



VERKKOLIIKENTEN RIVERBED STEELHEAD - OPTIMOINTI

Tiedonsiirto simuloitussa laajaverkossa

Teemu Sujamo

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011
Tietojenkäsittely
Tietoverkkopalvelut
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietojenkäsittely, Tietoverkkopalveluiden suuntautumisvaihtoehto

SUJAMO, TEEMU: Verkkoliikenteen Riverbed Steelhead -optimointi
Tiedonsiirto simuloidussa laajaverkossa

Opinnäytetyö 56 s., liitteet 28 s.
Huhtikuu 2011

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia Riverbed Steelhead -verkkolaitteiden tiedonsiirron optimointikykyä laajaverkossa. Steelheadit ovat verkkoliikenteen optimointiin kehitetty laitesarja. Verkkoliikenteen optimoiminen on tekniikka, jolla rajallisia verkon resursseja saadaan hyödynnettyä paremmin ja näin verkkoliikennettä kiihdytettyä. Se on toimiva ratkaisu kun halutaan vastata verkon ongelmiin, jotka johtuvat alhaisesta kaistanleveydestä sekä korkeista vasteajoista. Opinnäytetyö tehdään Fujitsu Services Oy:n toimeksiantona.

Työn teoriaosuudessa esitellään yleisellä tasolla optimoinnin tarkoitus ja optimointimenetelmiä sekä työn suorittamisessa käytetyt tekniikat. Taustateoria painottuu Riverbedin laite- ja käyttömanuaaleihin, sekä verkkotekniikoita käsittelevään kirjallisuuteen ja verkkolähteisiin. Työn käytännön osuudessa esitellään ja suoritetaan tarvittavat mittaukset. Mittausten avulla saadaan tutkimuskysymyksen kannalta oleellinen aineisto, jonka perusteella laitteiden optimointikykyä tutkitaan.

Tutkimus tehdään suorittamalla mittaussarjoja simuloidussa laajaverkossa jonka metriikoita muutetaan sarjojen välissä. Mittausten kautta on tarkoitus selvittää kuinka tehokkaasti Steelheadit optimoivat liikennettä ja miten laajaverkon linjanopeus, vasteaika, ja siirrettävän tiedoston tyyppi vaikuttavat optimointitiehen.

Saaduista tuloksista havaitaan, että Steelheadien käyttöönotto verkossa tehostaa tiedonsiirtoa. Tiedonsiirron optimoiminen laskee siirtoaikoja sekä tehostaa kaistankäyttöä vähentämällä verkon yli kulkevan tiedon määrää. Laitteiston toimintarajojen sisällä optimointi tehostaa tiedonsiirtoa huomattavasti. Suuremmilla linjanopeuksilla tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia, mutta nekin tukevat havaittuja ilmiöitä vasteajan ja tiedostotyypin vaikutuksesta siirtoihin.

Avainsanat: Laajaverkko, Optimointi, Kiihdytys, Tiedonsiirto, Steelhead

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampere University of Applied Sciences Degree Programme in Information Technologies, Specialisation of Computer Networks

SUJAMO TEEMU: Network Traffic Optimization with Riverbed Steelhead File Transfer in Simulated Wide Area Network

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 28 pages
April 2011

The purpose of this thesis was to research the optimization capability of Riverbed Steelheads in wide area network file transfers. Steelheads are networking optimization equipment developed to accelerate the network traffic and applications by improving the use of network resources. WAN optimization is a viable option to solve issues with network performance caused by low bandwidth and high latencies. The thesis was made for Fujitsu Services Oy.

Optimization as concept and standard optimization techniques as well as the technologies used in this research are introduced in theoretic part of the thesis. The theoretic part is based on Riverbed manuals as well as technical documents and literature about networking techniques. Research methods are introduced and carried out in the practical part of the thesis. The use of proper research methods was important in order to collect relevant data for this thesis.

The research was conducted using a series of measurements in a simulated WAN environment where network metrics were changed. The purpose of the measurements was to obtain data about how effectively Steelheads optimize traffic and how changing the network bandwidth, latency and type of transferred file affects optimization.

The collected data suggests that file transfers are improved over unoptimized, regular file transfers with the introduction of Steelhead in the network. File transfer speed improves and the bandwidth usage is lowered when traffic is optimized. Within the bandwidth range of Steelheads, the file transfers are accelerated at a very high rate. Data obtained from the higher bandwidth transfers is not fully compatible but the results support the observations about the effect of latency and type of transferred file have on optimization rates.

Keywords: Wide Area Network, Optimization, Acceleration, File Transfer, Steelhead

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 VERKKOLIIKENTEEN OPTIMOIMINEN	7
2.1 Mitä on laajaverkkoliikenteen optimoiminen?.....	7
2.2 Kiihdyttämistekniikat.....	8
2.2.1 Deduplikointi	9
2.2.2 Pakkaaminen	9
2.2.3 Välimuisti.....	10
2.2.4 Palvelunlaatu	11
2.2.5 Protokollan väärentäminen.....	11
2.2.6 Wide Area File Services	12
2.3 Laajaverkkokiihdyttimet	12
3 KÄYTETYT TEKNIIKAT	14
3.1 Riverbed Steelhead.....	14
3.2 Steelheadin sijoittaminen verkkoon	15
3.2.1 Fyysinen in-path.....	15
3.2.2 Virtuaalinen in-path.....	16
3.2.3 Out-of-path.....	16
3.3 Optimointisäännöt.....	17
3.3.1 In-path -säännöt.....	18
3.3.2 Peering-säännöt	18
3.4 Riverbed Optimization System	19
3.4.1 Tiedon virtaviivaistaminen.....	19
3.4.2 Lähetyksen virtaviivaistaminen	21
3.4.3 Sovellusten virtaviivaistaminen	22
3.4.4 Hallinnan virtaviivaistaminen	22
3.5 Network Nightmare gigEnn	23
4 TUTKIMUS JA MITTAUKSET.....	25
4.1 Tutkimusmenetelmät	25
4.2 Testiverkon ja mittausten valmistelu.....	25
4.2.1 Käytetty laitteisto	26
4.2.2 Kytkenät	26
4.2.3 Mittaustiedostot.....	27

4.2.4 Verkon asetukset mittauksissa.....	28
4.3 Testiverkon käyttö.....	29
4.3.1 Graafinen käyttöliittymä.....	29
4.3.2 WAN-emulaattori.....	30
4.3.3 Tiedostojen siirtäminen.....	31
4.4 Mittaukset.....	31
4.4.1 Optimoimattomat siirrot.....	31
4.4.2 Optimoidut siirrot.....	32
4.4.3 Tiedostonsiirtojen suorittaminen.....	33
4.5 Mittausten tavoite.....	34
5 MITTAUSTULOKSET.....	35
5.1 Yleisiä havaintoja.....	35
5.2 Havainnot optimoiduista siirroista.....	36
5.2.1 Siirtotyypin vaikutus optimointiin.....	36
5.2.2 Linjanopeuden vaikutus optimointiin.....	41
5.2.3 Vasteajan vaikutus optimointiin.....	41
5.2.4 Tiedostotyypin vaikutus optimointiin.....	43
5.3 Optimoitujen siirtojen tulokset.....	44
5.4 Optimoimattomien siirtojen tulokset.....	45
6 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	49
6.1 Odotukset ja havainnot.....	49
6.2 Tulosten pätevyys.....	50
6.3 Jatkokehittely.....	52
7 YHTEENVETO.....	53
LÄHTEET.....	54
LIITTEET.....	56

1 JOHDANTO

Verkkoliikenteen optimoiminen on verkonhallinnan osa-alue, jolla pyritään parantamaan toimivuutta verkkoliikenteen välityksessä. Riverbed on laitevalmistaja, joka tarjoaa ratkaisun laajaverkkojen verkkoliikenteen ongelmiin Steelhead-tuotesarjallaan. Opinnäytetyössä tutkittiin Riverbed Steelheadien verkkoliikenteen optimointitehoa tiedonsiirrossa. Työn tavoitteena oli tuottaa käyttökelpoista tutkimusaineistoa toimeksiantajalle, henkilökohtaisella tasolla oppia verkkoliikenteen optimoitumisen tutkimiseen soveltuvia menetelmiä sekä ymmärtää miten Riverbedin optimointitekniikka toimii.

Työ tehtiin Fujitsu Services Oy:n toimeksiantona. Fujitsu Services Oy tarjoaa asiakasyrityksilleen monimuotoisia verkkopalveluja, joihin kuuluvat myös Riverbed-ratkaisut asiakasyritysten verkkoliikenteen tehostamisessa. Riverbed Steelheadeista on tehty vertailevaa tutkimusta muiden verkkoliikenteen kiihdytystekniikoiden kanssa, mutta tutkimusta verkkoliikenteen tyyppin sekä verkon ominaisuuksien vaikutuksesta Steelheadien optimointitehoon ei ole tehty.

Työ tehtiin kvantitatiivisena tapaustutkimuksena. Benchmarking soveltui parhaiten tutkimusmenetelmäksi, sillä työn tavoitteena oli tuottaa tuloksia joiden perusteella pystyttäisiin arvioimaan Steelheadien optimointitehoa ja optimointitehon muuttumista verkon ominaisuuksia muutettaessa. Tämän lisäksi mittausten kautta saatavia tuloksia täytyi pystyä vertailemaan keskenään.

Tutkimus suoritettiin simuloitussa laajaverkossa todellisen yritysverkon sijaan. Näin toimittiin, koska tietoturvasyistä johtuen toimeksiantaja ei voinut tarjota pääsyä omaan verkkoonsa mittausten tekemistä varten. Tämän lisäksi tarkoitus oli tutkia optimointitehon muuttumista muuttuvissa olosuhteissa, joten parhaiten verkon parametrien muuttaminen onnistui yksinkertaistetussa verkossa, johon voitiin nopeasti simuloida parametreja. Työssä tutkittava liikenteen tyyppi rajattiin tiedostonsiirtoihin, sillä tutkittavien asioiden lisääminen olisi laajentanut työtä liikaa.

2 VERKKOLIIKENTEEEN OPTIMOIMINEN

2.1 Mitä on laajaverkkoliikenteen optimoiminen?

Laajaverkkoliikenteen optimoimisella tai kiihdyttämisellä tarkoitetaan keinoja, joiden avulla vastataan laajaverkon hitauteen tai riittämättömyyteen. Tavallisimmat syyt verkon hitauteen ovat verkon korkeat vasteajat ja rajallinen kaistanleveys. Syinä näihin voivat olla esimerkiksi riittämättömät välitysmediat, pitkät välimatkat, sekä puheliaat protokollat jotka luovat paljon edestakaisia pyyntöjä, vieden kaistaa olennaiselta liikenteeltä.

