro chování zákazníka, proto bychom měli tento interval prodloužit. Odhadované počty zákazníků pro určité intervaly jsou patrné z tabulky.

Tabulka 7: Počet ukládaných záznamů pro možná období ukládání dat.

Délka intervalu	Odhadovaný počet záznamů
1 den	2 880 000
1 týden	20 160 000
1 měsíc	80 640 000
3 měsíce	241 920 000
1 rok	1 048 320 000

Vzhledem k době řešení diplomové práce byl interval 1 roku vyloučen z úvahy. Ostatní intervaly byly navrženy zaměstnancům Airwebu. Spolu s nimi byl pak vytvořen odhad velikosti diskového prostoru potřebného pro uložení požadovaného množství záznamů a také odhad počtu zápisů do databáze.

Tabulka 8: Diskový prostor potřebný pro uložení jednoho záznamu do databáze.

Název pole	Význam pole	Místo potřebné k uložení pole na disk
ID_VM	Komplexní identifikátor klienta	32 bit
ID_CON	Komplexní identifikátor klienta	32 bit

TIME_ST	Časová značka záznamu	64 bit
DATA_IN	Množství přijatých dat	64 bit
DATA_OUT	Množství odeslaných dat	64 bit

Z tabulky vyplývá, že jeden záznam spotřebuje cca **256 bitů** diskového prostoru. Uvedené údaje vycházejí z oficiálního manuálu databáze Firebird. (16) Tento manuál rovněž zmiňuje různá technická omezení, která by se na tabulku s takovým množstvím záznamů mohla vztahovat:

Maximální velikost tabulky - 32 Tb

Maximální počet řádků v jedné tabulce - >16 miliard

Maximální velikost řádku - 64 KB

Tabulka 9: Ověření limitů databáze a potřebného místa na disku pro zvolené časové intervaly.

Délka intervalu	Odhadovaný počet záznamů	Potřebné místo na disku (počet záznamů * velikost řádku) [Gb]	Maximální velikost tabulky (32 Tb)	Maximální počet řádků v jedné tabulce (16 miliard)	Maximální velikost řádku (64 KB)
1 den	2 880 000	0,73728	✓	✓	✓
1 týden	20 160 000	5,16096	✓	✓	✓
1 měsíc	80 640 000	20,64384	✓	✓	✓
3 měsíce	241 920 000	61,93152	✓	✓	✓

Z tabulky je zřejmé, že ani jeden ze zvolených intervalů nekoliduje s limity použité databáze. Tabulka však také ukazuje množství diskového prostoru potřebného pro uložení

všech potřebných záznamů a dále i množství zápisů do databáze. Po převedení informací o potřebném místě na disku na lépe představitelné jednotky pak vznikne následující tabulka:

Tabulka 10: Množství potřebného datového prostoru pro uložení dat.

Délka intervalu	Odhadovaný počet záznamů	Potřebné místo na disku [MB]
1 den	2 880 000	92,16
1 týden	20 160 000	645,12
1 měsíc	80 640 000	2580,48
3 měsíce	241 920 000	7741,44

Po zhlédnutí těchto dat navrhl zástupce Airwebu dvě možnosti, při kterých by nedošlo k neúměrnému zatížení aktuálních výpočetních kapacit.

1. Uchovávat data pouze 1 den.
2. Omezit skupinu zákazníků poskytujících data pro diplomovou práci.

Vzhledem k povaze bezdrátového připojení, které je popsáno v kapitole 3.2 a také faktu, že jednodenní statistiky by nejspíš nebyly příliš vypovídající, byla zvolena druhá možnost. Po dohodě se společností Airweb byla z navrhovaných testovacích oblastí zvolena vesnice Chudenice, která obsahuje 5 přístupových bodů a 76 klientů. Více o průběhu výběru testovací oblasti v kapitole 4.2.1. Po přepočítání výše uvedených odhadů vznikne Tabulka 11.

Tabulka 11: Výběr vhodného intervalu pro měření ve vesnici Chudenice.

Délka intervalu	Odhadovaný počet záznamů	Potřebné místo na disku [MB]
1 týden	153 216	4,90
1 měsíc	612 864	19,61

3 měsíce	1 838 592	58,83
----------	-----------	-------

Z uvedených možností byl vybrán interval o délce jednoho měsíce, který se zdál být nejlepším kompromisem mezi nároky na diskový prostor a počet zápisů do databáze na jedné straně a vypovídací hodnotou o chování zákazníka na straně druhé.

4.2.1. Kritéria pro výběr testovací lokality

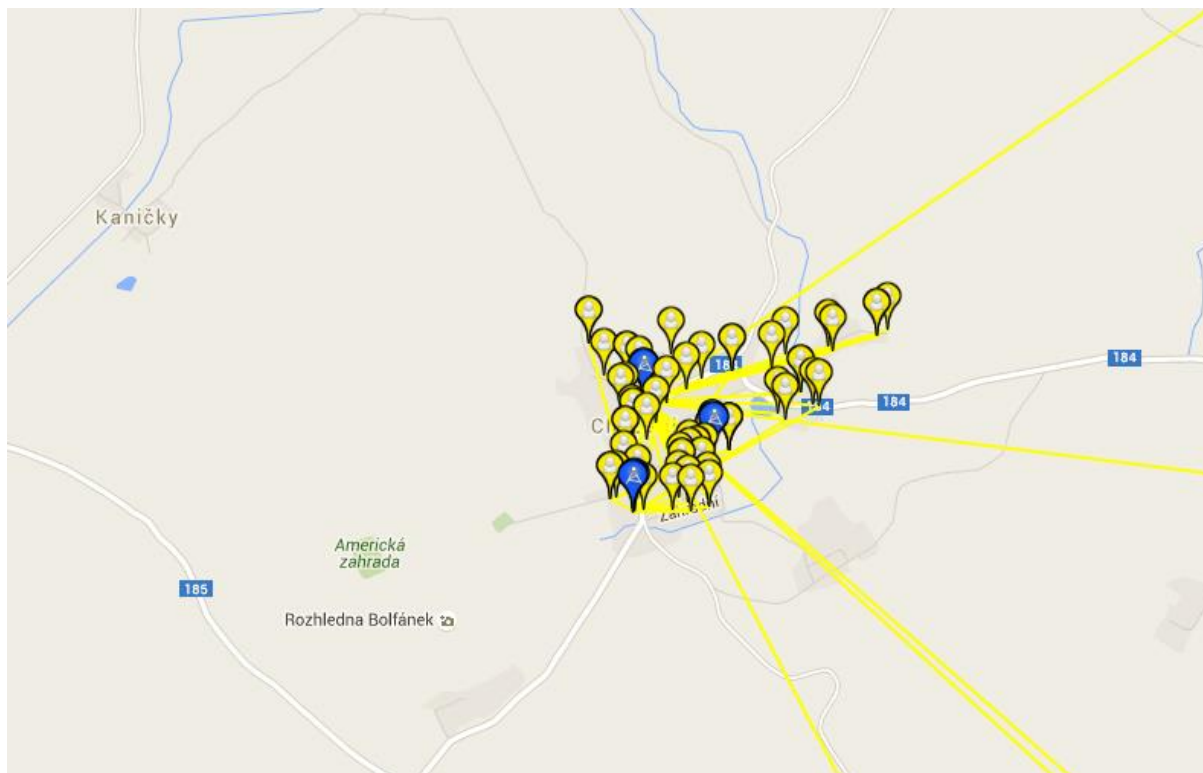
Jako ideální testovací lokalita byla vybrána vesnice Chudenice ležící v okrese Klatovy v Plzeňském kraji. Lokalita byla vybírána podle počtu přístupových bodů, které se v ní nachází, a podle počtu zákazníků, kteří zde jsou připojeni. Dalším kritériem pak byla znalost dané lokality, jelikož lze při řešení práce vzít v úvahu také zhoršenou viditelnost mezi přístupovými body a zákazníky.

Tabulka 12: Nabízené lokality v první fázi výběru.

Název oblasti	Počet přístupových bodů	Počet zákazníků	Znalost lokality
Čachrov	2	5	nízká
Chudenice	5	73	vysoká
Koloveč	2	10	vysoká
Strážov	20	120	nízká

Na Obrázek 6 je znázorněna vizualizace aktuálního připojení zákazníků (žlutě) k přístupovým bodům (modře). V zájmu zachování obchodního tajemství Airwebu není uvedený obrázek příliš podrobný. Na obrázku si také lze všimnout spojení (žluté čáry) vedoucích mimo obrazovku. Jedná se o chyby v datech zadavatele. Řešení těchto chyb je uvedeno dále v této kapitole.

Obrázek 6: Vizualizace původního rozložení bodů.



4.2.2. Opravy chybných dat zadavatele

Tomáš Muchka ve své diplomové práci *Vizualizace sítě klientů* popisuje v kapitole 8 problémy se zdrojovými daty zadavatele. Na testovacích datech byl zjištěn problém ve špatně vyplněné adrese.

Airweb je u zákazníka schopný evidovat fyzickou i fakturační adresu zákazníka. V případě, že není fyzická adresa vyplněna, přebírá systém adresu zákazníka z fakturační adresy. Občas však nastane situace, kdy se adresy liší, ale přesto není fyzická adresa vyplněna. V takovém případě jsou pro zákazníka vygenerovány špatné zeměpisné koordináty a ten je následně zobrazen v sousedním městě nebo státě. Viz Obrázek 6, na kterém některá spojení vedou zdánlivě nesmyslně mimo oblast Chudenic.

Během přípravy dat pro testovací oblast bylo nalezeno několik zákazníků, s očividně špatně vygenerovanými zeměpisnými koordináty. Při testování adres těchto zákazníků ve vyhledávacích adres od společností Google a Seznam.cz bylo zjištěno, že

společnost Google vrací nepřesné výsledky, zatímco služba Mapy.cz od společnosti Seznam.cz zobrazovala všechny výsledky na skutečných adresách zákazníků.

Služba Mapy.cz po zadání částečné adresy nejen, že zobrazila bod na správných zeměpisných koordinátech, ale také v dodatečných informacích nabídla kompletní adresu tohoto bodu. Díky znalostem kompletních adres bylo možné poslat požadavek na opravu i s požadovanými adresami, díky kterým i geolokační servisa využívaná zadavatelem vygeneruje správné zeměpisné koordináty.

4.2.3. Souhrn oprav dat

Následující sekce zobrazuje souhrnné výsledky oprav, které bylo nutné provést u dat od zadavatele. Bez těchto oprav by bylo obtížné zkontrolovat realizovatelnost závěrů diplomové práce, jelikož by nebylo možné tyto závěry zobrazit na mapovém podkladu.

Tabulka 13: Souhrnné výsledky oprav dat zadavatele.

Množina bodů	Počet obsažených bodů
Testovací množina	73
Špatně vyplněná adresa	6
Chybějící část adresy	5

4.3. Analýza sesbíraných dat

Na základě závěrů z kapitoly 4.2 byl zahájen jednoměsíční sběr dat v lokalitě Chudenice, a to v období od 20.1.2016 do 20.2.2016.

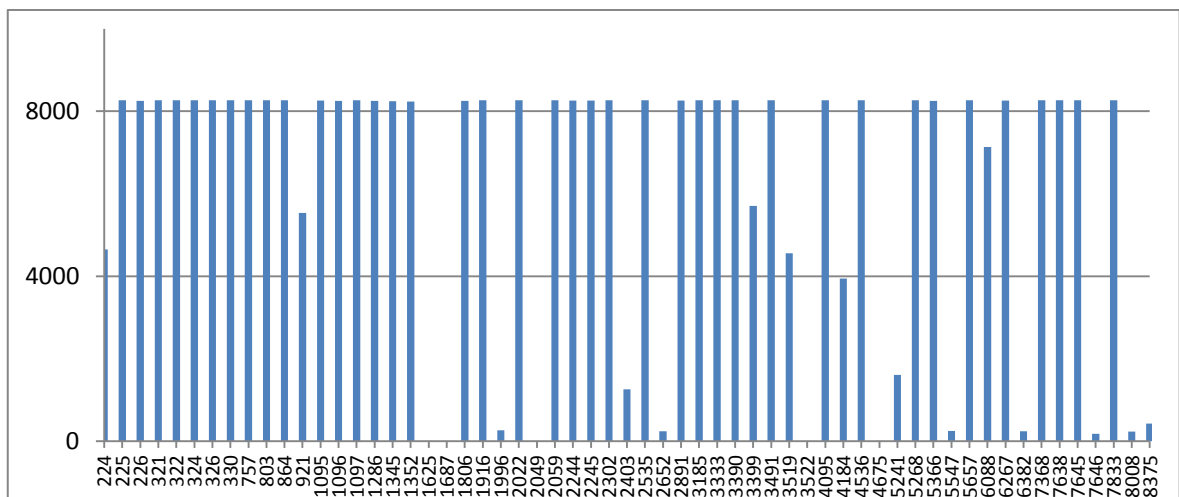
Z původně vytipovaných 73 zákazníků se nakonec do měření zapojilo 51. Ostatní v uvedeném časovém období nepoužívali své připojení k Internetu. Zbýlých 22 zákazníků jsou nejspíše sezónní obyvatelé, kteří do Chudenic a okolí zavítají až v letních měsících. Ověření této teorie by vyžadovalo zpřístupnění dalších částí systémů společnosti, konkrétně systém s platebními informacemi.

Během období měření zaznamenal systém celkem 358 466 záznamů, což je přibližně polovina z původně odhadovaného počtu 612 804. Při analýze dat bylo nalezeno několik zajímavostí, které stojí za hlubší bádání.

4.3.1. Rozložení množství záznamů

Počet všech záznamů, které byly pro jednotlivé zákazníky vygenerovány, je zobrazen v grafu 1. Pro převážnou část zákazníků bylo zaznamenáno více než 8 000 záznamů. Několik zákazníků se pohybuje na hranici 4 000 záznamů a zbylí zákazníci byli zastoupeni pouze několika málo hodnotami.

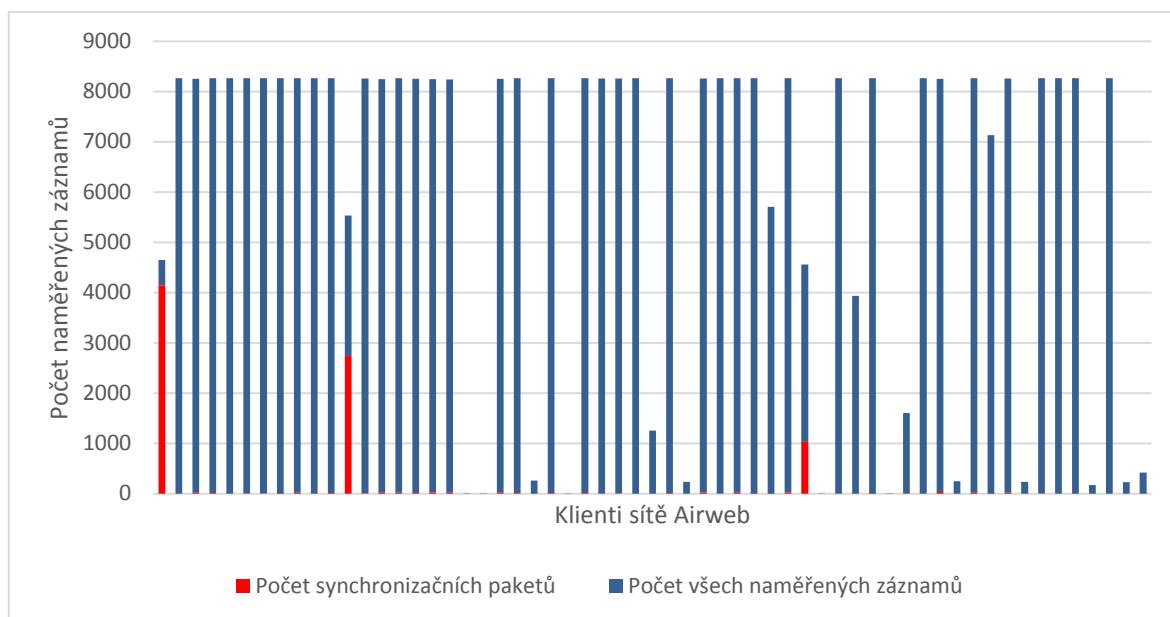
Graf 1: Počet všech záznamů testovacích zákazníků.



4.3.2. NTP pakety

Při analýze sesbíraných dat se v záznamech často vyskytovala konstanta 76 bytů. Celkem se tato konstanta objevila v 8 389 případech u 35 zákazníků. Na Graf 2 jsou znázorněny počty všech záznamů a počet záznamů s konstantou 76 bytů. Až na výjimky se u každého klienta jedná o několik málo záznamů z celkového počtu.

Graf 2: Počet všech záznamů a počet záznamů s konstantou 76 bytů.



Tyto záznamy by mohly být výsledkem komunikace počítačů pomocí protokolu NTP (Network Time Protocol). Tento protokol slouží k synchronizaci časů mezi počítači na Internetu. Čas mezi počítači je potřeba synchronizovat z mnoha různých důvodů, jedním z nich je např. e-mailová komunikace. S pomocí protokolu NTP nemůže nastat situace, kdy příjemce dostane e-mail z budoucnosti.

Synchronizace probíhá v pravidelných nastavitelných intervalech, a to vůči jednomu z mnoha po světě rozestých NTP serverů. Takových serverů je podle dotazníku z roku 1999 minimálně 175 000.

Důvodem, proč nebyla tato konstanta nalezena u všech zákazníků, je celkem prostý. Takto nízká konstanta se snadno ztratí vzhledem k celkovému množství síťové komunikace, která na zákaznických zařízeních proběhne. NTP synchronizace navíc v základním nastavení probíhá jednou za 1024 sekund (přibližně 17 minut). Z tohoto důvodu se tedy i při nulové síťové aktivitě zmíněná konstanta neobjeví v každém naměřeném záznamu.

4.3.3. Chování zákazníků na Internetu

Ačkoliv jsou v současné době možnosti chování zákazníků na Internetu takřka neomezené, stále existují určité typy uživatelů, podle kterých lze odhadnout, k jakým účelům zákazník své internetové připojení využívá a oddělit tak od sebe zákazníky s potenciálně kolizním chováním.

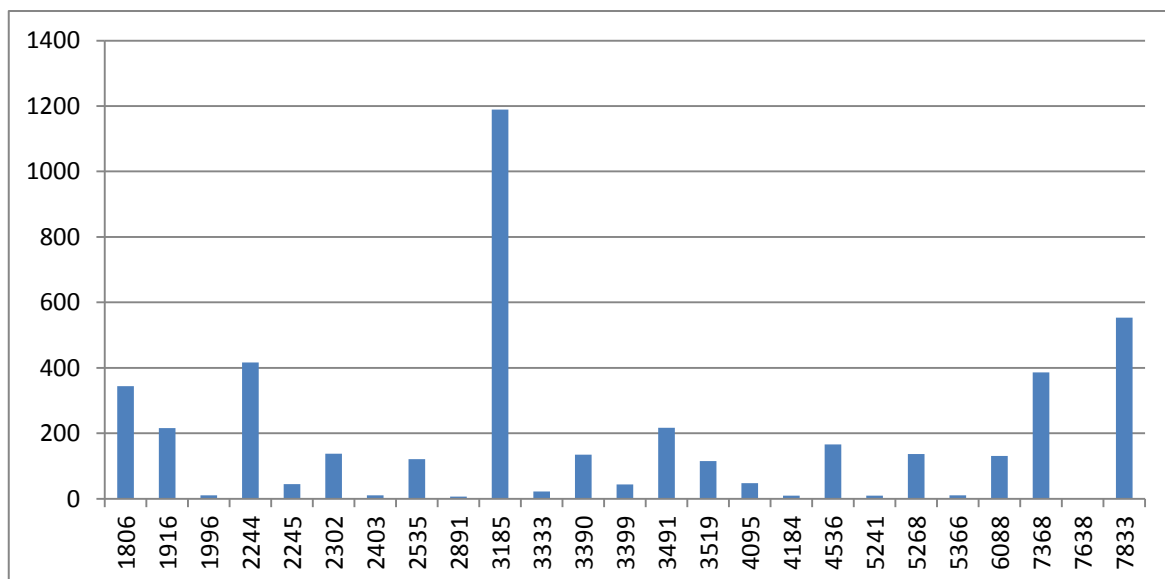
Typy uživatelů Internetu seřazené podle množství přenesených dat:

- Hráči online her,
- uživatelé sociálních sítí,
- konzumenti webových uložišť,
- lidé využívající Internet pro občasné prohlížení webových stránek.

Největší množství dat během svých aktivit přenášejí hráči online her. Měsíčně se jedná o desítky gigabytů. S nástupem sociálních sítí jako je Facebook, Twitter, Google+ nebo Pinterest a s tím spojených navázaných služeb jako Instragram, Youtube nebo Vimeo však došlo k nárůstu dat přenesených jejich uživateli a ti se tak dostali na podobnou úroveň přenesených dat jako je u online hráčů.

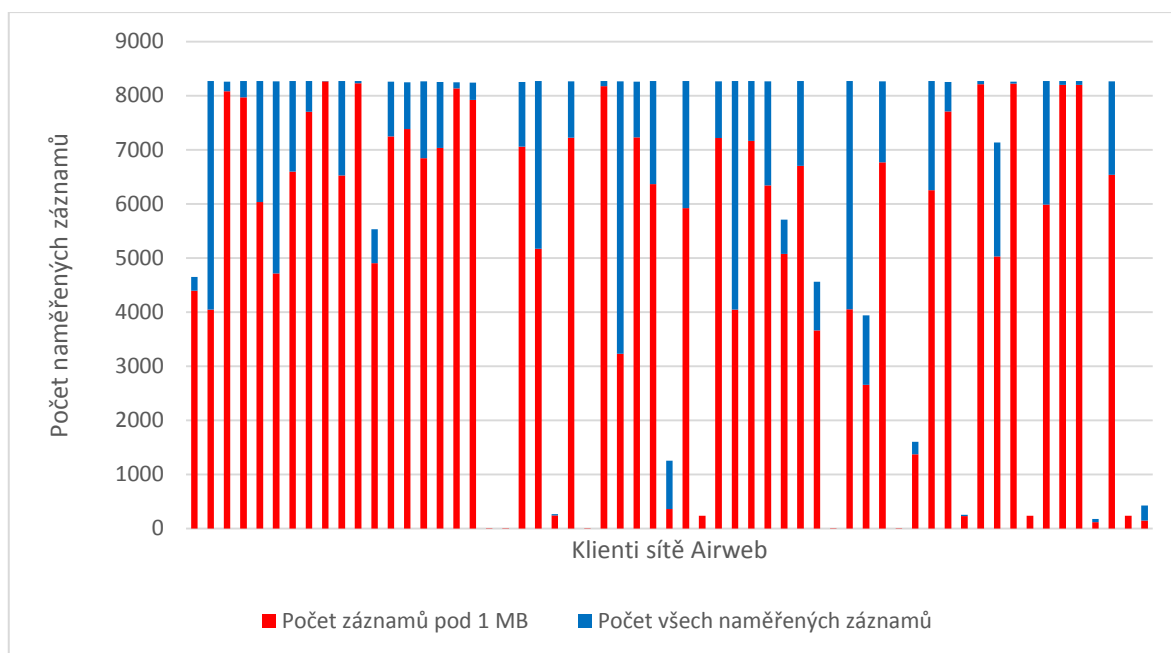
Dalším zajímavým typem uživatelů jsou konzumenti různých webových uložišť. Asi nejznámější webové uložisko v České republice je web ulož.to. V častých dotazech (17) tohoto uložiska je psáno, že maximální možná rychlost stahování pro neplatící uživatele je 300 KB/s. Po převodu vteřinového intervalu na pětiminutový, podle kterého jsou zaznamenávána testovací data, vyjde hodnota 90 000 000 B za 5 minut. Rychlý dotaz do databáze nabízí přehled o zákaznících, kteří své připojení k Internetu využívají přibližně stejně, jako kdyby po celou dobu intervalu měli zapnuté stahování z ulož.to. Výška sloupce vyjadřuje počet takových intervalů na zákazníka.