Verkkoliikenteen hidastuminen johtuu usein siitä, että verkkoon muodostuu ”pullonkauloja”, jolloin verkko tukkeutuu. Tämä on seuraus siitä, kun verkkoliikenteen määrä lähestyy käytössä olevan linjan kapasiteettia. Verkon solmukohtiin, reitittäviin laitteisiin, muodostuu jonoja. Jonojen muodostuminen lisää aikaa joka kuluu pakettien lähtykseen sekä aiheuttaa ylivuotoa jolloin paketteja täytyy pudottaa. (Stallings, 2004, 396-398)

Yritysliikenteen kannalta ongelmana on se, että toiminnalle kriittinen liikenne joutuu kilpailemaan muun liikenteen kanssa verkon resursseista. Verkon kapasiteetin eli kaistan lisääminen on tavallisesti yksinkertaisimmaksi mielletty ratkaisu laajaverkon tukkeutumisesta johtuvaan lähetys- ja vastaanottonopeuksien sekä verkkosovellusten toiminnan hidastumiseen.

Laajaverkon kaistanleveyden lisääminen on kuitenkin kallista sekä suhteellisen tehoton. Tämä johtuu siitä, että tarvittavan verkkoliikenteen määrä kasvaa jatkuvasti, joten kaistanleveyden lisääminen ei välttämättä ole pitkäaikainen ratkaisu. Toisaalta myös kaistan lisääminen ei poista sitä ongelmaa, että tärkeä liikenne edelleen kilpailee muun liikenteen kanssa, ja yrityksen toiminnan kannalta aggressiiviset, ei-kriittiset sovellukset ja protokollat vievät suhteettoman suuren osan käytössä olevasta kaistasta. (Ashton, Metzler & Associates, 2002, 3)

Toisaalta verkon toiminta voi olla hidasta korkean vasteajan takia. Verkon vasteaika, eli aika joka kuluu paketilta siirtyä alkupisteestä päätepisteeseen ja takaisin, vaikuttaa merkittävästi verkkoliikenteen toimintaan. Korkea vasteaika hidastaa verkon yli tehtäviä toimintoja. Se haittaa erityisen paljon ison määrän edestakaisia yhteyksiä muodostavaa liikennettä, sillä kunkin yhteyden hyväksymisen odottaminen vastapuolelta pidentää odotusaikoja. (Dorairajan, 2004)

Verkkoliikenteen optimoiminen vastaa laajaverkon ongelmiin parantamalla käytössä olevan verkon suorituskykyä ilman, että verkon nopeutta joudutaan kasvattamaan. Optimoinnin avulla vähennetään verkon yli siirtyvän tiedon määrää, vähennetään tarvittavien TCP-yhteyksien määrää, tehostetaan sovellusten toimintaa, sekä virtaviivaistetaan tiedon siirtymistä. (WAN Optimization.org 1)

2.2 Kiihdyttämistekniikat

Verkkoliikenteen kiihdyttämiseen on useita keinoja. Ne vastaavat verkkoliikenteen ongelmiin ja parantavat suorituskykyä muun muassa vähentämällä ylimääräisiä lähetyksiä, tehostamalla kaistankäyttöä ja pienentämällä verkkoviiveen vaikutusta. Näitä keinoja ovat muun muassa deduplikointi, tiedon pakkaaminen, välimuistin hyödyntäminen, tiedon priorisoiminen, protokollien virtaviivaistaminen ja tekniikat kuten Wide Area File Services (WAFS).

Kiihdyttämiseen kehitetyt tekniikat eivät välttämättä rajoitu yhden osa-alueen parantamiseen ja eri keinot vastaavat samaan ongelmaan eri tavoin. Tekniikat, joilla saavutetaan tehostettua kaistankäyttöä saattavat myös parantaa verkkoviiveongelmia. Esimerkiksi välimuistien hyödyntäminen vähentää kuormaa kaistankäytössä, sillä ne tuovat palvelut lähemmäksi käyttäjää ja tämä näkyy lyhentyneinä vasteaikoina. Toiset ratkaisumallit saattavat soveltua yhden yrityksen tarpeisiin paremmin kuin toisen, sillä samoihin ongelmiin kehitetyt optimointikeinot toimivat eri tavoin. (WAN Optimization.org 2)

2.2.1 Deduplikointi

Deduplikointimenetelmät ovat prosesseja, joilla vähennetään verkon yli siirrettävän tiedon määrään. Sen avulla poistetaan ylimääräisiä kopioita tiedostoista, sekä lähetetään viittemerkintöjä verkon yli todellisen tiedon sijaan. Koska lähetettävän tiedon määrä vähenee, vähenee myös levytilantarve, kaistankäyttö verkossa paranee ja tiedon käsittely nopeutuu. Laajaverkon yli tehtävän tiedonsiirron määrä nopeuttaa myös varmuuskopiointin ja järjestelmän palauttamiseen kuluvaa aikaa.

Ylimääräisen tiedon vähentämiseen on useita keinoja. Tavallisimpia deduplikointikeinoja ovat tiedon-, tiedostojen- ja tietolohkojen deduplikointi. Tiedon deduplikointi on suosituin menetelmä, sillä se toimii sekä tiedosto-, tietolohko- että bittitasolla. Tiedostojen deduplikointi vähentää ylimääräisten tiedostokopioiden määrää. Tietolohkojen deduplikointi kohdistuu tiedostojen sisältöön, jossa uniikit tietorakenteet käsitellään hash-algoritmillä ja tallennetaan muistiin uniikilla merkinnällä. Kun tiedostoa päivitetään, verrataan sisältöä tallennettuihin merkintöihin ja vain muuttuneet osat tallennetaan. (WAN Optimization.org 3)

2.2.2 Pakkaaminen

Tiedon pakkaaminen on tyypillinen menetelmä verkkoliikenteen optimoimisessa. Sen avulla säästetään levytilaa ja nopeutetaan siirtoja. Pakkaamiselle on useita keinoja ja toteutusalgoritmeja. Yhteistä pakkaamismenetelmille on se, että toistuvat merkkisarjat ja -kuviot korvataan lähetettäessä merkinnöillä, jotka voidaan esittää tehokkaammin. (WAN Optimization.org 4)

Tiedon pakkaaminen kohdistetaan tiedon sisällölle tai koko siirtoyksikölle ja sitä hyödynnetään erityisesti tietoa käsittelevien sovellusten toiminnassa, sillä ne vaativat tavallisesti huomattavat määrät levytilaa. Tiedostojen sisällön pakkaamisessa esimerkiksi kaikki välilyönnit poistetaan ja toistuvat merkkisarjat korvataan yksittäisellä merkillä. Tämän avulla tiedostojen kokoa pystytään pienentämään huomattavasti alkuperäisestä. Tieto palautetaan vastaanottopäässä alkuperäiseen muotoon purkukaavan avulla. Pakkaamisella pienennetään lähetettävien tietokehysten kokoa, jolloin myös siirtoajat ly-

henevät. Eräänä tiedon pakkaamismenetelmänä Cisco hyödyntää ratkaisuisaan muun muassa Lempel-Ziv -algoritmia, joka on sanakirjapohjainen algoritmi. (Cisco 1, 2008)

Pakkaaminen voi olla häviöllistä tai häviötöntä. Häviöllisessä pakkaamisessa osa tiedoston sisällöstä katoaa. Tämä on tavallista valokuvatiedostojen pakkaamisessa. Häviöttömässä pakkaamisessa alkuperäinen tieto palautetaan tarkalleen ilman tiedon katoamista. Verkkolaitteiden käyttämä liikenteen pakkaaminen ja esimerkiksi tiedon tallentaminen perustuvat häviöttömään pakkaamiseen. (WAN Optimization.org 4)

2.2.3 Välimuisti

Välimuistin (cache) ja välityspalvelimen (proxy) käyttäminen perustuu saman tiedon toistuvaan käsittelemiseen. Verkon yli siirtyvistä dokumenteista tallennetaan kopiot välimuistiin, joka sijaitsee verkkopalvelimien ja asiakkaiden välissä. Kun välimuistiin tallennettua tietoa pyydetään uudestaan verkon yli, saa asiakas sen välimuistista alkuperäisen verkkopalvelimen sijaan. Säilyttämällä tietoa mahdollisimman lähellä käyttäjää vähennetään kaistankäyttöä, verkkoviivettä dokumenttien käsittelyssä sekä palvelimiin kohdistuvaa liikennettä. (Cisco 2, 2009)

Selainmuisti, välityspalvelimet ja gateway-muistit ovat eräitä välimuistityyppejä. Selainmuisti ottaa talteen selattujen sivujen sisältöä ja palauttaa ne muististaan, kun sivuilla vierailaan uudelleen. Tämä nopeuttaa huomattavasti tutuille sivuille tapahtuvaa toistuvaa liikennöintiä. Välityspalvelimet toimivat samalla periaatteella kuin selainmuistit, mutta ne palvelevat suurempaa joukkoa käyttäjiä samaan aikaan, sillä ne ovat julkisesti jaettuja. (WAN Optimization.org 5)

Gateway-muistit tai käänteiset välityspalvelimet ovat usein verkkosivustojen ylläpitäjien ja palveluntarjoajien käyttöönottamia välityspalvelimia, jotka toimivat asiakkaan ja verkkosivun välissä. Toisin kuin perinteiset välityspalvelimet ne sijoitetaan mahdollisimman lähelle haettavaa materiaalia. Niiden tarkoitus on parantaa sivuston toimivuutta ja luotettavuutta. (Barish, Obraczka, 2)

2.2.4 Palvelunlaatu

Palvelunlaadulla tarkoitetaan tekniikoita ja menetelmiä, joilla hallitaan ja priorisoidaan verkkoliikennettä. Palvelunlaadun tarkoitus on kohdistaa liikenteeseen priorisoimista, jonka avulla tietyille liikenteelle taataan haluttu ja vaadittu toiminnan taso, muun muassa saatavuuden, siirtonopeuden, verkkoviiveen tai virhetaajuuden suhteen. Tiedyt sovellukset ja liikennetyypit, kuten liikkuva kuva ja IP-puhe (VoIP) ovat erittäin virhe- ja viiveherkkiä, kun puolestaan toiset liikennetyypit eivät ole välttämättä yhtä herkkiä samoille asioille. (Microsoft, 2003)

Palvelunlaatu mahdollistaa eri tietovirroille annettavat tärkeystasot, joiden perusteella tietovirtoja palvellaan. Tämä tapahtuu nostamalla tai laskemalla tietyn liikenteen prioriteettia muuhun liikenteeseen verrattuna. Periaatteena on, että vähemmän tärkeäksi merkittyä liikennettä palvellaan heikommin kuin tärkeää liikennettä. Tämä voi tapahtua esimerkiksi pudottamalla vähemmän tärkeän liikenteen paketteja tärkeämmän liikenteen hyväksi. Palvelunlaadulla pystytään parantamaan tärkeimmän liikenteen suorituskykyä rajallisessa verkossa, jossa esimerkiksi kaistan riittävydessä on ongelmia. (Cisco 3, 2009).