Graf 3: Počet záznamů kde daní klienti stahují tak, jako by stahovali plnou rychlostí bez zaplaceného účtu (300 KB/s)

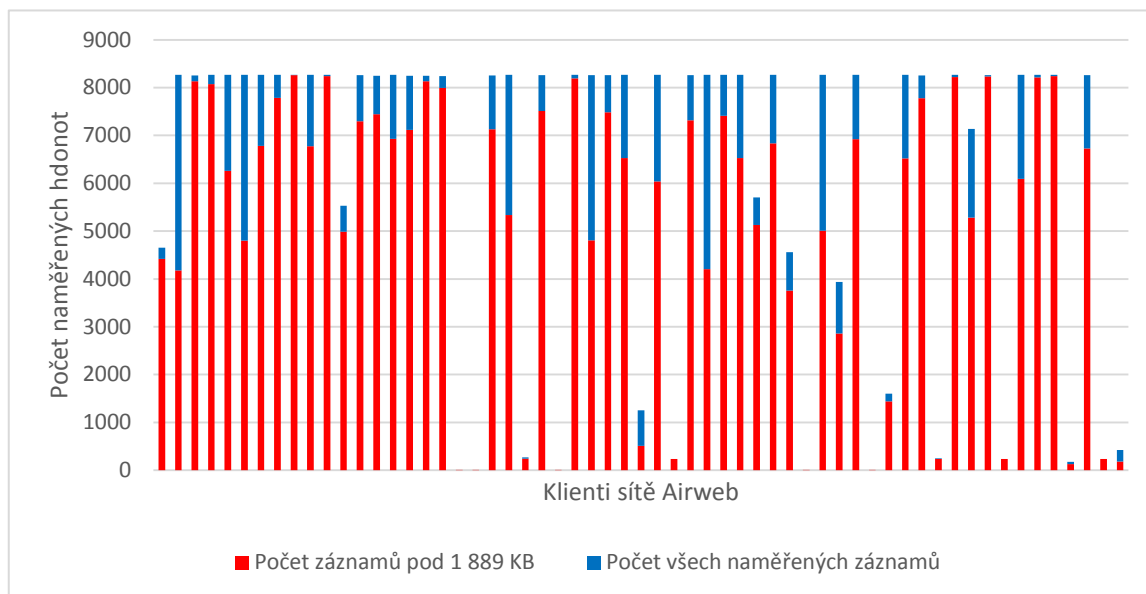


Posledním uvedeným typem uživatelů jsou lidé využívající Internet pro občasné prohlížení webových stránek. Podle článku (18) uveřejněném na naučném webu cnews.cz činila průměrná velikost webové stránky v roce 2014 1 889 KB, přičemž méně než polovina stránek vyžaduje při prvním načtení méně než 1 MB dat.

Graf 4: Počet všech naměřených záznamů vs. počet záznamů pod 1MB



Graf 5: Počet všech naměřených záznamů vs. Počet záznamů pod 1 889 KB.



Pohled na graf ukazuje, že u některých zákazníků je možné vynechat značné množství záznamů, aniž by tato skutečnost měla vliv na charakteristiku zákazníka. Příležitostné načtení webové stránky může mít totiž jen stěží dopad na ostatní uživatele připojené na stejný přístupový bod.

4.4. Vstupní data pro výpočet

Pro výpočet bylo potřeba sebraná data seřadit analyzovat a upravit do podoby, která je vhodná pro výpočet. Základní data byla sbírána po 5minutových intervalech, neboli kolik dat bylo staženo daným klientem za dobu pěti minut. Hodnoty podle 5minutových intervalů byly vloženy do Tabulka 14. Z tabulky vyplývá, že každý bod má jiný počet hodnot. Důvodem je různé časové využívání internetu v jednotlivých domácnostech. Pokud nebyla v daném časovém intervalu stahována žádná data, je tento časový interval reprezentován nulovou hodnotou, která se do tabulky nezapočte. Dále byla tabulka ještě očištěna o hodnoty menší než 1 000 000 bytů. Tento objem dat je zanedbatelný, jelikož nestačí ani k načtení jedné průměrné stránky a výrazně to pomohlo pro zmenšení počtu dat a následné práci s nimi.

Data byla vyfiltrována po jednotlivých klientech a pro každého klienta byl sestaven graf znázorňující vývoj objemu stahovaných dat v čase (Tabulka 15). Data bylo nutno reprezentovat jednou hodnotou, která by celou časovou řadu správně reprezentovala. Pokud by tato hodnota byla moc nízká, mohlo by kvůli tomu dojít k tomu, že se k přístupovému bodu připojí hodně domácností a v případě, že se jejich hodnota zvýší, dojde ke zpomalení rychlosti připojení. V opačném případě, kdy by byla hodnota neúměrně vysoká, by algoritmus zbytečně rezervoval pro daný bod příliš velkou kapacitu, která by však nebyla vůbec využita.

Tabulka 14: Počet záznamů pro jednotlivé klienty.

ID bodů	počet záznamů	ID bodů	Počet záznamů	ID bodů	Počet záznamů
224	258	1352	318	3519	899
225	4251	1806	1209	4095	4240
226	182	1916	3105	4184	1295
321	301	1996	23	4536	1505
322	2253	2022	1047	5241	228
324	3549	2059	97	5268	2078
326	1668	2244	5108	5366	547
330	578	2245	1052	5547	20
757	3	2302	1903	5657	56
803	1769	2403	898	6088	2103
864	39	2535	2346	6267	34
921	632	2891	1045	7368	2285
1095	1013	3185	4241	7638	68
1096	870	3333	1112	7645	346
1097	1417	3390	1923	7646	60
1286	1214	3399	631	7833	1757
1345	111	3491	1603	8375	281

4.4.1. Určení reprezentativní hodnoty pro jednotlivé body

Pro určení jedné hodnoty, která by zastoupila daný bod, se nabízejí různé možnosti jako je průměr nebo medián. Konkrétní hodnoty a zdůvodnění je popsáno níže.

Tabulka 15 znázorňuje reprezentativní vzorek zákazníka 6267, který byl vybrán ze všech bodů na základě počtu dat. Bylo třeba vybrat takový bod, který by neměl velký ani příliš malý počet hodnot (znázornění bodů a ukázka práce s nimi by nebyla dostatečně názorná).

Tabulka 15: Záznamy pro klienta 6267.

ID bodu	Hodnota stahování	Čas	Pořadí
6267	1 557 131,00	30.01.2016, 10:55:02.914	1
6267	15 537 746,00	30.01.2016, 11:00:03.575	2
6267	16 618 105,00	30.01.2016, 11:05:03.276	3
6267	19 764 469,00	30.01.2016, 11:10:03.196	4
6267	14 761 429,00	30.01.2016, 11:15:03.464	5
6267	4 953 670,00	30.01.2016, 11:20:03.473	6
6267	10 223 525,00	30.01.2016, 11:25:03.870	7
6267	25 979 968,00	30.01.2016, 11:30:03.024	8
6267	12 012 994,00	30.01.2016, 11:35:03.628	9
6267	12 007 954,00	30.01.2016, 11:40:03.738	10
6267	5 297 443,00	30.01.2016, 11:45:03.079	11
6267	6 707 528,00	30.01.2016, 11:50:03.059	12
6267	10 375 010,00	30.01.2016, 11:55:03.309	13
6267	4 515 562,00	30.01.2016, 12:00:03.891	14
6267	1 632 966,00	30.01.2016, 12:10:03.097	15
6267	1 951 547,00	30.01.2016, 12:15:03.506	16
6267	1 383 109,00	30.01.2016, 12:20:03.425	17
6267	1 114 322,00	30.01.2016, 12:25:03.202	18
6267	1 265 442,00	30.01.2016, 12:30:03.688	19
6267	1 654 116,00	30.01.2016, 12:50:03.146	20

6267	1 573 224,00	30.01.2016, 12:55:03.094	21
6267	2 944 767,00	06.02.2016, 16:55:03.220	22
6267	3 791 496,00	06.02.2016, 17:00:03.876	23
6267	1 953 983,00	06.02.2016, 17:05:03.787	24
6267	1 879 561,00	06.02.2016, 17:10:03.586	25
6267	2 182 053,00	06.02.2016, 17:15:03.767	26
6267	1 037 728,00	06.02.2016, 17:25:03.288	27
6267	3 503 386,00	06.02.2016, 17:30:03.863	28
6267	4 739 091,00	06.02.2016, 17:35:03.930	29
6267	6 400 658,00	06.02.2016, 17:40:04.082	30
6267	2 280 397,00	06.02.2016, 17:45:03.675	31
6267	3 694 829,00	06.02.2016, 17:50:03.504	32
6267	4 441 492,00	06.02.2016, 17:55:02.999	33
6267	5 308 189,00	06.02.2016, 18:00:04.195	34

Tabulka 16: Statistické hodnoty pro klienta 6267.

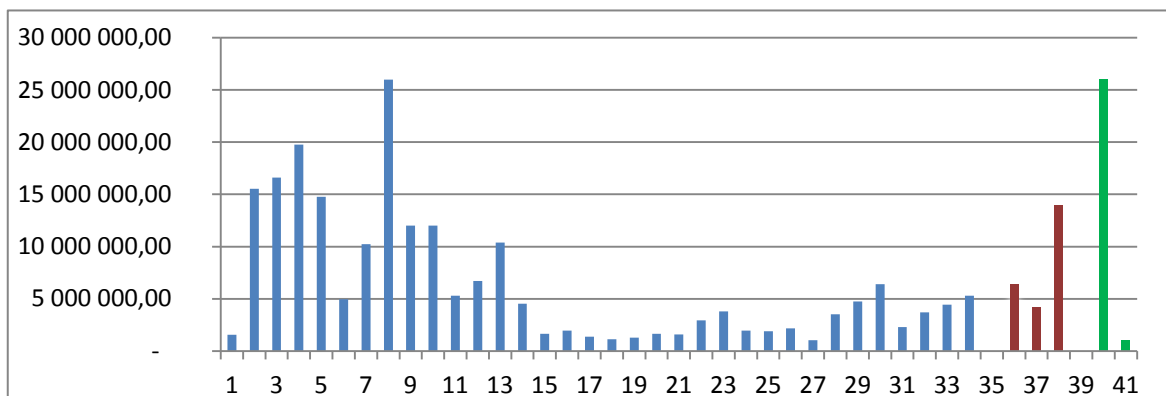
průměr	6 324 849,71
medián	4 116 494,00
upravený průměr	13 912 654,00

Tabulka 17: Extrémní hodnoty pro klienta 6267.

maximální hodnota	25 979 968,00
minimální hodnota	1 037 728,00

Z Tabulka 15 lze vyčíst několik zajímavých informací. V případě ukázkového bodu 6267 užíval klient Internet výrazněji pouze 2 dny, a to 30. ledna a 6. února. Maximální hodnota objemu dat, která byla v 5minutovém intervalu stažena, byla 25 979 968 bytů a minimální hodnota pak 1 037 728 bytů.

Graf 6: Objem stahování ukázkového bodu dle času.



Graf 6: Objem stahování ukázkového bodu dle času. znázorňuje rozložení bodů podle času (modré sloupce). Ze stahovaného objemu dat lze orientačně vyčíst aktivitu uživatele. Vyšší hodnoty na začátku lze přičíst vyšší aktivitě na síti, stahování zpráv či načítání velkého množství dat. Druhý den začínající bodem č. 22 již nebylo staženo velké množství dat.

Červené sloupce znázorňují hodnoty, které reprezentují daného klienta. První hodnota je obyčejný průměr ze všech hodnot tj. 6 324 849,71. Deset hodnot z tabulky je vyšších než tento průměr. To by jako reprezentativní hodnota bylo přijatelné, přihlédneme-li však k faktu, že tento bod není využíván k připojení příliš často, maximální hodnota nedosahuje žádných extrémních hodnot, bylo by lepší pro reprezentaci bodu zvolit vyšší hodnotu, pro případ, že by se vytíženost bodu zvýšila a případně by se zvýšil objem stahovaných dat. Je velice nepravděpodobné, že by více bodů najednou mělo svoji maximální hodnotu stahování přesně ve stejný okamžik a ohrožovali by si tak navzájem rychlost připojení. Proto není nutné volit ani maximální hodnotu objemu stahování dat.

Hodnota mediánu, tedy hodnota, která dělí soubor dat na dvě stejně velké části je ještě nižší než hodnota průměru a to 4 116 494 bytů. 17 hodnot je nižší než tato hodnota a naopak 17 hodnot je vyšších.