Palvelunlaadun takaamiselle on useita keinoja. Sitä toteutetaan algoritmein, jotka kohdistuvat muun muassa tukosten hallintaan, jonojen hallintaan, kaistan varaamiseen, liikenteen muotoiluun ja linkin tehostamiseen. Palvelunlaadun työkaluja sovelletaan pääasiallisesti liikenteen ulosmenoväylällä, mutta tiettyjä niistä voidaan soveltaa myös sisääntuloväylällä. Palvelunlaatua hyödynnetään useissa eri verkkoteknologioissa, kuten Frame Relayssa, ATM:ssä ja Ethernet-verkoissa. (Szigeti, Hattingh, 2006, 17-19, 447)

2.2.5 Protokollan väärentäminen

Protokollan väärentäminen (protocol spoofing) on menetelmä, jolla parannetaan tiettyjen verkkoprotokollien suorituskykyä. Sillä vastataan protokollien ongelmiin kuten korkeisiin virhetaajuuksiin ja pitkiin viiveisiin. Lähetettävä tieto väärennetään siten, että se näyttää olevan jonkin toisen, soveltuvamman, protokollan lähetys. Väärentäminen tapahtuu useimmiten lähettävällä laitteella, kuten reitittimellä, joka väärentää keskustelu-

protokollan soveltuvammaksi, ja jonka vastaanottava laite muuttaa takaisin alkuperäiseen muotoon.

Protokollan väärentämistä käytetään muun muassa parantamaan TCP-yhteyksiä, joka kärsii muun muassa hitaan käynnistymisen vaiheesta. Tämän lisäksi sitä hyödynnetään tiedonsiirtoprotokollissa ja RIP-reitittämisessä. (WAN Optimization.org 6)

2.2.6 Wide Area File Services

Wide Area File Services on tiedon säilytystekniikka joka perustuu useisiin optimointitekniikoihin. Sen avulla saavutetaan lähiverkkotasosta palvelua käsiteltäessä laajaverkon takana sijaitsevia palvelimia. Sen avulla saavutetaan myös korkeampaa tietoturvaa, parempaa tiedon saatavuutta, ja nopeampaa palautumista verkon häiriöistä. WAFS-tekniikkaa hyödynnetään useiden valmistajien optimointiratkaisuissa. (Cisco 4)

WAFS perustuu laajaverkon optimoimiseen ja sovellusten kiihdyttämiseen. WAFS hyödyntää toiminnoissaan useita eri optimointitekniikoita, muun muassa välimuistin käyttöä verkkoyhteyksissä, jopa suojatuissa yhteyksissä, tiedon pakkaamista ja protokollan optimoimista. (WAN Optimization.org 7)

2.3 Laajaverkkokiihdyttimet

Laajaverkkokiihdyttimet ovat verkkolaitteita, joilla optimoidaan käytössä olevaa verkkoa kiihdyttämällä liikennettä eri tekniikoin. Laajaverkkokiihdyttimet asennetaan verkon molempiin päihin, jolloin kaikkea niiden välistä IP-liikennettä voidaan optimoida. Laajaverkkokiihdyttimiä kehittää usea eri valmistaja. Tunnetuimpiin ratkaisuihin kuuluvat Ciscon WAAS, Blue Coatın SG, Riverbed Steelhead, ja Silver Peak Systemsin NX. (WAN Optimization.org 8)

Eri valmistajien verkkokiihdyttimien ominaisuuksissa ja toiminnassa on eroja. Syy tähän on se, että laitteiden käyttämät protokollat ja algoritmit, jotka ovat usein valmistajakohtaisia, eroavat toisistaan. Tämän lisäksi eri valmistajien laitteet eivät välttämättä

hyödynnä keskenään samoja optimointitekniikoita. Osa laitteista keskittyy kiihdyttämään kaikkea liikennettä, kun taas toiset parantavat tietyn tyyppisen liikenteen ja verkosovellusten toimintaa. Tämän vuoksi eri ratkaisuiden vahvuudet eroavat toisistaan. Tämä puolestaan vaikuttaa siihen, mikä tuote soveltuu parhaiten yrityksen käyttöön. (Poe Robert, 2009)

3 KÄYTETYT TEKNIIKAT

3.1 Riverbed Steelhead

Tutkimuksen keskeisenä tekniikkana toimi Riverbed Steelhead, joka on Riverbedin laajaverkkoliikenteen optimoimiseen kehittämä verkkolaite. Sen avulla voidaan muun muassa kiihdyttää tiedonsiirtoa ja sovellusten toimintaa laajaverkkojen yli, jolloin verkossa saavutetaan korkeampaa suorituskykyä kuin mitä verkon kaistanleveys ja verkkoviive sallivat normaalisti.

Steelheadista on useita malleja, jotka on suunniteltu erisuuruisiin tarpeisiin niin verkon nopeuden ja optimoitavien TCP-yhteyksien suhteen. Kevyimmän luokan Steelheadit ovat ulkoisilta mitoiltaan perinteisten kytkimien kokoisia ja ne on tarkoitettu enintään muutamien Megabittien verkkoihin ja enintään muutamille sadoille TCP-yhteyksille. Tehokkaimmat mallit ovat fyysiseltä kooltaan suurempia ja pystyvät optimoimaan kymmeniä tuhansia tai jopa miljoonaa TCP-yhteyttä Gigabit-verkoissa. Eri kokoluokkien mallit takaavat sen, että yritysten on mahdollista ottaa käyttöönsä omaan tarpeeseen parhaiten soveltuvat Steelhead-mallit. (Riverbed 1, 2009)

Steelheadeista on myös tarjolla mobiiliversio, Steelhead Mobile Client (SMC). Ero rautapohjaisiin Steelhead-malleihin on siinä, että SMC on työasemalle asennettava ohjelmisto. SMC:n sisältävän koneen ottaessa yhteyden tuttuun verkkoon, jossa suoritetaan jo optimointia Steelheadeilla, laitteet löytävät toisensa.

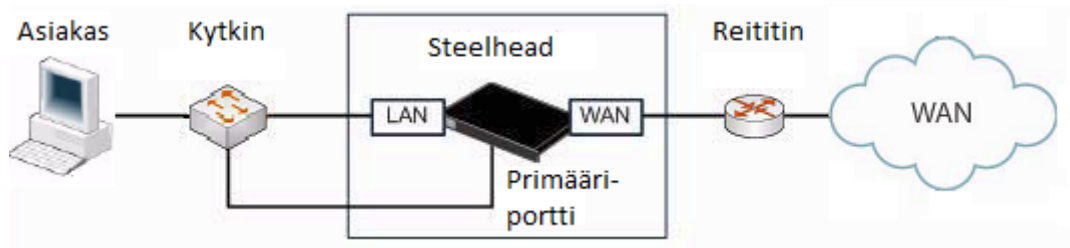
Steelheadit hyödyntävät Riverbedin auto discovery -protokollaa löytämään automaattisesti verkkoon lisättävät uudet Steelhead-laitteet, myös mobiiliversiot. Tämä mahdollistaa esimerkiksi kannettavalla tietokoneella yrityksen pääverkkoon otetun etäyhteyden optimoinnin ilman, että etäyhteyden ottajan tarvitsee olla fyysisen Steelheadin takana. (Riverbed 2, 2008, 21)

3.2 Steelheadin sijoittaminen verkkoon

Steelheadeja käyttöönotettaessa kannattaa ne asentaa verkkoon siten, että verkkoviive Steelheadin ja päätelaitteiden välillä on mahdollisimman pieni. Tavallisesti paras paikka asentaa Steelhead verkkoon on piste, jossa lähiverkko yhdistyy laajaverkkoon (Riverbed 3, 2008, 46). Steelhead voidaan sijoittaa kolmella tapaa verkkoon. Nämä ovat sijoittaminen fyysisesti in-pathiin, virtuaalisesti in-pathiin sekä out-of-pathiin. (Riverbed 2, 2008, 21)

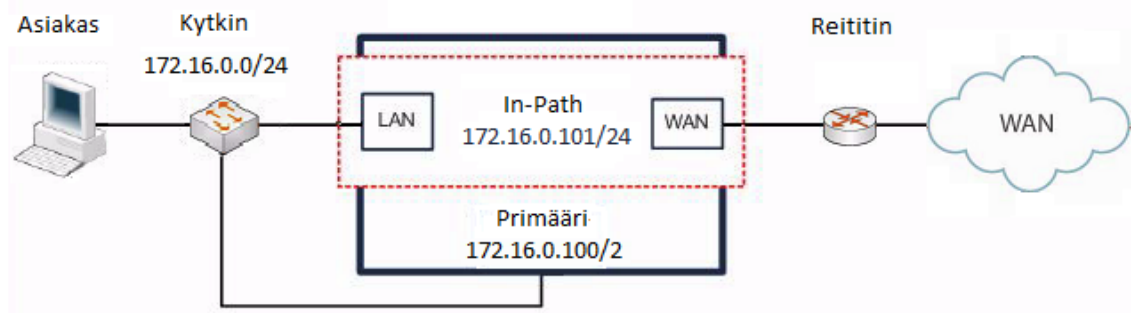
3.2.1 Fyysinen in-path

Fyysisessä in-path -asennuksessa Steelheadin lähiverkkoliitännä (LAN) yhdistetään lähiverkon puoleiseen laitteeseen, yleensä kytkimeen, ja laajaverkkoliitännä (WAN) yhdistetään reitittävään laitteeseen (kuva 1). Tällä tavalla asennettuna Steelheadin läpi kulkee kaikki verkon liikenne ja siihen on suoraviivaista kohdistaa haluttuja optimointitoimenpiteitä. Asiakkaat ja palvelimet näkevät edelleen asiakas- ja palvelin-osoitteet ja Steelhead siltaa liikenteen LAN- ja WAN-liitännöjensä kautta. Tämä on tavanomaisin ja helppo tapa asentaa laite, sillä se ei vaadi konfigurointia esimerkiksi uudelleenohjausmenetelmien osalta.