Upravený průměr vyjadřuje hodnotu průměru z vybraných dat. Z dat byly vyfiltrovány hodnoty nižší než 10 MB a dále také 10 % nejvyšších hodnot. V případě bodu 6267, který je uveden jako ilustrační příklad, došlo k odebrání 25 hodnot, které byly nižší

než 10 MB. Ze zbylých 9 hodnot bylo odebráno horních 10 %, což je po zaokrouhlení jeden záznam. Tabulka 18 znázorňuje zbylé záznamy pro bod 6267 poté, co byly provedeny filtrace uvedené v předchozích větách. Průměrná hodnota vyfiltrovaných hodnot činí 13 912 654 bytů.

Tabulka 18: Upravená data pro výpočet průměru.

ID bodů	Hodnota stahování	Čas
6267	10 223 525,00	30.01.2016, 11:25:03.870
6267	10 375 010,00	30.01.2016, 11:55:03.309
6267	12 007 954,00	30.01.2016, 11:40:03.738
6267	12 012 994,00	30.01.2016, 11:35:03.628
6267	14 761 429,00	30.01.2016, 11:15:03.464
6267	15 537 746,00	30.01.2016, 11:00:03.575
6267	16 618 105,00	30.01.2016, 11:05:03.276
6267	19 764 469,00	30.01.2016, 11:10:03.196

Po porovnání s předešlými hodnotami průměru ze všech hodnot a mediánu, byla tato hodnota vybrána jako nejvíce odpovídající požadavkům daného bodu. V Graf 6 je tato hodnota zanesena jako třetí červený sloupec a je zde vidět, že jen 5 hodnot z celkových 34 je vyšších než tento průměr, proto byl tento průměr zvolen jako reprezentativní hodnota pro daný bod.

Pro představu byla do Graf 6 zanesena ještě maximální a minimální hodnota, které jsou vyjádřeny zelenými sloupci.

Upravené průměry byly vypočítány pro všechny body a jsou zobrazeny v Tabulka 19.

Tabulka 19: Upravené průměry pro jednotlivé klienty.

Číslo bodu	Průměr	Číslo bodu	Průměr
224	18 803 394,09	2403	24 477 702,88
225	135 024 014,38	2535	29 710 864,23
226	49 578 531,53	2891	25 642 183,65

321	22 042 655,78	3185	68 079 395,22
322	55 406 410,78	3333	25 191 330,16
324	81 627 953,77	3390	42 751 967,78
326	33 024 735,05	3399	61 187 349,27
330	36 474 324,28	3491	44 788 188,84
757	5 029 013,00	3519	47 113 449,74
803	25 377 602,93	4095	24 220 435,09
864	22 759 627,10	4184	22 895 753,13
921	91 223 299,44	4536	46 799 364,64
1095	38 167 827,51	5241	38 389 863,07
1096	19 295 102,25	5268	31 242 276,81
1097	36 309 971,45	5366	22 318 375,93
1286	46 237 308,38	5547	25 070 016,00
1345	25 686 179,68	5657	12 466 493,50
1352	28 510 652,72	6088	33 668 497,50
1806	63 859 830,50	6267	13 912 654,00
1916	35 357 705,52	7368	49 108 416,56
1996	83 424 197,48	7638	35 714 759,67
2022	18 544 304,42	7645	186 517,00
2059	26 718 158,13	7646	20 691 430,29
2244	43 502 794,48	7833	131 802 986,10
2245	36 204 945,68	8375	22 232 013,06
2302	44 138 810,02		

4.4.2. Vzdálenosti mezi odběrnými místy a přístupovými body

Vzdálenost mezi jednotlivými přístupovými body a odběrnými místy (klienty) je určována pomocí zeměpisných koordinátů na základě adresy klientů. Přesná vzdálenost je vypočítána pomocí Haversine formule. Vzdálenosti klienta ke každému přístupovému bodu jsou udávány v metrech a pro účely dalšího zpracování byly zapsány do matice. Na

první pohled byly v matici buňky s extrémně vysokými hodnotami (konkrétně 4 takovéto hodnoty). Vzhledem k tomu, že lokalitou, ve které je problém řešen, je městys s přibližně 700 obyvateli a rozlohou menší než 100 ha, jakákoliv vzdálenost nad 1500 m byla považována za chybnou. Výskyt odlehlých míst je způsoben jednou z možností zmíněnou v kapitole 4.2.2. Po dodání správných adres klientů do databáze byla tato matice vypočítána znovu, tentokrát bez výše zmíněných extrémních hodnot. Konečnou podobu matice lze najít v tabulce 20. V matici lze v mnoha případech najít případy, kdy jeden klient má stejnou nebo velice podobnou (rozdíl jednoho metru) vzdálenost od dvou různých přístupových bodů. Tato situace nastává v případě, kdy na jedné budově jsou nainstalovány dva přístupové body a každý z nich je natočen na jinou (většinou protilehlou světovou) stranu.

4.4.3. Kapacity přístupových bodů

Z technického hlediska je reálná kapacita přístupových bodů vysoce naddimenzována. Zejména pro pohodlí firmy je technicky jednodušší a v konečném důsledku i levnější pustit na přístupové body maximální možnou rychlost připojení a v případě připojení dalšího uživatele pak nemuset zjišťovat, zda je pro něj dostatečná kapacita. Po většinu času se tak uživatelé nijak neomezují. Cílem práce je optimalizovat a rovnoměrně rozdělit klienty k těmto přístupovým bodům. Pro výpočet bylo třeba určit nějakou kapacitu pro jednotlivé přístupové body, byl zvolen průměr z požadavků jednotlivých klientů. Takto zvolené kapacity zajišťují rovnoměrné rozdělení bodů klientů k přístupovým bodům. Celkový součet požadavků klientů je 2 016 776 104,48 bytů. Průměr je pak 403 355 220,9 bytů na jeden přístupový bod. Rozdělí-li model všechny požadavky přesně na tyto kapacity, bude zaručeno rovnoměrného rozdělení klientů mezi přístupové body.

4.5. Popis modelu

Cílem tohoto dopravního problému je rovnoměrné rozdělení klientů k přístupovým bodům ve vybrané oblasti. Firma, která připojení v dané oblasti poskytuje, připojuje zákazníky náhodně, většinou k nejbližšímu přístupovému bodu. Tím však v rámci neustálého rozšiřování sítí může docházet k nárazovému přetěžování některých bodů.

Tento stav dlouhodobě vede k výpadkům či zpomalení internetového připojení v daných oblastech, zejména ve frekventovaných časech, kdy lidé využívají své připojení k Internetu nejvíce. Nespokojenost klientů se projevuje v počtech stížnosti na špatné připojení, což pro jméno firmy není dobré.

Nové rozmístění si klade za cíl rovnoměrnější rozdělení klientů, zejména na základě obvyklého množství dat, která stahují. Řešení by tak mělo zamezit připojení několika klientů, kteří velice intenzivně využívají připojení, na jeden bod, čímž se předejde zpomalování rychlosti jejich připojení.

Hledané řešení je takové, kde každý klient (odběratel) náleží k právě jednomu přístupovému bodu (dodavateli) a zároveň došlo k uspokojení požadavků všech klientů reprezentovaných průměrem hodnot stažených dat v 5minutových intervalech. Cenové koeficienty jsou nahrazeny maticí vzdáleností mezi klienty a přístupovými body. Vzdálenost pomáhá rovnoměrně rozdělit klienty k přístupovým bodům, jelikož se ale jedná o optimalizaci na území menší obce, nehraje tak velkou roli a v případě potřeby je v omezeném množství možné klienty přesunout k jinému přístupovému bodu. Velikost a poloha obce má i vliv na omezení z pohledu viditelnosti klientů na přístupové body. Všechny přístupové body jsou instalovány na vysokých budovách (kostel, stožáry apod.), což přináší výhodu pro klienty, kteří tak svými anténami dobře vidí na jednotlivé přístupové body a lze tedy připojit klienta ke kterémukoliv přístupovému bodu. Takováto situace je zcela výjimečná a je velice snadné ji vyřešit individuálně při instalaci připojení. V rámci těchto jednotlivých výjimek již není ohrožena celá síť a je možné přesunout daný bod kamkoliv bez vážného důsledku takového přesunu. Omezení ze strany kapacit přístupových bodů jsou vytvořena uměle, jelikož společnost Airweb v rámci budování sítě přístupových bodů nasadila do všech bodů plnou kapacitu, která vysoce překračuje požadavky. Optimální rozdělení klientů bylo zvoleno na základě kapacit jednotlivých přístupových bodů. Určení kapacity přístupových bodů je dále popsáno v kapitole 4.4.3.

4.6. Matematický model

Matematické vyjádření výše uvedeného ekonomického modelu vychází z obecného modelu dopravního problému a lze jej zapsat následovně.

Minimalizovat

$$z = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{51} c_{ji} x_{ji}$$

za podmíněk

$$\sum_{j=1}^{51} x_{ji} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, 5,$$

$$\sum_{i=1}^5 x_{ji} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, 51,$$

$$x_{ji} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 5, j = 1, 2, \dots, 51.$$

Kde:

a_i – je hodnota kapacit dodavatelů, $i = 1, 2, \dots, 5$,

b_j – je hodnota požadavků jednotlivých klientů, $j = 1, 2, \dots, 51$,

c_{ji} – je matice vzdáleností mezi j -tým klientem a i -tým přístupovým bodem, $i = 1, 2, \dots, 5$,
 $j = 1, 2, \dots, 51$,

x_{ji} – proměnné udávající, zda bude mezi j -tým klientem a i -tým přístupovým místem cesta, která tyto body spojí. Nabývá hodnot nula nebo jedna. V matici výsledků pomocí řešitele Dumkosa je již výsledek ve formě objemu přepravovaného objemu od jednoho dodavatele k daným klientů. Nula-jednotkovou matici se získá prostým vydělením matice vektorem požadavků klientů.

Interpretace konkrétního matematického modelu lze popsat jako minimalizaci účelové funkce, která je součtem součinu matice proměnných x_{ji} a matice vzdáleností c_{ji} , přes všechna $j = 1, 2, \dots, 51$ a $i = 1, 2, \dots, 5$. Za podmíněk, že součet všech proměnných x_{ji} , v případě řešení z Dumkosa jsou proměnné ve formě celkového přepraveného objemu dat z přístupového bodu ke klientovi, přes všechna j ($j = 1, 2, \dots, 51$) je rovno kapacitě daného

přístupového bodu a_i , $i = 1, 2, \dots, 5$ a součet všech proměnných x_{ji} přes všechna i ($i = 1, 2, \dots, 5$) je roven požadavkům jednotlivých klientů b_j , $j = 1, 2, \dots, 51$.

4.7. Výpočet výchozího řešení

Typický příklad dopravního problému je reprezentován hodnotami zdrojů (dodavatelů) D_1, D_2, \dots, D_m s kapacitami a_1, a_2, \dots, a_m . Kapacity obsluhují n odběrných míst O_1, O_2, \dots, O_n , které mají určité požadavky b_1, b_2, \dots, b_n . Ocenění jedné jednotky označujeme jako c_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$. Hodnota proměnných x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, udává konkrétní hodnotu přepraveného zboží mezi i -tým zdrojem a j -tým odběrným místem. V našem konkrétním případě jsou dodavateli přístupové body D_1, D_2, \dots, D_5 s kapacitami a_1, a_2, \dots, a_5 . Odběrná místa O_1, O_2, \dots, O_{51} jsou zastoupeny klienty využívající datové připojení s požadavkem b_1, b_2, \dots, b_{51} , pro náš případ zastoupený upraveným průměrem ze skutečně stahovaných dat. Hodnota proměnné x_{ji} , $i = 1, 2, \dots, 5$, $j = 1, 2, \dots, 51$. Označení c_{ji} , $i = 1, 2, \dots, 5$, $j = 1, 2, \dots, 51$ bylo použito pro matici vzdáleností mezi klienty (odběrateli) a přístupovými body (dodavateli).

K výpočtu optimálního řešení je třeba si nejprve vypočítat výchozí řešení. Výpočet byl proveden ručně v tabulce MS excel, (příloha 2) pomocí Mayerovy metody následujícím způsobem. Požadavky klientů byly seřazeny sestupně a od největšího byly postupně přiřazovány jednotlivým přístupovým bodům na základě vzdálenosti. Pro ilustraci uvádím část tabulky, kompletní řešení je v příloze.