Kuva 1. Asentaminen fyysinen in-pathiin

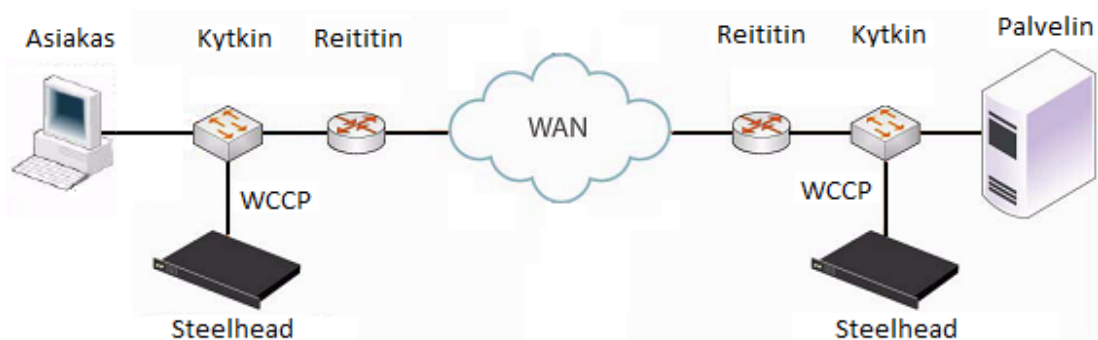
Steelheadeissa on mallista riippuen vähintään yksi porttipari in-path -asennusta varten. Tämä porttipari muodostaa loogisen in-path -liitännän jolla on oma IP-osoite ja joka toimii kahden portin siltana. In-path -porttia Steelheadit käyttävät tiedon optimoimiseen, primääriporttia käytetään laitteen hallintaan (kuva 2). (Riverbed 2, 2008, 40)



Kuva 2. In-path porttipari loogisella tasolla

3.2.2 Virtuaalinen in-path

Virtuaalisessa in-path -asennuksessa Steelheadia ei asenneta suoraan verkon läpi kulkevan liikenteen väylälle. Laite kytketään sivuun, esimerkiksi kytkimeen tai palvelinkoneeseen (kuva 3). Liikenne kulkee vain laitteen WAN-liitännän kautta eikä LAN-liitäntää käytetä. Liikenne saadaan kulkemaan Steelheadin läpi käyttämällä liikenteen uudelleenohjausmenetelmiä, kuten Policy Based Routingia tai Web Cache Communication Protocollaa (WCCP). Liikenteen uudelleenohjauksen avulla Steelhead saadaan virtuaalisesti verkkoliikenteen väylälle. (Riverbed 2, 2008, 53)

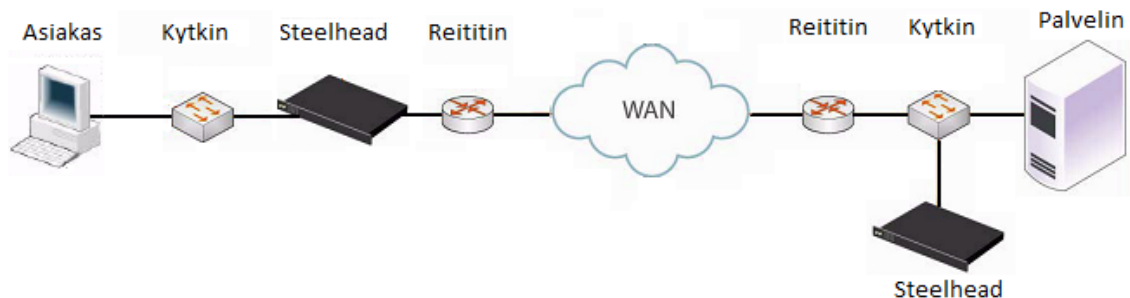


Kuva 3. Asentaminen virtuaalisesti in-pathiin

3.2.3 Out-of-path

Out-of-path -asennuksessa Steelhead asetetaan palvelinpuolen lähiverkkoon, siten ettei se ole suoraan verkon läpi kulkevan liikenteen väylällä (kuva 4). Out-of-pathissa oleva Steelhead kytketään verkkoon primääriliitännästään ja se toimii välityspalvelimena ver-

kossa. Liikenne ohjautuu tällä tavalla asennettuun Steelheadiin asiakasverkon puolen Steelheadille annetun fixed-target in-path -säännön avulla, joka osoittaa palvelinpuolen Steelheadin primääriiliitännän IP-osoitteeseen. (Riverbed 4, 2008, 16)



Kuva 4. Asentaminen out-of-pathiin

Out-of-pathissa oleva laite käyttää primääriiliitännänsä IP-osoitetta kommunikoidessaan muiden laitteiden kanssa. Tämä asennustapa soveltuu esimerkiksi tietokeskuksiin, joissa in-path -asennus ei ole mahdollista tai jos Steelheadien välissä suoritetaan tietynlaisia osoitteenmuunnosmenetelmiä, jotka estävät Steelheadien muunlaisen asentamisen. Asiakasverkon Steelhead täytyy asentaa joko fyysisenä tai virtuaalisena in-path -asennuksena kun verkon toisessa päässä käytetään out-of-path -asennusta. (Riverbed 3, 2008, 47)

Out-of-path -asennuksen heikkoutena on se, että out-of-path -puolen laitteilta käynnistettyä liikennettä ei voida optimoida. Koska näin asennettu Steelhead toimii välityspalvelimena, eivät asiakaspuolen laitteilta tulevan liikenteen alkuperäiset osoitteet näy liikenteen vastaanottaville palvelimille, vaan ne näkevät liikenteen alkuperänä out-of-path -laitteen primääriosoitteen. (Riverbed 2, 2008, 58)

3.3 Optimointisäännöt

Steelheadit suorittavat optimointia niille annettujen optimointisääntöjen mukaan. Nämä säännöt ovat in-path- ja peering-sääntöjä, joiden mukaan Steelheadit käsittelevät niiden läpi kulkevat paketit. Kaikkea liikennettä ei automaattisesti optimoida. Sen lisäksi, että liikennettä voidaan optimoida, voidaan sitä myös päästää verkon läpi kohdistamatta sii-

hen optimoimia, paketit voidaan lähettää takaisin alkupisteeseensä tai ne voidaan pudottaa kokonaan. Optimointisäännöt kohdistetaan liikenteelle sen alkuperän ja kohteen aliverkon, IP-osoitteen, virtuaalilähiverkon tai TCP-portin mukaan. (Riverbed 2, 2008, 25)

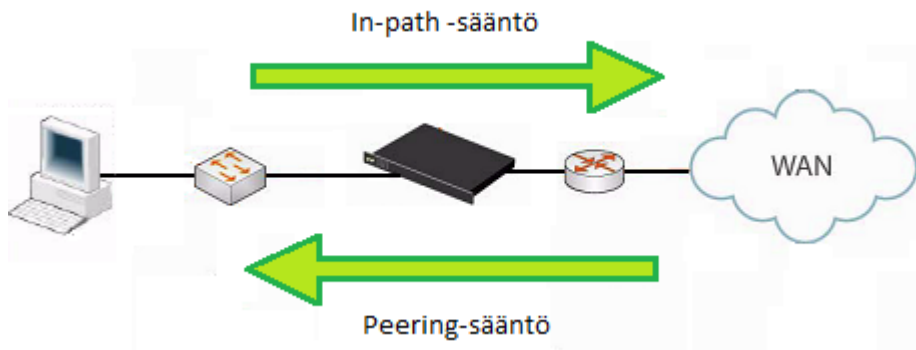
3.3.1 In-path -säännöt

In-path -säännöt kohdistuvat laitteelta ulos lähtevään liikenteeseen. Näin ollen in-path -säännöt asetetaan koskemaan laitteen asiakaspuolen liikennettä. Optimointisäännöt muistuttavat sisällöltään ja muodoltaan reitittimille annettavia pääsilystoja. Liikenteeseen kohdistetaan toimenpiteitä sen alkuperän tai kohteen mukaan. Optimointisääntöjen mukaan liikenne merkitään optimoitavaksi mikäli mahdollista, jätetään optimoimatta, paketti pudotetaan laitteella, tai se lähetetään takaisin alkupisteelle.

Optimointisääntöjä tarkastellaan Steelheadien vastaanottamien synkronointipakettien (TCP SYN) perusteella. TCP SYN on asiakkaan Steelheadille lähettämä paketti, kun asiakas muodostaa uuden yhteyden. In-path -sääntöjä tarkastellaan vain kun laite saa TCP SYN -paketin, joka saapuu lähiverkkoliitännästä laitteen ollessa asennettuna fyysisesti in-pathiin, tai kun TCP SYN -paketti saapuu WAN-liitännästä laitteen ollessa asennettuna virtuaalisesti in-pathissa. (Riverbed 2, 2008, 25)

3.3.2 Peering-säännöt

Peering-säännöt toimivat samalla periaatteella kuin in-path -säännöt, mutta koskevat laitteelle tulevaa palvelinpuolen liikennettä (kuva 5). Liikenne käsitellään tulevan liikenteen alkuperä tai kohteen osoitteen, sekä liikenteen lähettäneen Steelheadin IP-osoitteen perusteella. Peering-sääntöjen mukaan paketit voidaan hyväksyä siten, että vastaanottava Steelhead ryhtyy pariaksi lähettävälle Steelheadille ja kyseinen liikenne optimoidaan, tai paketit voidaan laskea läpi kohdistamatta niihin optimointia. (Riverbed 2, 2008, 26)



Kuva5. Optimointisääntöjen kohdistaminen liikenteeseen

3.4 Riverbed Optimization System

Steelheadit kiihdyttävät verkkoliikennettä Riverbedin kehittämällä ohjelmistolla, Riverbed Optimization Systemillä (RiOS). RiOS on Steelheadien optimointitoiminnan ydin, sillä se vastaa verkkoliikennettä hidastaviin ilmiöihin, kuten riittämättömään laajaverkon kaistaan ja tehottomiin kuljetus- ja sovellusprotokoliin korkean verkkoviiveen ympäristöissä.

RiOS kohdistuu asiakas-palvelin -laitteiden välisiin yhteyksiin, häiritsemättä näiden välistä vuorovaikutusta. Asiakasohjelman lähettämät pyynnöt kulkevat normaalisti kohdepalvelimelle, siten että RiOS optimoi oleellisen liikenteen. Optimoitava liikenne määritellään Steelheadeille annettavien optimointisääntöjen avulla. RiOS toimii myös salattujen yhteyksien, esimerkiksi IPSec-yhteyksien ylitse häiritsemättä niiden toimintaa. RiOS:n suorittama optimointi perustuu tiedon, lähetyksen, sovellusten ja hallinnan virtaviivaistamiseen. Näiden optimointikeinot perustuvat luvussa 2 esiteltyihin tekniikoihin. (Riverbed 2, 2008, 16)

3.4.1 Tiedon virtaviivaistaminen

Steelheadin suorittama tiedon virtaviivaistaminen vähentää laajaverkon yli kulkeutuvan tiedon määrää, vähentäen kaistan käyttöä tiedon kuljettamisessa. Tiedon virtaviivaistaminen tapahtuu neljän menetelmän avulla. Nämä ovat skaalautuva tietoon viittaaminen, kaksisuuntainen synkronoitu tietovarasto, yhtenäinen tietovarasto sekä palvelunlaatu.

Skaalautuva tietoon viittaaminen hyödyntää tiedon pakkaamista sekä Riverbedin kehittämää Scalable Data Referencing -algoritmia (SDR). (Riverbed 2, 2008, 16)

SDR rikkoo TCP-virran tietoalkioiksi, jotka tallennetaan Steelheadien (SMC:n tapauksessa ohjelmiston isäntäkoneen) kiintolevylle tietovarastoon. Kukin tietoalkio merkitään uniikilla kokonaisluvulla, viitemerkinnällä, ennen kuin se lähetetään laajaverkon yli vastaanottavalle laitteelle. Kun sama tavujärjestys tulee vastaan myöhemmissä lähetyksissä, ei varsinaista tietoa jouduta enää lähettämään verkon yli, vaan Steelhead lähettää toiselle laitteelle viittauksen kyseiseen tietoalkioon. Tämän tietoalkion perusteella vastaanottava Steelhead rakentaa alkuperäisen tavujärjestyksen omasta tietovarastostaan. Viitemerkintöjen lähettäminen verkon yli varsinaisen tiedon sijaan vähentää verkon yli kulkeutuvan tiedon määrää. SDR:n lisäksi RiOS hyödyntää Lempel-Ziv -pakkaamista, jota myös Ciscon ratkaisut hyödyntävät. Tätä käytetään ensisijaisesti ensimmäisiin tiedonsiirtoihin, jolloin laitteilla ei ole vielä siirrettävästä tiedosta tietoalkioita muisteissaan. (Riverbed 4, 2008, 7)

Tiedostojen ja tietorakenteiden kiihdyttäminen tällä tapaa ei ole riippuvainen lähetysovelluksesta, joten esimerkiksi Windowsin tiedonjakamisprotokollalla (CIFS) lähetetty tieto optimoidaan kun se lähetetään uudelleen FTP:llä. Samoin tiedon virtaviivaistaminen toimii ohjelmilla, jotka itsessään pakkaavat lähettämäänsä tietoa. Microsoft Exchangen käyttämän MAPI-protokollan pakkaama tieto avataan RiOS:n avulla ennen lähetystä ja SDR:n hyödyntämistä, jotta alkuperäisestä tiedosta saadaan viitemerkinnät luonnollisessa muodossaan. Tämän avulla muut ohjelmat hyötyvät tehdyistä viitemerkinnöistä.

Kaksisuuntainen synkronisoitu tietovarasto mahdollistaa sen, että viitemerkinnät tallennetaan kullekin RiOS-laitteelle tietovarastoon, jotka säilyvät uudelleenkäynnistysten ja päivittämisten yli. Tämän lisäksi Steelhead-laiteparit säilyttävät tietovarastonsa täysin synkronisoiduna kaksisuuntaisesti koko ajan. Tämän avulla on viitemerkintöjen hyödyntäminen edelleen mahdollista verkossa, eikä näin jo aiemmin lähetettyjä tietolohkoja tarvitse lähettää verkon yli mikäli toisessa Steelheadissa tapahtuu häiriö.

Yhtenäinen tietovarasto toimii siten, että kun tietolohko on tallennettu Steelheadin viitemuistiin, voidaan sitä hyödyntää minkä tahansa verkossa olevan Steelheadin kanssa,

kaikilla kiihdytettävillä sovelluksilla. Tämä vuoksi tietoa ei tarvitse monistaa tietovaraston sisällä, jotta sitä voidaan käyttää muiden sovellusten toimesta, lähetettäessä tietoa toiseen suuntaan tai kokonaan uusille laitteille. (Riverbed 2, 2008, 16-17)

Palvelunlaatu on vaihtoehtoinen menetelmä RiOS:n suorittamassa tiedon virtaviivaistamisessa. Tätä voidaan hyödyntää niin optimoitavassa kuin optimoimattomassa liikenteessä ja se soveltuu hyvin alhaista verkkoviivettä vaativien sovellusten, kuten VoIP:n ja videokonferenssien kanssa. Riverbedin palvelunlaatu perustuu Hierarchical Fair Service Curveen. Se on kehitetty palvelunlaadun välineeksi ympäristöihin, joissa liikenteen laatu ja palvelunlaadun tarve vaihtelevat huomattavasti. (Riverbed 2, 2008, 118)

3.4.2 Lähetyksen virtaviivaistaminen

Steelheadit hyödyntävät verkkoviiveen optimointitekniikkaa, lähetyksen virtaviivaistamista. Lähetyksen virtaviivaistaminen optimoi TCP-liikennettä Steelheadien välillä patentoitujen tekniikoiden avulla. Nämä varmistavat tehokkaiden uudelleenlähetyскеinojen käyttämisen, neuvottelevat soveltuvimman TCP-ikkunan koon vähentämään verkkoviiveen vaikutusta lähetykseen, sekä maksimoivat suoritustehon laajaverkoissa.

Valmiiden yhteyksien muodostaminen on Steelheadien käyttämä tekniikka lähetyksen virtaviivaistamisessa. Tietyt protokollat, kuten HTTP, käyttävät toiminnassaan useita, nopeasti luotuja ja lyhytikäisiä TCP-yhteyksiä. Steelheadit pystyvät optimoimaan näitä protokollia luomalla valmiiksi useita vapaita TCP-yhteyksiä. Asiakkaan ottaessa yhteyttä aiemmin vierailulle palvelimelle Steelhead käyttää jo valmiiksi luomaansa yhteyttä eikä laitteiden tarvitse odottaa TCP-yhteyden laajaverkon yli suorittamaa kolmitiekätkelyä. Lähetyksen virtaviivaistaminen varmistaa, että Steelheadien välillä on aina keskenään sama määrä aktiivisia TCP-yhteyksiä.

RiOS peilaa lähiverkkojen palvelunlaadun merkintöjä Steelheadien välisiin laajaverkoyhteyksiin. Tämä mahdollistaa verkossa olemassa olevien palvelunlaatujärjestelmien hyödyntämisen liikenteen priorisoimisessa myös Steelheadin käyttöönoton jälkeen. Näin Steelheadien asentaminen ei häiritse verkossa jo käytössä olevaa palvelunlaatua. (Riverbed 2, 2008, 17-18)

3.4.3 Sovellusten virtaviivaistaminen

Steelheadit vastaavat myös sovellusten virtaviivaistamisesta. RiOS käyttää eri sovellusprotokolliin kohdistettuja optimointimenetelmiä. RiOS:n tukemiin sovelluksiin kuuluvat muun muassa Windowsin tiedonjakamisprotokollat CIFS ja SMB, Outlook ja Exchange 2000, 2003 ja 2007 MAPI-protokollat, Unixin tiedon jakamisprotokolla NFS v3, Microsoft SQL Serverin TDS, verkkoprotokollat HTTP, HTTPS ja SSL sekä Oraclen Oracle11i-Native ja -HTTP. (Riverbed 2, 2008, 19) Näiden protokollakohtaisten optimointitekniikoiden, kuten tiedon ennalta hakemisen ja säilyvien yhteyksien, avulla RiOS vähentää laajaverkon yli edestakaisin siirtyvien pakettien määrää sekä auttaa lukemaan dataa jopa pakatusta ja kryptatusta tiedosta. (Riverbed 2, 2008, 108-109)

3.4.4 Hallinnan virtaviivaistaminen

Hallinnan virtaviivaistaminen on neljäs Steelheadien optimointimenetelmä. Hallinnan virtaviivaistamisella tarkoitetaan tekniikoita, jotka on kehitetty yksinkertaistamaan RiOS-laitteiden asentamista ja hallitsemista. Näitä tekniikoita ovat auto-discovery -protokolla, keskitetty hallintakonsoli, sekä Steelhead Mobile Controller.

Auto-discovery on Riverbedin kehittämä protokolla, jonka avulla Steelheadit automaattisesti löytävät muita Steelheadeja verkosta. Tämä mahdollistaa liikenteen optimoimisen verkon vanhojen ja uusien laitteiden välillä ilman, että ylläpitäjän tarvitsee manuaalisesti huolehtia laitteiden välisen yhteyden luomisesta. Tämä vähentää käsin tehtävää konfigurointia, sallii järjestelmänhallitsijan hallita ja varmistaa laitteiden välisiä yhteyksiä, sekä määrittellä mitä liikennettä ja minkä laitteiden kanssa optimointia suoritetaan. (Riverbed 2, 2008, 21)

Keskitetyn hallintakonsolin avulla voidaan uusia Steelheadeja automaattisesti konfiguroida ja valvoa verkon yli. Tämän lisäksi se antaa yleiskuvan Steelheadin tuomasta hyödyistä verkkoliikenteeseen sekä verkon tilasta. SMC on ohjelma kannettavien Steelhead-sovellusten hallintaan. Sen avulla voidaan seurata yksittäisten mobiiliasiakkaiden tilaa ja tilastoja, sekä suorittaa tukitoimintoja etäyhteyksien avulla. (Riverbed 4, 2008, 28)

3.5 Network Nightmare gigEnn

Steelheadien lisäksi tutkimuksessa käytettiin laajaverkkoemulaattoria. GigEnn on Network Nightmare'n kehittämä verkkolaite, jolla emuloidaan laajaverkkoyhteyksiä. Laajaverkon emuloinnin pääasiallinen tarkoitus on arvioida verkon suorituskykyä, selvittää miten verkon ominaisuuksien muuttaminen vaikuttaa verkkoliikenteeseen, tai selvittää verkkoliikenteen ominaisuuksia, jotta siihen voidaan kohdistaa soveltuvia optimointimenetelmiä. (Squidoo, 2011)

GiGEnnin avulla voidaan tutkia verkkoliikenteen ominaisuuksia siten kuin ne olisivat todellisessa laajaverkossa. GigEnnissä on kaksi Ethernet-liitäntää, konsoliportti ja sarjaportti. Laite kytketään Ethernet-liitäntöistään esimerkiksi kytkimiin tai suoraan työasemiin. Kytkennän jälkeen laite toimii liitäntöjen välillä laajaverkkona, jolle annetaan hallintakonsolin kautta parametreja ja ominaisuuksia.