4.8. Výpočet optimálního řešení pomocí doplňku

Dumkosa

Pro nalezení optimálního řešení byl použit doplněk MS Excel Dumkosa. Jako vstupní data byly použity matice a vektory, jejichž přehled se nachází v Tabulka 20.

Tabulka 20: Hodnoty pro výpočet optimálního řešení.

přístupové body						
Klient	2049	2803	3347	3522	3964	Požadavek klientů

224	223	189	413	190	412	18 803 394,09
225	68	337	374	338	373	135 024 014,38
226	454	109	418	109	417	49 578 531,53
321	288	464	90	465	89	22 042 655,78
322	360	242	223	243	222	55 406 410,78
324	420	522	77	523	78	81 627 953,77
326	646	1041	795	1042	795	33 024 735,05
330	351	698	379	699	378	36 474 324,28
757	680	710	326	710	327	5 029 013,00
803	392	13	438	13	437	25 377 602,93
864	392	13	438	13	437	22 759 627,10
921	358	42	437	42	436	91 223 299,44
1095	279	297	156	298	154	38 167 827,51
1096	363	116	340	117	339	19 295 102,25
1097	96	303	361	303	360	36 309 971,45
1286	175	224	374	225	373	46 237 308,38
1345	873	1269	1032	1270	1031	25 686 179,68
1352	107	292	321	292	319	28 510 652,72
1806	373	144	320	144	319	63 859 830,50
1916	216	226	447	227	446	35 357 705,52
1996	455	849	687	850	686	83 424 197,48
2022	447	661	225	662	226	18 544 304,42
2059	392	13	438	13	437	26 718 158,13
2244	34	415	334	416	333	43 502 794,48
2245	314	606	251	607	251	36 204 945,68
2302	438	834	637	835	637	44 138 810,02
2403	68	462	397	463	396	24 477 702,88
2535	313	709	550	710	549	29 710 864,23
2891	210	308	503	308	501	25 642 183,65
3185	246	232	486	232	484	68 079 395,22
3333	96	303	361	303	360	25 191 330,16
3390	337	87	363	88	362	42 751 967,78
3399	179	304	472	305	471	61 187 349,27
3491	338	313	142	314	141	44 788 188,84
3519	428	811	538	812	537	47 113 449,74

4095	274	161	454	161	453	24 220 435,09
4184	290	542	179	543	179	22 895 753,13
4536	642	1036	780	1037	780	46 799 364,64
5241	357	428	27	428	27	38 389 863,07
5268	351	698	379	699	378	31 242 276,81
5366	680	710	326	710	327	22 318 375,93
5547	416	417	98	418	98	25 070 016,00
5657	549	566	194	567	195	12 466 493,50
6088	128	269	352	270	351	33 668 497,50
6267	333	587	201	588	201	13 912 654,00
7368	403	421	80	422	80	49 108 416,56
7638	284	459	91	460	90	35 714 759,67
7645	392	13	438	13	437	186 517,00
7646	392	13	438	13	437	20 691 430,29
7833	468	541	115	542	117	131 802 986,10
8375	68	462	397	463	396	22 232 013,06
capacity	404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9	2021991634

Obrázek 7: Ukázka okna pro vložení hodnot k výpočtu

Names of sources jsou identifikátory klientských bodů neboli označení bodů na mapách a v databázi.

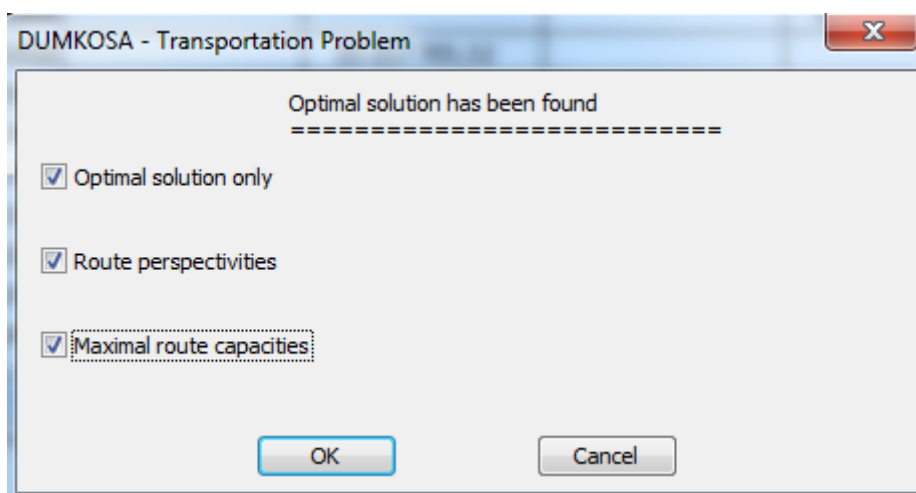
Source supplies jsou reprezentativní hodnoty pro jednotlivé klienty, které reprezentují jejich odběr dat v bytech.

Names of destinations určuje označení přístupových bodů.

Destinations requirements jsou kapacity přístupových bodů. V tomto případě byl zvolen průměr ze součtu požadavků klientů ($2\ 021\ 991\ 634/5 = 404\ 398\ 326,9$).

Cost bounds of route capacities je matice vzdáleností mezi klienty a přístupovými body.

Obrázek 8: Ukázka okna s výběrem výstupu řešení.



Pokud řešitel najde optimální řešení, lze si vybrat, jaké výstupy chceme zobrazit, na výběr jsou následující možnosti:

Optimal solution only vrátí optimální řešení v podobě přiřazení požadavků k daným přístupovým bodům. V případě, že je dopravní problém nevyrovnaný, přiřadí fiktivní proměnnou. Tato proměnná vyrovnává případnou nerovnost mezi požadavky klientů a kapacitami dodavatelů. Nulová hodnota znamená, že daný klient není obsluhován daným přístupovým bodem. Hodnotu ALT-0 lze prezentovat jako alternativní řešení, pokud by byla obsazena tato buňka místo buňky, která je aktuálně osazená, nedošlo by ke změně hodnoty účelové funkce. Příklad řešení optimalizace připojení klientů k přístupovým bodům je uveden v

Tabulka 21. (celá tabulka je v příloze 3)

Tabulka 21: Ukázka z optimálního řešení

	2 049	2 803	3 347	3 522	3 964	
224	0	18803394,09	0	0	0	18 803 394,09
225	135024014,4	0	0	0	0	135 024 014,38
226	0	ALT- 0	0	49578531,53	0	49 578 531,53
321	0	0	0	0	22042655,78	22 042 655,78
322	0	55406410,78	0	0	0	55 406 410,78
324	0	0	81627953,77	0	0	81 627 953,77
326	0	0	33024735,05	0	ALT- 0	33 024 735,05
330	0	0	0	0	36474324,28	36 474 324,28
757	0	0	5029013	0	0	5 029 013,00
803	0	ALT- 0	0	25377602,93	0	25 377 602,93
864	0	ALT- 0	0	22759627,1	0	22 759 627,10
921	0	ALT- 0	0	91223299,44	0	91 223 299,44
1095	0	0	0	0	38167827,51	38 167 827,51

Klient 224 je připojen k přístupovému bodu 2803. Klient 226 je v uvedeném řešení připojen k přístupovému bodu 3522, existuje však ještě alternativní řešení, ve kterém je připojen k bodu 2803, a to bez změny hodnoty účelové funkce. Hodnota účelové funkce je dána vzdáleností klienta k přístupovým bodům a ta je v tomto případě k oběma bodům stejná.

Optimální řešení bylo vypočítáno s minimální hodnotou účelové funkce, u 4 bodů však došlo k rozdělení požadavků mezi 2 dodavatele (přístupové body). V běžném dopravním problému je toto řešení přijatelné a požadavek může být dodán více dodavateli. Vzhledem k podstatě řešeného dopravního problému je nutné, aby byl každý požadavek uspokojen právě jedním přístupovým bodem. Každý klient je nasměrován a odebírá data z právě jednoho přístupového bodu. Situaci, která právě u uvedených čtyř bodů vznikla, je nutné vyřešit ručním přepočtem, který je rozebrán dále v kapitole 4.8.1

Route perspectives neboli analýza perspektivity tras zapisuje do matice hodnoty testu optimality. V terminologii lineárního programování jde o stínové (duální) ceny. Hodnoty testu optimality říkají, jaká by byla změna hodnoty účelové funkce, pokud bychom na dané políčko umístili jednu jednotku. Pokud obsahuje některé pole hodnotu 0, znamená to, že toto pole patří do bazického řešení a je tedy již obsazené. Nula se ještě může objevit v případě možnosti alternativního řešení (Tabulka 22). V případě nebazického řešení je tato buňka zaplněna hodnotou větší než nula. V sloupci vpravo se nachází duální proměnné, které jsou optimálním řešením minimalizační úlohy a jsou rovny koeficientům z_j s obrácenými znaménky.

Tabulka perspektivity tras v ukázkovém výčtu tabulky řešení. (Celá tabulka je uvedena v příloze 4)

Tabulka 22: Ukázka z tabulky analýzy perspektivity tras.

	2049	2803	3347	3522	3964	u_i
224	241	0	273	1	272	0
225	0	62	148	63	147	86
226	552	0	358	0	357	-80
321	357	326	1	327	0	-51
322	325	0	30	1	29	53
324	501	396	0	397	1	-63
326	9	197	0	198	0	655
330	131	271	1	272	0	238
757	512	335	0	335	1	186
803	586	0	474	0	473	-176
864	586	0	474	0	473	-176
921	523	0	444	0	443	-147
1095	283	94	2	95	0	14

Bod 224 lze interpretovat následovně. Pokud by došlo k přidání jednoho bytu z přístupového bodu 2803 (současné umístění) na bod 3522, hodnota účelové funkce by byla změněna o jednu jednotku. Při přesunu na bod 3347 by byla hodnota účelové funkce navýšena o 273 jednotek. V případě, kdy celá kapacita může být připojena pouze k

jednomu přístupovému bodu, by bylo nutné násobit požadavek bodu s danou stínovou cenou a při změně z přístupového bodu 2803 na 3522 by se pak účelová funkce zvýšila $1 \cdot 18\,803\,394,09$, resp. o $273 \cdot 18\,803\,394,09$, tedy celkově o $5\,133\,326\,586,57$.

Rozhodnutí, zda je daná trasa perspektivní nebo neperspektivní, je relativní a velice subjektivní. Souhrnně lze prohlásit, že trasu s nízkou hodnotou, které výrazně neovlivní účelovou funkci, lze označit jako perspektivní. Naopak trasu s vysokým číslem, které samozřejmě účelovou funkci ovlivní výrazněji, označíme za neperspektivní.

Maximal route capacities - analýza propustnosti tras udává propustnost jednotlivých tras, která je využívána k výpočtu dalšího řešení pomocí Dantzigova uzavřeného obvodu. Na nové obsazované pole je přidána část předávaných dat, na ostatních polích střídavě ubíráno a přidáváno. V žádné buňce nesmí být záporné množství, proto je přesouváno minimum z polí, kde se ubíralo, zároveň se nesmí rozhodit splnění omezujících podmínek, proto se přičítá (odčítá) stejné množství. Hodnoty matice propustnosti dat tedy říkají, jaké množství je možné na dané trase odečítat. Celá tabulka propustnosti dat je v příloze 5.

Tabulka 23: Ukázka z tabulky propustnosti tras.

	2049	2803	3347	3522	3964	
224	12260046,98	18803394,09	12260046,98	18803394,09	12260046,98	18803394
225	135024014,4	18452302,26	16058296,3	24049924,47	16058296,3	135024014
226	12260046,98	18452302,26	12260046,98	49578531,53	12260046,98	49578532
321	9627883,382	9627883,382	22042655,78	9627883,382	22042655,78	22042656
322	12260046,98	55406410,78	12260046,98	45407528,24	12260046,98	55406411
324	6315598,323	6315598,323	81627953,77	6315598,323	6315598,323	81627954
326	6315598,323	6315598,323	33024735,05	6315598,323	6315598,323	33024735
330	9627883,382	9627883,382	36474324,28	9627883,382	36474324,28	36474324
757	5029013	5029013	5029013	5029013	5029013	5029013
803	12260046,98	18452302,26	12260046,98	25377602,93	12260046,98	25377603
864	12260046,98	18452302,26	12260046,98	22759627,1	12260046,98	22759627
921	12260046,98	18452302,26	12260046,98	91223299,44	12260046,98	91223299
1095	9627883,382	9627883,382	38167827,51	9627883,382	38167827,51	38167828

4.8.1. Úprava optimálního řešení

Optimální řešení bylo nutné upravit kvůli situaci uvedené v kapitole 4.8, kdy požadavky 4 klientů byly obslouženy (dodány) více přístupovými body (dodavateli). Úprava této výjimečné situace byla provedena ručně, protože doplněk Dumkosa totiž neumožňuje doplnění dalších podmínek, které by tento stav eliminovaly a zajistily tak obsluhu každého klienta právě jedním přístupovým bodem.