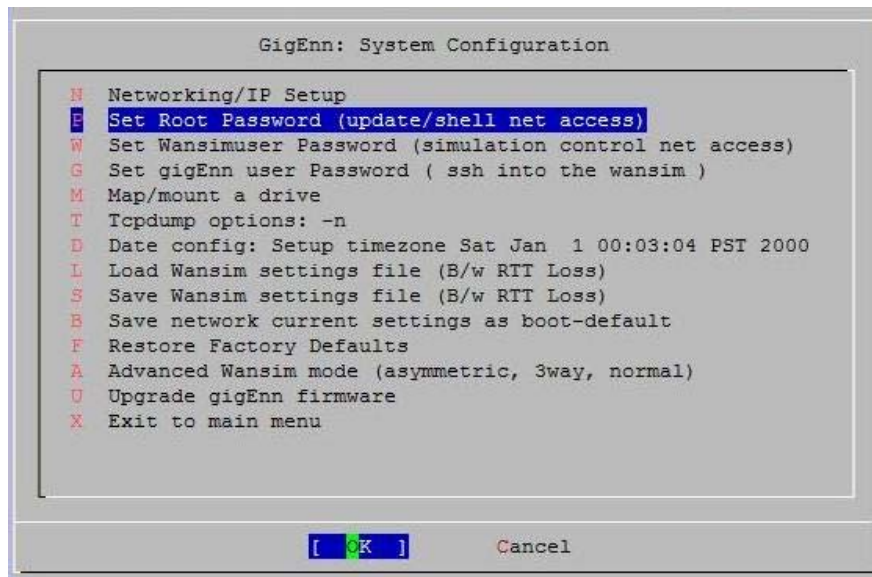
GigEnnin avulla pystytään simuloimaan laajaverkon metriikoita (kuva 6). Näitä ovat käytössä oleva kaistanleveys, linkin verkkoviive, pakettihäviö, jonon pituus ja enimmäissiirtokapasiteetti (MTU). Laitteiden verkon nopeuden simulointikyky riippuu gigEnn-mallista. Pienin T3-malli toimii enintään 45 Mbit/s simulaattorina, kun taas suurin OC12-malli simuloi jopa 1 Gigabit-verkkoa. (Network Nightmare 1, 2010)

```
(c) NetworkNightmare.net  GigEnn-6.3          29-Feb-08
T3.gigEnn.net: 172.30.0.2/24

W WanSimulator Status: Bridge Mode Active
Z Configure system (passwords, network, mounts, etc)
z -----
E Bandwidth ( Mbit/s ): 1 Mbit/s
R Round trip latency ( ms ): 120 milliseconds
L Lose this fraction ( % ): no loss (0.00000)
M Toggle MTU setting: 1500
G Increase Kernel Buffers for gigE performance
Q Infinite queue size ( 0 ): 15 slots
S Set queue size ( slots ): 15 slots
A Auto-Calculate queue size ( -1 ): 15 slots
z -----
N Network Monitoring tools
O Network Sniffing tools
z -----
! Drop to shell
X Exit
H Halt/Shutdown/Reboot
[ OK ]          Cancel
```

Kuva 6. GigEnn hallintakonsolin pääsivu

GiGEnneissä on useita työkaluja ja ominaisuuksia laajaverkon ominaisuuksien simuloimiseen sekä verkkoliikenteen seuraamiseen. Verkon metriikoiden asettamisen lisäksi laite voi muun muassa toimia reititys- tai siltaustilassa, verkkoliikenne voidaan asettaa toimimaan esimerkiksi asymmetrisesti, duplexina tai puoli-duplexina. Hallintakonsolin kautta asetetaan myös laitteen omat asetukset, kuten liitäntöjen IP-osoitteet (kuva 7).



Kuva 7. Järjestelmän konfigurointi-ikkuna

GigEnnistä löytyy useita verkkoliikenteen seuraamiseen tarkoitettuja työkaluja. Laitteen läpi kulkevaa verkkoliikennettä voidaan seurata sekä hallintakonsolin että verkkokäyttöliittymän kautta kaistankäytön, verkkoliikenteen, verkkoliitäntöjen ja yleisten tilastojen osalta. Laitteen läpi kulkevasta liikenteestä voidaan myös muodostaa lokitiedostoja liikenteen seuraamiseksi. (Network Nightmare 2, 2007)

4 TUTKIMUS JA MITTAUKSET

4.1 Tutkimusmenetelmät

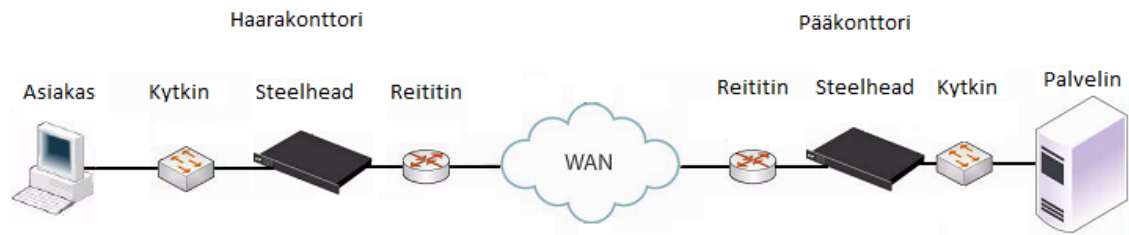
Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää toimeksiantajalle, kuinka tehokkaasti Riverbed Steelheadit pystyvät optimoimaan verkkoliikennettä tiedonsiirron osalta sekä miten laitteiden optimointiteho muuttuu verkon määreitä muutettaessa. Tutkimuksen aineistoa ja havaintoja käytettäisiin Fujitsun Services Oy:n omissa toiminnoissa.

Työ tehtiin kvantitatiivisena tapaustutkimuksena. Kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimuksessa tutkimuskysymykseen haetaan vastausta käyttämällä täsmällisiä ja tilastollisia menetelmiä. Tapaustutkimuksen pohjana oli toimeksiantajan asettamien tutkimustavoitteiden saavuttaminen ja sitä kautta mahdollistaa toimeksiantajan toimintojen kehittäminen.

Työn tavoitteen kannalta oleellinen tieto saatiin kerättyä suorittamalla tutkimuskohteesta mittauksia. Vastausta tutkimuskysymykseen haettiin mittaustulosten keskenään vertailun ja tulkitsemisen avulla. Benchmarking-menetelmä muodostui käyttökelpoisimmaksi menetelmäksi, sillä siinä mittauksista saatua aineistoa verrattiin perustilana pidettävään aineistoon ja tätä kautta pystyttiin esittämään havaintoja tutkimuksen kannalta oleellisista ilmiöistä.

4.2 Testiverkon ja mittausten valmistelu

Mittauksia varten luotiin testiverkko, jossa tiedostojen siirrot suoritettiin. Vaikka yritysverkkojen topologia ja speksit ovat usein huomattavasti monimutkaisempia kuin testiverkossa, erityisesti yrityksissä jotka koostuvat pää- ja haarakonttoreista, niin yksinkertaistettu testiverkko oli riittävä mittausten tavoitteen kannalta. Työssä demonstroitiin alla olevan kuvan mukaista yritysverkkoa (kuva 8).



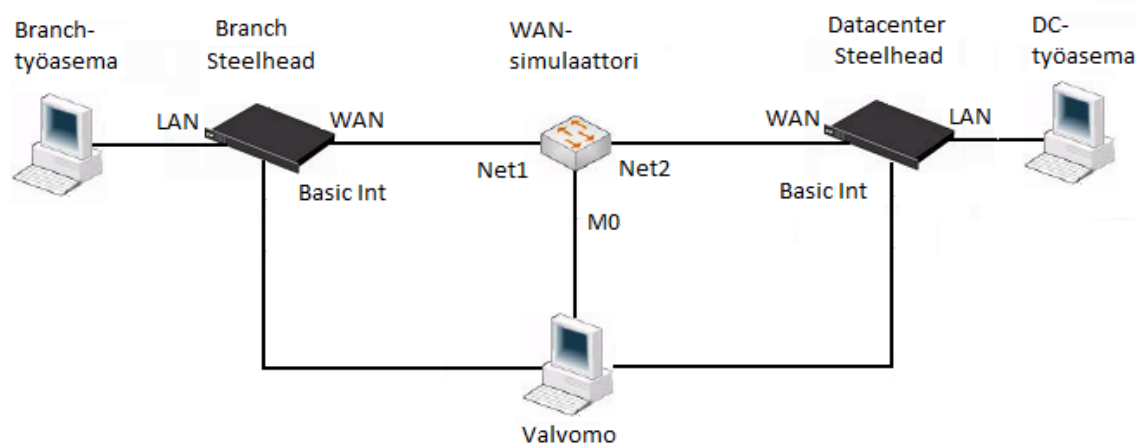
Kuva 8. Demonstroitu yritysverkko

4.2.1 Käytetty laitteisto

Testiverkkona toimi kokoonpano, joka koostui kahdesta Windows XP-työasemasta nimeltään DC-työasema ja Branch-työasema, kahdesta Riverbed Steelhead 250-L -laitteesta nimeltään Datacenter ja Branch, sekä NetworkNightmare GigEnn T-3 WAN-emuulaattorista. Näiden lisäksi Steelheadeihin ja gigEnniin kytkettiin työasema, Valvomo. Valvomoa käytettiin verkkoliikenteen tilastojen seuraamiseen Steelheadien graafiselta käyttöliittymältä sekä antamaan parametreja laajaverkolle gigEnnin kautta.

4.2.2 Kytkenät

Testiverkko muodostui kuvitteellisesta pääkonttorista ja kuvitteellisesta haarakonttorista. Molemmat konttorit olivat omassa lähiverkossaan. Sekä pää- että haarakonttorissa oli yksi työasema sekä yksi Steelhead. Steelheadit kytkettiin gigEnniin, jonka avulla emuloitiin yrityksen konttoreiden välistä laajaverkkoa (kuva 9). Steelheadit kytkettiin verkkoon fyysisen in-path -periaatteen mukaisesti, sillä se on yksinkertaisin tapa asentaa laitteet verkkoon ja se soveltui parhaiten testiympäristöön.



Kuva 9. Testiverkon fyysiset kytkennät

DC-työasema kytkettiin Datacenter Steelheadin LAN-porttiin suoralla Ethernet-kaapelilla. Datacenter Steelhead kytkettiin WAN-portistaan ristikaapelilla WAN-simulaattoriin eli gigEnnin Net2-porttiin. WAN-simulaattori kytkettiin Net1-portista ristikaapelilla Branch Steelheadin WAN-porttiin. Branch-työasema kytkettiin Branch Steelheadin LAN-porttiin suorakaapelilla. Valvomo kytkettiin molempien Steelheadien basic int- eli hallintaportteihin sekä gigEnnin konsoliporttiin M0 suorakaapeleilla.

Testiverkossa ei ollut muita verkkolaitteita eikä niiden olemassaolo ollut mittausten kannalta oleellista, sillä mittausten tarkoitus ei ollut demonstroida täysin aitoa yritysverkkoa.