Pro úpravu řešení se nabízejí dvě možnosti přesunutí dat. První způsob je úprava kapacit přes Dantzigovy uzavřené obvody. Pro klienta, který má rozdělené požadavky mezi 2 body, je nalezen jiný klient, který je připojen k jednomu z těchto 2 bodů. V nejlepším případě je nalezen takový klient, který má na druhém bodě alternativní řešení a jeho přesunem tak nedojde ke změně hodnoty účelové funkce. Mezi těmito body je pak určen okruh postupného přičítání a odečítání, kdy na prázdném poli dochází k přičítání. Nejmenší hodnoty z polí, na kterých se odečítá, je zahrnuta do výpočtu a dále se postupuje dle znamének, která byla určena již předem. Celý postup je znázorněn v Tabulka 24-28.

Tabulka 24: Ukázka případu, kdy je jeden klient obslužen dvěma přístupovými body.

klient	2049	2803	3 347	3522	3 964	požadavek
4536	0	0	40 483 766,31		6 315 598,32	46 799 364,64
5241	0	0	ALT- 0		38 389 863,07	38 389 863,07

Požadavek klienta 4536 byl rozdělen mezi 2 přístupové body (3347 a 3964). Jako vhodný bod pro úpravu byl vybrán bod 5241 s kapacitou 38 389 863,07. Pole, mezi kterými dojde k výměně kapacit, jsou označeny fialovou barvou. V tomto případě tedy bude Dantzigův uzavřený obvod vypadat následovně:

Tabulka 25: Ukázka Dantzigova obvodu.

klient	2049	2803	3 347	3522	3 964	požadavek
4536	0	0	40 483 766,31	0	6 315 598,32	46 799 364,64
5241	0	0	ALT- 0	0	38 389 863,07	38 389 863,07

K přesunu dochází vždy u nižší hodnoty z polí, na kterých dochází k odečtu. Zde konkrétně 38 389 863,07. Výsledný stav pak vypadá následovně:

Tabulka 26: Výsledek po přesunu pomocí Dantzigova obvodu.

klient	2049	2803	3 347	3522	3 964	požadavek
4536	0		2 093 903,24	0	44 705 461,39	46 799 364,64
5241	0		38 389 863,07	0	-	38 389 863,07

Hodnota účelové funkce se touto úpravou nezvětšila, jelikož bylo pro přesun použito prázdné alternativní pole, které hodnotu účelové funkce nezhoršuje. Klient 4536 je stále rozdělen mezi 2 přístupové body, ale poměr 2 093 903,24 ku 44 705 461,39 je již menší a můžeme menší hodnotu přesunout do políčka s vyšší hodnotou dat. Získáme tedy řešení, kde je bod 4536 připojen k přístupovému bodu 3964.

Druhou možností úpravy je přesunutí menší hodnoty z obou buněk v jednom řádku do buňky s vyšší hodnotou. Tímto postupem dojde k překročení kapacity dodavatelů, jež, jak již bylo uvedeno v kapitole 4.4.3, je pouze orientační a slouží k především k rovnoměrnému rozdělení klientů mezi přístupové body. To znamená, že na konečné řešení nemá tato úprava velký vliv. Řešení bodů, které bylo nutné upravit je vidět v následujících tabulkách.

Tabulka 27: Body, které byly připojeny k více přístupovým bodům.

Klient	2049	2803	3 347	3522	3 964
1097	12 260 046,98	ALT- 0	-	24 049 924,47	-
1345	9 627 883,38	-	-	-	16 058 296,30
1806	-	18 452 302,26	-	45 407 528,24	-
4536	-	-	40 483 766,31	-	6 315 598,32

Požadavky klienta, které byly dodány od více přístupových míst, byly sloučeny k jednomu přístupovému místu, metodou přičtení menší hodnoty k větší. Konkrétně u klienta číslo 1097 se k hodnotě 24 049 924,47 u přístupového bodu 3522 přičetla hodnota 12 260 046,98 z přístupového bodu číslo 2049, výsledné řešení je tedy 36 309 971,45

a připojení na přístupový bod číslo 3522. Konečné řešení, konkrétních upravených bodů je vidět v Tabulka 28.

Tabulka 28: Konečné řešení konkrétních upravených bodů.

klient	2049	2803	3347	3522	3964
1097	-	ALT- 0	-	36 309 971,45	-
1345	-	-	-	-	25 686 179,68
1806	-	-	-	63 859 830,50	-
4536	-	-	46 799 364,64	-	-

Při úpravě pomocí Dantzigova uzavřeného obvodu nebylo u všech bodů nalezeno dostatečně dobré řešení, které by rozložení požadavku mezi dvěma body změnilo, tak že by se hodnota na jednom přístupovém bodu téměř vynulovala. Upravené optimální řešení pro všechny body je tabulce (příloha 6)

Tabulka 29: Počet připojených klientů k jednotlivým přístupovým bodům.

Přístupový bod	Počet připojených klientů
2049	7
2803	12
3347	10
3522	10
3964	12

5.1. Porovnání původní situace a nového optimálního řešení

Ačkoliv to na první pohled není zřejmé, po podrobnějším prohlédnutí řešení zobrazeném na

Obrázek 9u 9 lze vidět, že rozložení je skutečně optimální. Nové rozložení tak lépe umožňuje připojovat rovnoměrně další klienty do stávající sítě a je zároveň omezeno přetížení sítě.

Optimální řešení lze také porovnat matematicky, a to pomocí hodnoty účelové funkce. Účelová funkce byla vypočítána jako součin matice vzdáleností a objemu stahovaných dat pro určitého klienta. To znamená, že hodnota objemu stahovaných dat jednotlivého klienta byla vynásobena příslušnou hodnotou vzdálenosti od klienta k danému přístupovému bodu a tyto součiny pak byly sečteny přes všechna i a j (přes všechny klienty a přístupové body). Hodnotu účelové funkce nelze logicky interpretovat, ale zajišťuje nám optimální rozložení a to, že klient, který stahuje velké objemy dat, bude při kolizi s klientem s malým objemem stahovaných dat upřednostněn a připojen k bližšímu přístupovému bodu.

Hodnota účelové funkce optimálního řešení vypočítaného doplňkem MS Excel Dumkosa byla 437 381 102 998,19. Po úpravě řešení, tak aby byl každý klient připojen k právě jednomu přístupovému bodu, je hodnota účelové funkce 441 440 138 296,85. Lze tedy prostým odečtením dopočítat, že se hodnota účelové funkce po přesunu rozdělených požadavků klientů zhoršila o 4 059 035 298,66. Po porovnání byla vypočítána i hodnota účelové funkce pro současné řešení, tedy současný stav rozdělení klientů k přístupovým bodům. Hodnota této účelové funkce je 609 535 639 974,9. Lze tedy jednoznačně říci, že podle hodnoty účelové funkce je nové řešení lepší, neboť hodnota účelové funkce klesla o 168 095 501 678,06.

5.2. Rozšíření algoritmu na celou síť Airwebu

V případě rozšíření na celou síť společnosti Airweb, by bylo třeba celý postup upravit či upravit optimalizaci pro celou síť. Algoritmus, který se stará o splnění cíle práce, případně jeho modifikovaná verze, která bude schopna pracovat se všemi zákazníky Airwebu, bude rovněž muset vypořádat s košatou stromovou strukturou, která se v síti Airweb vyskytuje. Uzly tohoto stromu mají typicky rozdílnou výšku a jednotlivé přístupové body jsou na sebe hierarchicky navázané, tudíž pozbývá smysl snaha o rovnoměrné rozložení zátěže mezi všechny uzly sítě.

Algoritmus by měl taktéž brát v potaz fakt, že není možné připojit jakéhokoliv zákazníka k libovolnému přístupovému bodu. Takovému počínání brání fyzikální omezení sítě Wi-Fi diskutované v kapitole 3.2. Jedná se o omezený dosah wifi signálu a také o rušení tohoto signálu v důsledku omezené viditelnosti mezi propojenými body. Omezený dosah Wi-Fi signálu pak není problém detekovat, jelikož na základě geografických koordinátů bodů lze spočítat jejich vzájemnou vzdálenost a v případě, že přesahuje limity technologie Wi-Fi, neumožnit tvorbu takového propojení. Rušení signálu v důsledku omezené viditelnosti již tak snadno detekovat nelze a bylo by tedy nejspíš nutné pro každý bod určit přípustnou množinu přístupových bodů, na které se tento zákazník může připojit.

Optimalizaci celé sítě společnosti lze řešit odděleně po jednotlivých městech či vesnicích. Tímto způsobem není nutné měnit samotný algoritmus výpočtu, který by jinak nebylo možné využít kvůli technickým omezením doplňku MS Excel Dumkosa. Konkrétně se jedná o omezení vstupní matice, která může dosahovat maximální velikosti 100*100 buněk. Dalším argumentem, proč řešit globalizaci řešení tímto způsobem, jsou výše diskutované problémy s dosahem Wi-Fi signálu.

5.2.1. Nárůst počtu bodů

V kapitole Výběr testovacích dat jsou detailně rozebrány systémové nároky vyplývající z požadavků na ukládání záznamů potřebných pro splnění cílů diplomové

práce. Ze závěrů této kapitoly vyplývá, že uložení dat potřebných pro výpočty by měsíčně vyžadovalo cca 2,5 GB databázového prostoru a uložení 80 640 000 záznamů.

Výše uvedené množství záznamů by bylo možné snížit pomocí filtrace zanedbatelných záznamů ještě před jejich uložením. Mezi takové záznamy lze zařadit např. NTP pakety probrané ve stejnojmenné kapitole 4.3.2.

Sofistikovanějším řešením databázové zátěže by pak mohla být kategorizace zákazníků do skupin probraných v kapitole 4.3.3. Každý zákazník by pak mohl být reprezentován svým typem a doplňkovým intervalem o konstantní velikosti. S pomocí těchto dvou informací by pak mělo být teoreticky možné rozložit zátěž v síti tak, aby nedocházelo přetěžování některých jejích uzlů.

6. Závěr

Cílem této práce bylo rovnoměrně rozdělit zákazníky k přístupovým bodům tak, aby bylo nedocházelo k přetěžování sítě a ke zpomalení internetového připojení u žádného zákazníka. Za tímto účelem byla navržena nová síť, která by měla minimalizovat výkyvy a případné výpadky připojení.

Praktická část práce byla zahájena sběrem dat pro všechny klienty ve vybrané testovací lokalitě. Tento sběr probíhal po dobu jednoho měsíce, a to 24 hodin denně v 5minutových intervalech. Po ukončení sběru byla veškerá data zanalyzována a popsána. Na základě analýzy byla vybrána pro každého klienta jedna charakteristická hodnota, která znázorňovala jeho aktivitu na Internetu.

Nová síť byla vytvořena pomocí úlohy o dopravním problému. Optimální řešení bylo vypočítáno na základě charakteristické hodnoty objemu stažených dat pro každého klienta a matice vzdáleností klienta k jednotlivým přístupovým bodům. Účelovou funkcí byla pro tuto úlohu minimalizace součinu matice vzdáleností a vektoru charakteristické hodnoty objemu stažených dat sečtených přes všechny j a i . Pro rovnoměrné rozložení byla přidána podmínka kapacity jednotlivých přístupových bodů. Tato kapacita byla spočtena jako zatížení přístupového bodu v případě, že by všechny body byly zatíženy stejně (tedy průměrné zatížení přístupového bodu).

Výpočet byl po stanovení výchozího řešení pomocí Mayerovy metody proveden pomocí doplňku MS Excel Dumkosa. Pro konečné optimální řešení bylo třeba výsledné řešení z Dumkosa ručně upravit, aby řešení splňovalo podmínku, že každý klient je připojen k právě jednomu přístupovému bodu.