4.2.3 Mittaustiedostot

Mittauksia varten luotiin verkon yli siirrettävää materiaalia. Toimeksiantajan toiveiden mukaisesti tiedostotyypeiksi valittiin DOC, JPG, PDF, PPT, WMV, XLS ja ZIP. Kyseiset tiedostotyytit valittiin sillä perusteella, että ne ovat yleisiä tiedostotyyppisiä ja niitä käytetään yleisesti yrityksissä.

Mittauksia varten luotiin perustiedostot, jotka olivat kooltaan noin 5 megatavua. Poikkeuksena oli pakattu tiedosto, josta tehtiin 20 megatavun kokoinen. Pakattua tiedostoa lukuun ottamatta muiden tiedostojen yhtenäinen 5Mb koko valittiin sillä perusteella, että näin tiedostoista saatiin vertailukelpoisia keskenään. Tämän lisäksi 5Mb tiedostot

olivat kooltaan sopivan pieniä, jotta mekaaniseen mittausten toistoon ei kulunut liian pitkää aikaa – mittauslaitteisto oli käytössä vain rajoitetun ajan – mutta kuitenkin sen verran suuria, että mahdolliset muutokset siirtonopeuksissa olisivat selkeästi havaittavissa. Suuremman pakatun tiedoston tarkoitus oli simuloida sitä, kuinka pakatut tiedostot usein ovat muita tiedostoja suurempia, sekä tutkia mahdollista tiedoston koon vaikutusta Steelheadien optimointitehoon.

Perustiedostojen lisäksi luotiin 10% muutetut tiedostot kustakin perustiedostosta. 10% muutetut tiedostot luotiin kustakin alkuperäisestä tiedostosta lisäämällä niihin sisältöä noin 10%.

4.2.4 Verkon asetukset mittauksissa

Kaikki mittaukset suoritettiin useilla eri verkkoviiveillä ja linjanopeuksilla. Tarkoituksena oli saada tietoa siitä miten tiedonsiirto optimoituu verkoissa joissa linjanopeutta ja verkkoviivettä muutetaan. Mittaukset tehtiin 20, 40, 60, 80, 100, 150 ja 200 millisekunnin verkkoviiveillä, ja linjanopeuksina käytetään 1, 2, 4 ja 10 Mbps. Verkkoviiveet ja linjanopeudet asetettiin verkkoon gigEnnin avulla.

Mittauksia varten verkolle annettiin seuraavanlaiset oletukset. Pakettihäviöksi asetettiin 0% ja tiedostot siirrettiin 1500 tavun paketeissa (MTU 1500). Poistamalla pakettihäviö simuloitiin ideaalia tilannetta, tosin käytännössä tämä ei vastaa tarkalleen aitoa verkon liikennettä. Koska tarkoitus oli selvittää Steelheadien teoreettista optimointikykyä tiedostonsiirroissa, kelpasi ns. ideaalitilanne verkossa. TCP-siirroissa tavallinen tiedostonsiirtoyksikkö on 1500 tavua, mistä syystä tämä annettiin myös testiverkon arvoksi.

Verkon asetusten lisäksi täytyi mittauksissa hyödyntää Steelheadien in-path- ja peering-sääntöjä. Testiverkossa ja mittauksissa ei käsitelty optimointisääntöjä syvällisesti, sillä niiden monimutkainen hyödyntäminen mittausten puitteissa ei ollut tarpeellista. Mittauksissa käytettiin molemmilla Steelheadeilla kahta optimointisääntöä hyväksi. Näiden sääntöjen mukaan kaiken liikenteen, joka kohdistui vastakkaisen Steelheadin takana olevan työaseman optimoimattomalle liikenteelle tarkoitettuun verkkokansioon, sallittiin läpäistä verkko, kohdistamatta liikenteeseen optimointia. Puolestaan kaikki liikenne,

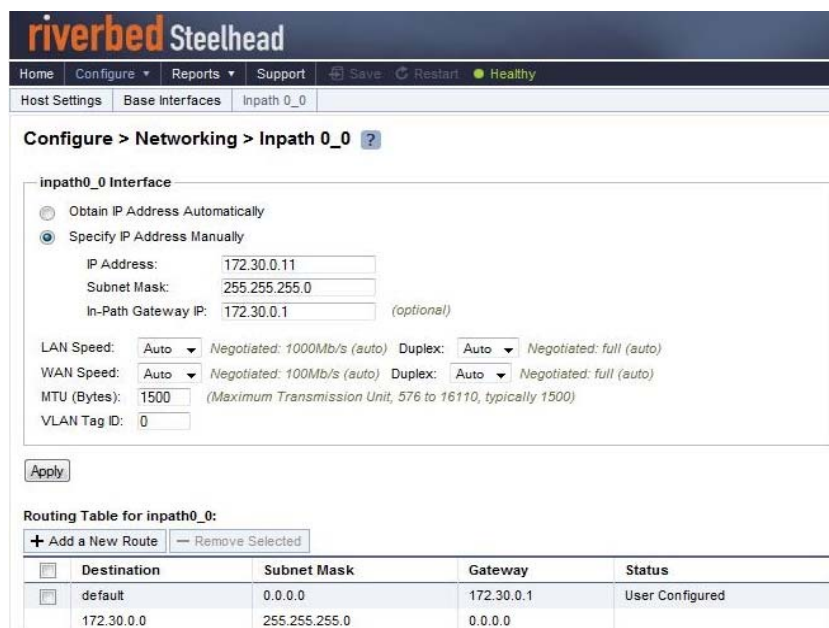
joka kohdistui vastakkaisen Steelheadin takana olevan työaseman optimoitavalle liikenteelle tarkoitettuun verkkokansioon, optimoitiin.

4.3 Testiverkon käyttö

Mittausten kannalta oli oleellista pystyä seuraamaan liikenteen optimointiarvoja. Tähän löytyivät välineet Steelheadien graafisen käyttöliittymän kautta. Lisäksi verkolle täytyi antaa parametreja eri mittauksia varten, joiden asettamiseen käytettiin WAN-emulaattoria. WAN-emulaattorin kautta verkolle annettiin eri linjanopeuksia ja vasteaikoja haluttujen mittausten mahdollistamiseksi.

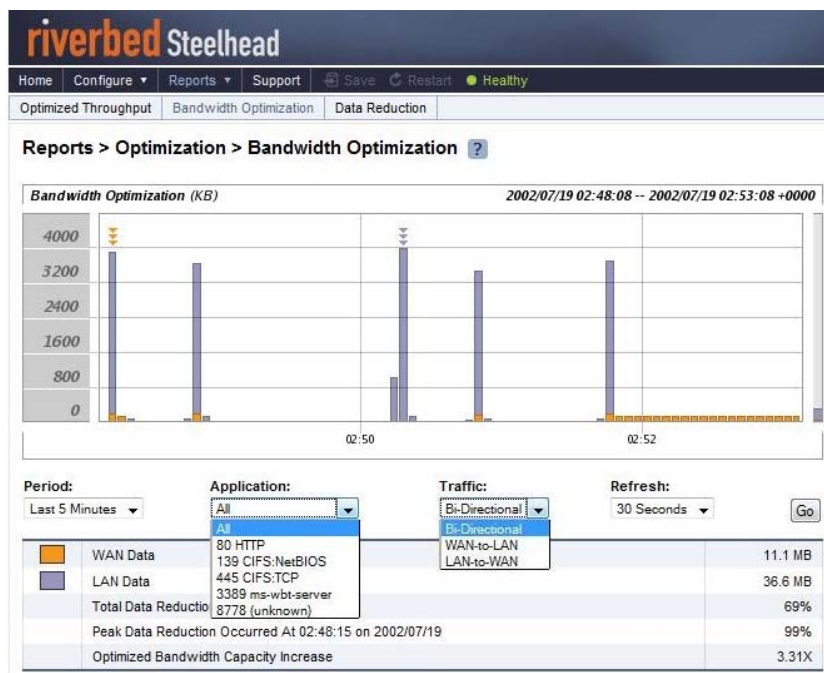
4.3.1 Graafinen käyttöliittymä

Steelheadien graafista käyttöliittymää käytettiin ottamalla yhteys Steelheadeihin Valvomo-koneella. Valvomo liitettiin Steelheadien hallintaportteihin. Tämän jälkeen Valvomon verkkoselaimen kautta otettiin yhteys hallintaporttien IP-osoitteisiin ja kirjauduttiin sisään laitteille. Valvomon täytyi olla samassa verkossa Branch- ja Datacenter Steelheadien kanssa, jotta yhteydenotto laitteisiin onnistui (kuva 10).



Kuva 10. Näkymä Steelheadin graafisesta käyttöliittymästä

Steelheadin graafisessa käyttöliittymässä oli mahdollisuus konfiguroida laitetta optimointisääntöjen osalta sekä seurata laitteen läpi kulkevaa liikennettä parin sekunnin välein päivittyvältä graafiselta kuvaajalta tiedostonsiirron aikana tapahtuvasta kaistanleveyden optimoinnista laajaverkon ja lähiverkon välillä. Tätä kautta saatiin kerättyä tarvittavat mittaustulokset (kuva 11).



Kuva 11. Kaistan optimoinnin valvontaikkuna

4.3.2 WAN-emulaattori

Testiverkossa laajaverkkoa emuloi Network Nightmare gigEnn T3 WAN-emulaattori. GigEnniin otettiin yhteys, jotta verkolle pystyttiin antamaan tarvittavia parametreja. Yhteydosto WAN-emulaattoriin tapahtui liittämällä Valvomo emulaattorin konsoliporttiin M0. Tämän jälkeen Valvomolla pystyttiin ottamaan yhteys emulaattoriin terminaaliohjelman kautta. Yhteys otettiin laitteen konsoliportin IP-osoitteen avulla.

WAN-emulaattorin kautta muutettiin testiverkon parametreja jokaisen mittaustyyppin yhteydessä. Muutettavia parametreja olivat verkon nopeus sekä verkon vasteaika. Näiden muuttuvien parametrien lisäksi gigEnniltä annettiin verkolle vakioparametrit, jotka olivat suurin siirtoyksikkö, MTU, pakettihäviö sekä jonon pituus.

4.3.3 Tiedostojen siirtäminen

Tiedostojen siirtäminen laajaverkon yli tapahtui Branch- ja DC-työasemilla. Molemmille koneille luotiin kaksi jaettua verkkokansiota toisen koneen käytettäväksi. Toinen verkkokansio luotiin optimoimatonta siirtoa, toinen optimoitua siirtoa varten. Tiedostot siirrettiin siten, että Branch-työasemalla avattiin DC-työaseman se jaettu verkkokansio, jonka tyyppistä siirtoa tehtiin. Tämän jälkeen Branch-työasemalla sijaitsevia mittaustiedostoja kopioitiin kyseiseen DC-työaseman verkkokansioon.