Konečné optimální řešení bylo zaneseno do mapy pro lepší vizuální představu výsledného rozložení. Toto řešení bylo dále porovnáno s původním rozložením, a to na základě hodnoty účelové funkce, která byla pro původní řešení také vypočtena, a pomocí vizuálního porovnání obou situací. Nejpodstatnějším kritériem pro zhodnocení nového řešení však bylo rovnoměrné rozložení klientů mezi přístupové body. Díky rovnoměrnému rozložení je totiž síť zatěžována rovnoměrně a lze do ní připojovat nové klienty.

Popsaný algoritmus by bylo možné s určitými úpravami použít i na celou síť Airwebu. Tyto úpravy vyžaduje technické provedení doplňku MS Excel Dumkosa, jež není přizpůsobená pro řešení tak obsáhlých úloh. Druhá možnost rozšíření algoritmu spočívá v optimalizaci sítě po jednotlivých geografických lokalitách, které svojí velikostí nepřesahují možnosti doplňku Dumkosa.

7. Seznam použité literatury

1. HORSKÝ, Radek. 2006. Bezdrátové sítě Wi-Fi v rekordním čase. 1. vyd. Praha: Grada, 84 s. V rekordním čase. ISBN 80-247-1790-5.
2. TRULOVE, James. 2009. Sítě LAN: hardware, instalace a zapojení. 1. vyd. Praha: Grada, 384 s. V rekordním čase. ISBN 978-80-247-2098-2.
3. JABLONSKÝ, Josef. 2002. Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. 2. vyd. Praha: Professional Publishing, 323 s. ISBN 80-864-1942-8.
4. LAGOVÁ, Milada a Josef JABLONSKÝ. 2009. Lineární modely. 2. vyd. Praha: Oeconomica, 302 s. ISBN 978-80-245-1511-3.
5. JABLONSKÝ, Josef. 2011. Programy pro matematické modelování. 2. vyd. Praha: Oeconomica, 258 s. ISBN 978-80-245-1810-7.
6. HORÁK, Jaroslav, Milan Keršláger. 2006. Počítačové sítě pro začínající správce. 3. vyd. Brno: ComputerPress, a.s., 209 s., ISBN 80-251-0892-9.
7. PŘÍHODA, Petr. 2007. Počítačové sítě

Online zdroje

8. Bajt.in Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. strana neposledy edit. 2016-02-10. [cit. 2016-03-15]. Dostupný z WWW: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bajt#N.C3.A1sobky_a_u.C5.BE.C3.ADvan.C3.A9_p.C5.99edpony
9. Historie Internetu. Jak na internet [online]. © 2012 - 2014 CZ.NIC, z. s. p. o. [cit. 2016-02-25]. Dostupný z WWW: <http://www.jaknainternet.cz/page/1205/historie-internetu/>
10. Struktura Internetu. Jak na internet [online]. © 2012 - 2014 CZ.NIC, z. s. p. o. [cit. 2016-02-25]. Dostupný z WWW: <http://www.jaknainternet.cz/page/1205/historie-internetu/>

11. Ubiquiti Networks. UBNT PowerBeam ISO 5 GHz (300 MM) [online]. © 2016 Ubiquiti Networks, [cit. 2016-03-25]. Dostupný z WWW: <https://www.ubnt.com/airmax/powerbeam-m5-iso/>
12. Ubiquiti Networks. UBNT Rocket M5 5 GHz [online]. © 2016 Ubiquiti Networks, [cit. 2016-03-25]. Dostupný z WWW: <https://www.ubnt.com/airmax/rocketm/>
13. Ubiquiti Networks. UBNT LocoM 5GHz [online]. © 2016 Ubiquiti Networks, [cit. 2016-03-25]. Dostupný z WWW: <https://www.ubnt.com/airmax/nanostationm/>
14. Ubiquiti Networks. UBNT PowerBeam 5 GHz [online]. © 2016 Ubiquiti Networks, [cit. 2016-03-25]. Dostupný z WWW: <https://www.ubnt.com/airmax/powerbeam/>
15. Open Source initiative. Open source [online] [cit. 2016-03-13]. Dostupný z WWW: <https://opensource.org/>
16. Telura Tecnology. Firebirdmanual [online]. Telura Tecnology, S.L. © 2009 [cit. 2016-03-13]. Dostupný z WWW: <http://www.firebirdmanual.com/firebird/en/firebird-manual/2/limites-de-firebird/36>
17. Otázky – ulož to. Ulož to [online].[cit. 2016-03-13]. Dostupný z WWW: <http://uloz.to/faq>
18. VÁCLAVÍK. Lukáš. 19.2.2015 článek: Webové stránky se loni zvětšily o 24 %. Klesá počet i velikost flashových prvků [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupný z WWW: www.cnews.cz/webove-stranky-se-loni-zvetsily-o-24-klesa-pocet-i-velikost-flashovych-prvku

8. Přílohy

Příloha 1: Tabulka vzdáleností mezi klienty a přístupovými body.

Klient	2049	2803	3347	3522	3964
224	223	189	413	190	412
225	68	337	374	338	373
226	454	109	418	109	417
321	288	464	90	465	89
322	360	242	223	243	222
324	420	522	77	523	78
326	646	1041	795	1042	795
330	351	698	379	699	378
757	680	710	326	710	327
803	392	13	438	13	437
864	392	13	438	13	437
921	358	42	437	42	436
1095	279	297	156	298	154
1096	363	116	340	117	339
1097	96	303	361	303	360
1286	175	224	374	225	373
1345	873	1269	1032	1270	1031
1352	107	292	321	292	319
1806	373	144	320	144	319
1916	216	226	447	227	446
1996	455	849	687	850	686
2022	447	661	225	662	226
2059	392	13	438	13	437
2244	34	415	334	416	333
2245	314	606	251	607	251
2302	438	834	637	835	637
2403	68	462	397	463	396
2535	313	709	550	710	549
2891	210	308	503	308	501
3185	246	232	486	232	484
3333	96	303	361	303	360
3390	337	87	363	88	362
3399	179	304	472	305	471
3491	338	313	142	314	141
3519	428	811	538	812	537
4095	274	161	454	161	453

4184	290	542	179	543	179
4536	642	1036	780	1037	780
5241	357	428	27	428	27
5268	351	698	379	699	378
5366	680	710	326	710	327
5547	416	417	98	418	98
5657	549	566	194	567	195
6088	128	269	352	270	351
6267	333	587	201	588	201
7368	403	421	80	422	80
7638	284	459	91	460	90
7645	392	13	438	13	437
7646	392	13	438	13	437
7833	468	541	115	542	117
8375	68	462	397	463	396

Příloha 2: Řešení vypočítané Mayerovou metodou

Klient	2049	2803	3347	3522	3964	průměr odběru bodů
224				18803394,09		18803394,09
225	135024014,4					135024014,4
226				49578531,53		49578531,53
321					22042655,78	22042655,78
322					55406410,78	55406410,78
324			81627953,77			81627953,77
326					33024735,05	33024735,05
330					36474324,28	36474324,28
757			5 029 013			5029013
803				25377602,93		25377602,93
864				22759627,1		22759627,1
921				91223299,44		91223299,44
1095					38167827,51	38167827,51
1096				19295102,25		19295102,25
1097	36309971,45					36309971,45
1286		46237308,38				46237308,38
1345					25686179,68	25686179,68
1352		28510652,72				28510652,72
1806				63859830,5		63859830,5
1916		35357705,52				35357705,52
1996	83424197,48					83424197,48
2022					18544304,42	18544304,42
2059		26718158,13				26718158,13
2244	43502794,48					43502794,48
2245					36204945,68	36204945,68
2302					44138810,02	44138810,02
2403	24477702,88					24477702,88
2535	29710864,23					29710864,23
2891		25642183,65				25642183,65
3185		68079395,22				68079395,22
3333	25191330,16					25191330,16
3390		42751967,78				42751967,78
3399		61187349,27				61187349,27
3491			44788188,84			44788188,84
3519			47113449,74			47113449,74
4095				24220435,09		24220435,09
4184					22895753,13	22895753,13
4536			46799364,64			46799364,64
5241		38389863,07				38389863,07
5268					31242276,81	31242276,81
5366			22318375,93			22318375,93

5547			25070016			25070016
5657			12466493,5			12466493,5
6088		33668497,5				33668497,5
6267				13912654		13912654
7368					49108416,56	49108416,56
7638				35714759,67		35714759,67
7645				186 517		186517
7646				20691430,29		20691430,29
7833			131802986,1			131802986,1
8375	22232013,06					22232013,06
suma	399872888,1	406543081,2	411986828,5	385436666,9	412936639,7	2021991634
kapacity	404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9	

Příloha 3: Optimální řešení vypočítané řešitelem

Dumkosa

Hodnota účelové funkce: 437 381 102 998,19

	2049	2803	3347	3522	3964	
224	0	18803394,09	0	0	0	18803394,09
225	135024014,4	0	0	0	0	135024014,4
226	0	ALT- 0	0	49578531,53	0	49578531,53
321	0	0	0	0	22042655,78	22042655,78
322	0	55406410,78	0	0	0	55406410,78
324	0	0	81627953,77	0	0	81627953,77
326	0	0	33024735,05	0	ALT- 0	33024735,05
330	0	0	0	0	36474324,28	36474324,28
757	0	0	5029013	0	0	5029013
803	0	ALT- 0	0	25377602,93	0	25377602,93
864	0	ALT- 0	0	22759627,1	0	22759627,1
921	0	ALT- 0	0	91223299,44	0	91223299,44
1095	0	0	0	0	38167827,51	38167827,51
1096	0	19295102,25	0	0	0	19295102,25
1097	12260046,98	ALT- 0	0	24049924,47	0	36309971,45
1286	0	46237308,38	0	0	0	46237308,38
1345	9627883,382	0	0	0	16058296,3	25686179,68
1352	0	ALT- 0	0	28510652,72	0	28510652,72
1806	0	18452302,26	0	45407528,24	0	63859830,5
1916	0	35357705,52	0	0	0	35357705,52
1996	83424197,48	0	0	0	0	83424197,48
2022	0	0	18544304,42	0	0	18544304,42
2059	0	26718158,13	0	ALT- 0	0	26718158,13
2244	43502794,48	0	0	0	0	43502794,48
2245	0	0	36204945,68	0	ALT- 0	36204945,68
2302	44138810,02	0	0	0	0	44138810,02
2403	24477702,88	0	0	0	0	24477702,88
2535	29710864,23	0	0	0	0	29710864,23
2891	0	25642183,65	0	ALT- 0	0	25642183,65
3185	0	ALT- 0	0	68079395,22	0	68079395,22
3333	ALT- 0	ALT- 0	0	25191330,16	0	25191330,16
3390	0	42751967,78	0	0	0	42751967,78
3399	0	61187349,27	0	0	0	61187349,27
3491	0	0	0	0	44788188,84	44788188,84
3519	0	0	0	0	47113449,74	47113449,74
4095	0	ALT- 0	0	24220435,09	0	24220435,09

4184	0	0	22895753,13	0	ALT- 0	22895753,13
4536	0	0	40483766,31	0	6315598,323	46799364,64
5241	0	0	ALT- 0	0	38389863,07	38389863,07
5268	0	0	0	0	31242276,81	31242276,81
5366	0	0	22318375,93	0	0	22318375,93
5547	0	0	ALT- 0	0	25070016	25070016
5657	0	0	12466493,5	0	0	12466493,5
6088	0	33668497,5	0	0	0	33668497,5
6267	0	0	ALT- 0	0	13912654	13912654
7368	0	0	ALT- 0	0	49108416,56	49108416,56
7638	0	0	0	0	35714759,67	35714759,67
7645	0	186517	0	ALT- 0	0	186517
7646	0	20691430,29	0	ALT- 0	0	20691430,29
7833	0	0	131802986,1	0	0	131802986,1
8375	22232013,06	0	0	0	0	22232013,06
404398326,9		404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9	

Příloha 4: Tabulka perspektivity tras

	2049	2803	3347	3522	3964	
224	241	0	273	1	272	0
225	0	62	148	63	147	86
226	552	0	358	0	357	-80
321	357	326	1	327	0	-51
322	325	0	30	1	29	53
324	501	396	0	397	1	-63
326	9	197	0	198	0	655
330	131	271	1	272	0	238
757	512	335	0	335	1	186
803	586	0	474	0	473	-176
864	586	0	474	0	473	-176
921	523	0	444	0	443	-147
1095	283	94	2	95	0	14
1096	454	0	273	1	272	-73
1097	0	0	107	0	106	114
1286	158	0	199	1	198	35
1345	0	189	1	190	0	891
1352	22	0	78	0	76	103
1806	436	0	225	0	224	-45
1916	197	0	270	1	269	37
1996	0	187	74	188	73	473
2022	380	387	0	388	1	85
2059	586	0	474	0	473	-176
2244	0	174	142	175	141	52
2245	221	306	0	307	0	111
2302	0	189	41	190	41	456
2403	0	187	171	188	170	86
2535	0	189	79	190	78	331
2891	109	0	244	0	242	119
3185	221	0	303	0	301	43
3333	0	0	107	0	106	114
3390	457	0	325	1	324	-102
3399	82	0	217	1	216	115
3491	355	123	1	124	0	1
3519	49	225	1	226	0	397
4095	320	0	342	0	341	-28
4184	269	314	0	315	0	39
4536	20	207	0	208	0	640
5241	488	352	0	352	0	-113
5268	131	271	1	272	0	238
5366	512	335	0	335	1	186
5547	476	270	0	271	0	-42

5657	513	323	0	324	1	54
6088	66	0	132	1	131	80
6267	290	337	0	338	0	61
7368	481	292	0	293	0	-60
7638	352	320	1	321	0	-50
7645	586	0	474	0	473	-176
7646	586	0	474	0	473	-176
7833	511	377	0	378	2	-25
8375	0	187	171	188	170	86
	-18	189	140	189	140	

Příloha 5: Maximální kapacity tras

	2049	2803	3347	3522	3964	
224	12260046,98	18803394,09	12260046,98	18803394,09	12260046,98	18803394,1
225	135024014,4	18452302,26	16058296,3	24049924,47	16058296,3	135024014
226	12260046,98	18452302,26	12260046,98	49578531,53	12260046,98	49578531,5
321	9627883,382	9627883,382	22042655,78	9627883,382	22042655,78	22042655,8
322	12260046,98	55406410,78	12260046,98	45407528,24	12260046,98	55406410,8
324	6315598,323	6315598,323	81627953,77	6315598,323	6315598,323	81627953,8
326	6315598,323	6315598,323	33024735,05	6315598,323	6315598,323	33024735
330	9627883,382	9627883,382	36474324,28	9627883,382	36474324,28	36474324,3
757	5029013	5029013	5029013	5029013	5029013	5029013
803	12260046,98	18452302,26	12260046,98	25377602,93	12260046,98	25377602,9
864	12260046,98	18452302,26	12260046,98	22759627,1	12260046,98	22759627,1
921	12260046,98	18452302,26	12260046,98	91223299,44	12260046,98	91223299,4
1095	9627883,382	9627883,382	38167827,51	9627883,382	38167827,51	38167827,5
1096	12260046,98	19295102,25	12260046,98	19295102,25	12260046,98	19295102,2
1097	12260046,98	18452302,26	12260046,98	24049924,47	12260046,98	36309971,4
1286	12260046,98	46237308,38	12260046,98	45407528,24	12260046,98	46237308,4
1345	9627883,382	9627883,382	16058296,3	9627883,382	16058296,3	25686179,7
1352	12260046,98	18452302,26	12260046,98	28510652,72	12260046,98	28510652,7
1806	12260046,98	18452302,26	12260046,98	45407528,24	12260046,98	63859830,5
1916	12260046,98	35357705,52	12260046,98	35357705,52	12260046,98	35357705,5
1996	83424197,48	18452302,26	16058296,3	24049924,47	16058296,3	83424197,5
2022	6315598,323	6315598,323	18544304,42	6315598,323	6315598,323	18544304,4
2059	12260046,98	26718158,13	12260046,98	26718158,13	12260046,98	26718158,1
2244	43502794,48	18452302,26	16058296,3	24049924,47	16058296,3	43502794,5
2245	6315598,323	6315598,323	36204945,68	6315598,323	6315598,323	36204945,7
2302	44138810,02	18452302,26	16058296,3	24049924,47	16058296,3	44138810
2403	24477702,88	18452302,26	16058296,3	24049924,47	16058296,3	24477702,9
2535	29710864,23	18452302,26	16058296,3	24049924,47	16058296,3	29710864,2
2891	12260046,98	25642183,65	12260046,98	25642183,65	12260046,98	25642183,6
3185	12260046,98	18452302,26	12260046,98	68079395,22	12260046,98	68079395,2
3333	12260046,98	18452302,26	12260046,98	25191330,16	12260046,98	25191330,2
3390	12260046,98	42751967,78	12260046,98	42751967,78	12260046,98	42751967,8
3399	12260046,98	61187349,27	12260046,98	45407528,24	12260046,98	61187349,3
3491	9627883,382	9627883,382	40483766,31	9627883,382	44788188,84	44788188,8
3519	9627883,382	9627883,382	40483766,31	9627883,382	47113449,74	47113449,7
4095	12260046,98	18452302,26	12260046,98	24220435,09	12260046,98	24220435,1
4184	6315598,323	6315598,323	22895753,13	6315598,323	6315598,323	22895753,1
4536	6315598,323	6315598,323	40483766,31	6315598,323	6315598,323	46799364,6
5241	9627883,382	9627883,382	38389863,07	9627883,382	38389863,07	38389863,1
5268	9627883,382	9627883,382	31242276,81	9627883,382	31242276,81	31242276,8
5366	6315598,323	6315598,323	22318375,93	6315598,323	6315598,323	22318375,9
5547	9627883,382	9627883,382	25070016	9627883,382	25070016	25070016

5657	6315598,323	6315598,323	12466493,5	6315598,323	6315598,323	12466493,5
6088	12260046,98	33668497,5	12260046,98	33668497,5	12260046,98	33668497,5
6267	9627883,382	9627883,382	13912654	9627883,382	13912654	13912654
7368	9627883,382	9627883,382	40483766,31	9627883,382	49108416,56	49108416,6
7638	9627883,382	9627883,382	35714759,67	9627883,382	35714759,67	35714759,7
7645	186517	186517	186517	186517	186517	186517
7646	12260046,98	20691430,29	12260046,98	20691430,29	12260046,98	20691430,3
7833	6315598,323	6315598,323	131802986,1	6315598,323	6315598,323	131802986
8375	22232013,06	18452302,26	16058296,3	22232013,06	16058296,3	22232013,1
	404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9	404398326,9

Příloha 6: Upravené konečné optimální řešení

	2049	2803	3347	3522	3964
224	0	18803394,09	0	0	0
225	135024014,4	0	0	0	0
226	0	0	0	49578531,53	0
321	0	0	0	0	22042655,78
322	0	55406410,78	0	0	0
324	0	0	81627953,77	0	0
326	0	0	33024735,05	0	0
330	0	0	0	0	36474324,28
757	0	0	5029013	0	0
803	0	0	0	25377602,93	0
864	0	0	0	22759627,1	0
921	0	0	0	91223299,44	0
1095	0	0	0	0	38167827,51
1096	0	19295102,25	0	0	0
1097	0	0	0	36309971,45	0
1286	0	46237308,38	0	0	0
1345	0	0	0	0	25686179,68
1352	0	0	0	28510652,72	0
1806	0	0	0	63859830,5	0
1916	0	35357705,52	0	0	0
1996	83424197,48	0	0	0	0
2022	0	0	18544304,42	0	0
2059	0	26718158,13	0	0	0
2244	43502794,48	0	0	0	0
2245	0	0	36204945,68	0	0
2302	44138810,02	0	0	0	0
2403	24477702,88	0	0	0	0
2535	29710864,23	0	0	0	0
2891	0	25642183,65	0	0	0
3185	0	0	0	68079395,22	0
3333	0	0	0	25191330,16	0
3390	0	42751967,78	0	0	0
3399	0	61187349,27	0	0	0
3491	0	0	0	0	44788188,84
3519	0	0	0	0	47113449,74
4095	0	0	0	24220435,09	0
4184	0	0	22895753,13	0	0
4536	0	0	46799364,64	0	0
5241	0	0	0	0	38389863,07
5268	0	0	0	0	31242276,81
5366	0	0	22318375,93	0	0
5547	0	0	0	0	25070016

5657	0	0	12466493,5	0	0
6088	0	33668497,5	0	0	0
6267	0	0	0	0	13912654
7368	0	0	0	0	49108416,56
7638	0	0	0	0	35714759,67
7645	0	186517	0	0	0
7646	0	20691430,29	0	0	0
7833	0	0	131802986,1	0	0
8375	22232013,06	0	0	0	0
	382510396,5	385946024,6	410713925,2	435110676,1	407710611,9

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Standardy pro bezdrátové LAN sítě (6)	11
Tabulka 2: Vlastnosti antény typu UBNT PowerBeam ISO 5 GHz (11)	21
Tabulka 3: Vlastnosti antény typu UBNT Rocket M5 5 GHz (12)	23
Tabulka 4: Vlastnosti antény typu UBNT LocoM5 5 GHz (13)	24
Tabulka 5: Vlastnosti antény typu UBNT PowerBeam 5 GHz (300 MM) (14).....	25
Tabulka 6: Pravidla pro agregování dat.	27
Tabulka 7: Počet ukládaných záznamů pro možná období ukládání dat.	28
Tabulka 8: Diskový prostor potřebný pro uložení jednoho záznamu do databáze.	28
Tabulka 9: Ověření limitů databáze a potřebného místa na disku pro zvolené časové intervaly.	29
Tabulka 10: Množství potřebného datového prostoru pro uložení dat.	30
Tabulka 11: Výběr vhodného intervalu pro měření ve vesnici Chudenice.....	30
Tabulka 12: Nabízené lokality v první fázi výběru.	31
Tabulka 13: Souhrnné výsledky oprav dat zadavatele.....	33
Tabulka 14: Počet záznamů pro jednotlivé klienty.....	39
Tabulka 15: Záznamy pro klienta 6267.	40
Tabulka 16: Statistické hodnoty pro klienta 6267.	41
Tabulka 17: Extrémní hodnoty pro klienta 6267.	41

Tabulka 18: Upravená data pro výpočet průměru.	43
Tabulka 19: Upravené průměry pro jednotlivé klienty.....	43
Tabulka 20: Hodnoty pro výpočet optimálního řešení.	48
Tabulka 21: Ukázka z optimálního řešení	52
Tabulka 22: Ukázka z tabulky analýzy perspektivity tras.	53
Tabulka 23: Ukázka z tabulky propustnosti tras.....	54
Tabulka 24: Ukázka případu, kdy je jeden klient obsloužen dvěma přístupovými body.	55
Tabulka 25 – Ukázka Dantzigova obvodu.....	55
Tabulka 26: Výsledek po přesunu pomocí Dantzigova obvodu.	56
Tabulka 27: Body, které byly připojeny k více přístupovým bodům.	56
Tabulka 28: Konečné řešení konkrétních upravených bodů.....	57
Tabulka 29: Počet připojených klientů k jednotlivým přístupovým bodům.	57

Seznam grafů

Graf 1: Počet všech záznamů testovacích zákazníků.....	34
Graf 2: Počet všech záznamů a počet záznamů s konstantou 76 bytů.	35
Graf 3: počet záznamů kde daní klienti stahují tak, jako by stahovali plnou rychlostí bez zaplaceného účtu (300 KB/s).....	37
Graf 4 : Počet všech naměřených záznamů vs. počet záznamů pod 1MB.....	37
Graf 5: Počet všech naměřených záznamů vs. Počet záznamů pod 1 889 KB.	38
Graf 6: Objem stahování ukázkového bodu dle času.	42

Seznam obrázků

Obrázek 1: UBNT PowerBeam ISO 5 GHz (300 MM).....	22
Obrázek 2: UBNT Rocket M5 5 GHz	23
Obrázek 3: UBNT LocoM5 5 GHz.....	24
Obrázek 4: UBNT PowerBeam 5 GHz (300 MM).....	25
Obrázek 5: Ukázka služeb Airwebu – statistika přijatých a odeslaných dat.	26
Obrázek 6: Vizualizace původního rozložení bodů.	32
Obrázek 7: Ukázka okna pro vložení hodnot k výpočtu.....	50
Obrázek 8: Ukázka okna s výběrem výstupu řešení.	51
Obrázek 9: Znázornění nového připojení klientů k přístupovým bodům.	58