4.4 Mittaukset

Testiverkossa suoritettiin ja mitattiin tiedostonsiirtoa simuloitun laajaverkon yli. Tarvitavat mittaukset suoritettiin neljällä tavalla. Ensin tiedostot siirrettiin verkon yli ilman optimointia. Näissä mittauksissa tiedostoja siirrettiin jaettuun verkkokansioon, joka oli tarkoitettu optimoimattomille siirroille. Näiden jälkeen tehtiin mittauksia tiedostonsiirroille, joita optimoitiin Steelheadeilla.

Mitattavia määreitä olivat tiedoston siirtoaika optimoimattomista että optimoiduista mittauksista, sekä optimoiduissa mittauksissa optimointisuhde. Siirtoaika on aika, joka kuuluu tiedostonsiirtoon. Optimointisuhde (data reduction) ilmaisee kuinka tehokkaasti Steelheadit optimoivat laitteiden välillä kulkevaa liikennettä. Se kertoo kuinka monta prosenttia vähemmän tietoa siirtyy laajaverkon yli suhteessa lähiverkossa siirtyvään tiedon määrään siirron aikana. Mitä suuremman arvon optimointisuhde saa, sitä tehokkaammin Steelheadit optimoivat verkon yli siirtyvää liikennettä ja vähentävät siirron käyttämää laajaverkon kapasiteettia.

4.4.1 Optimoimattomat siirrot

Optimoimattomissa siirroissa Steelheadit eivät suorittaneet optimointia verkon yli kulkevalle liikenteelle. Tämä tapahtui siten, että Branch-työasemalta siirrettiin tiedostoja DC-työaseman jaettuun verkkokansioon, jonne siirrettävään liikenteeseen ei kohdistettu optimointia optimointisääntöjen mukaisesti.

Optimoimattoman liikenteen nopeutta tutkittiin vain normaalina tiedostonsiirtona tiedostojen siirtoaikojen osalta, sillä toisin kuin optimoiduissa siirroissa, CIFS-protokolla itsessään ei hyödynnä jo aiemmin siirrettyä tietoa, joten saman tiedon siirtäminen verkon yli useamman kerran ei vaikuta millään tavalla myöhempien siirtojen nopeuteen. Optimoimattomien siirtojen tarkoitus oli saada tietoa tavanomaisen tiedostonsiirron siirtoajoista, johon optimoitujen siirtojen tuloksia verrattiin.

4.4.2 Optimoidut siirrot

Optimoiduissa mittauksissa Steelheadit optimoivat verkon yli, laitteiden välillä, kulkevaa liikennettä. Tiedostoja siirrettiin Branch-työaseman ja DC-työaseman jaettujen, optimointiin tarkoitettujen verkkokansiodien välillä. Siirtojen aikana Steelheadien graafiselta käyttöliittymän otettiin ylös mittaustuloksia siirtoajoista sekä kaistankäytön muuttumisesta WAN- ja LAN-verkkojen välillä.

Optimoidut siirrot tehtiin niin sanottuina kylmä-, lämmin- ja 10%-siirtoina. Kylmäsiirroissa verkon yli lähetettiin täysin uutta tietoa, josta Steelheadeilla ei ollut entuudestaan viittausmerkintöjä muistissa. Lämminsiirroissa siirrettiin jo aiemmin verkon yli siirrettyä tietoa uudelleen ilman, että sitä oli muutettu siirtojen välillä. Kylmä- ja lämminsiirroissa verkon yli lähetettiin 5Mb ja 20Mb kokoisia perustiedostoja. 10%-siirroissa siirrettiin tiedostoja, joiden sisältö oli muuttunut noin 10% edellisen siirron jälkeen, eli perustiedostoista luotuja 10% muokattuja tiedostoja. Siirroissa mitattiin tiedostonsiirron nopeutta sekä kuinka tehokkaasti Steelheadit vähentävät laajaverkon yli kulkeutuvaa liikennettä optimoinnin aikana lähiverkossa kulkevaan dataan verrattuna.

Kylmäsiirtomittausten tarkoitus oli selvittää kuinka nopeasti tiedosto siirtyy työasemalta toiselle siinä tapauksessa, kun Steelhead ei vielä pysty hyödyntämään muistissa olevia viittautustietoja siirrettävän tiedon optimoimiseen. Tällä simuloitiin sitä kuinka nopeasti täysin uutta tietoa sisältävä tiedosto siirtyy verkon yli.

Lämminsiirtomittausten avulla oli tarkoitus selvittää, kuinka tehokkaasti Steelhead pystyi nopeuttamaan ja vähentämään laajaverkon yli siirtyvän liikenteen määrää sellaisen

liikenteen osalta, josta sillä oli jo muistissa viittauslohkoja ja joihin Steelhead pystyi viittaamaan suorittaessaan tutun aineiston siirtoa laitteiden välillä.

10%-siirtojen mittauksissa siirrettiin sellaisia tiedostoja verkon yli, jotka oli jo siirretty aikaisemmin, mutta joiden sisältö oli siirtojen välillä muuttunut noin 10%. Näin ollen Steelheadeilla oli käytettävissään muistissa olevat viittaukset alkuperäisestä tiedostosta kylmäsiirtojen aikana luotuihin viitemerkintöihin, mutta ei tiedostojen muuttuneisiin osioihin. Näidenkin siirtojen tarkoitus oli selvittää Steelheadien kykyä nopeuttaa tiedon-siirtoa ja vähentää laitteiden välillä siirtyvää tiedonmäärää siirtojen aikana.

4.4.3 Tiedostonsiirtojen suorittaminen

Optimoimattomissa siirroissa tiedostoja siirrettiin verkon yli jaetusta Branch-työaseman verkkokansioista DC-työaseman optimoimattomalle liikenteelle tarkoitettuun verkkokansioon. Tähän liikenteeseen ei kohdistettu optimointia. Optimoidut siirrot ja mittaukset suoritettiin siten, että gigEnnillä simuloitiin verkkoon linjanopeus ja verkkoviive - sama tehtiin optimoimattomissa siirroissa - sekä Steelheadeilta tyhjennettiin viittausmuisti (data storage). Tämän jälkeen verkon yli optimointiin tarkoitettujen DC- ja Branch-työasemien verkkokansioiden välillä lähetettiin tiedostoja yksi tiedostotyyppi kerrallaan.

Ensin suoritettiin tiedoston kylmäsiirto, sillä Steelheadeilla ei viittausmuistin tyhjentämisen jälkeen ole muistissaan viittausmerkintöjä, joita ne voisivat hyödyntää tiedoston-siirrossa. Kylmäsiirron jälkeen sama tiedosto lähetettiin verkon yli uudelleen, eli tehtiin lämminsiirto. Näissä siirroissa Steelheadeilla oli jo muistissaan viittausmerkintöjä tiedostoista. Viimeiseksi lähetettiin muutettu versio samasta tiedostosta, eli suoritettiin 10%-mittaus. 10%-mittauksissa Steelheadit pystyivät osin hyödyntämään viittausmerkintöjään tiedostonsiirrossa, mutta koska tiedoston sisältö oli muuttunut, ei tiedostosta ollut täydellisiä viittausmerkintöjä.

Siirtojen jälkeen Steelheadien viittausmuisti tyhjennettiin uudelleen jonka jälkeen suoritettiin samat siirrot seuraavalla tiedostotyyppillä. Tämä toistettiin kaikkien tiedostotyyppien osalta, kunnes kaikki mittaukset oli tehty linjanopeus/verkkoviive -yhdistelmällä,

jonka jälkeen näitä arvoja muutettiin. Kaikki mittaukset, niin optimoimattomat kuin optimoidut, suoritettiin 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeuksilla sekä 20, 40, 60, 80, 100, 150 ja 200ms verkkoviiveillä.

4.5 Mittausten tavoite

Mittausten tavoite oli selvittää kuinka tehokkaasti tiedonsiirto optimoituu Steelheadeilla, missä määrin optimointiteho muuttuu verkon linjanopeuksia ja vasteaikoja muutettaessa sekä millainen vaikutus tiedostotyypillä on optimointiin. Tulosten teoreettisen arvon lisäksi näiden selvittäminen oli toivottua, sillä kun tiedetään mitattavien määreiden vaikutus optimointiin, voidaan paremmin arvioida Steelheadeihin siirtymisen hyödyllisyyttä.

5 MITTAUSTULOKSET

5.1 Yleisiä havaintoja

Tehdyistä mittauksista oli havaittavissa muutamia seikkoja. Optimoimattomissa siirroissa 20ms vasteajan siirrot 1Mbit/s linjanopeudella olivat hitaampia kuin seuraavien vasteaikaisten siirrot aina noin 80-100ms siirtoihin. Tämä ilmiö toistui kaikilla tiedostotyypeillä, mutta vain 1Mbit/s linjanopeudella, ja oli täysin toistettavissa.

Huomioitavaa viitearvoiksi otetuissa optimoimattomissa siirroissa oli myös, että siirtoajoista tehdyt kuvaajat muodostivat kaikilla tiedostotyypeillä samanlaisen käyrän, vaikka siirtoajoissa oli huomattavasti eroa 5Mb tiedostojen ja 20Mb kokoisen pakatun tiedoston välillä. Kuvaajia luettaessa on huomattava, että kuvaajat eivät oletusarvoisesti muodosta tasaisia kuvaajia x-akselin eli vasteajan suhteen, sillä viisi ensimmäistä arvoa ovat 20ms välein, kun taas kaksi viimeistä arvoa ovat 50ms välein.

Optimoitujen siirtojen mittaustuloksissa havaittiin melko paljon varianssia, eli tulosten poikkeamia kyseisen sarjan keskiarvosta. Jonkin asteista varianssia tapahtui kaikilla tiedostotyypeillä mittauksissa niin siirtoaika- tai optimointisuhdemittauksissa. Pääasiallisesti havaittu varianssi osui kuitenkin kylmäsiirtoihin sekä tietyille tiedostotyypeille: valokuva-, video- ja pakatun tiedoston siirroissa havaittiin varsin paljon varianssia verrattuna muihin tiedostotyyppeihin.

Testimittausten alussa mittaukset toistettiin niissä sarjoissa, joissa huomattavaa varianssia tapahtui, Steelheadin viittausmuistit välissä tyhjentäen, mutta koska poikkeamat toistuivat huomattavasti useammin kuin normalisoituivat, oli luonnollisista säilyttää alkuperäiset mittaustulokset kaikilta osin voimassa ja hyväksyä mittauksissa havaitut poikkeamat.

5.2 Havainnot optimoiduista siirroista

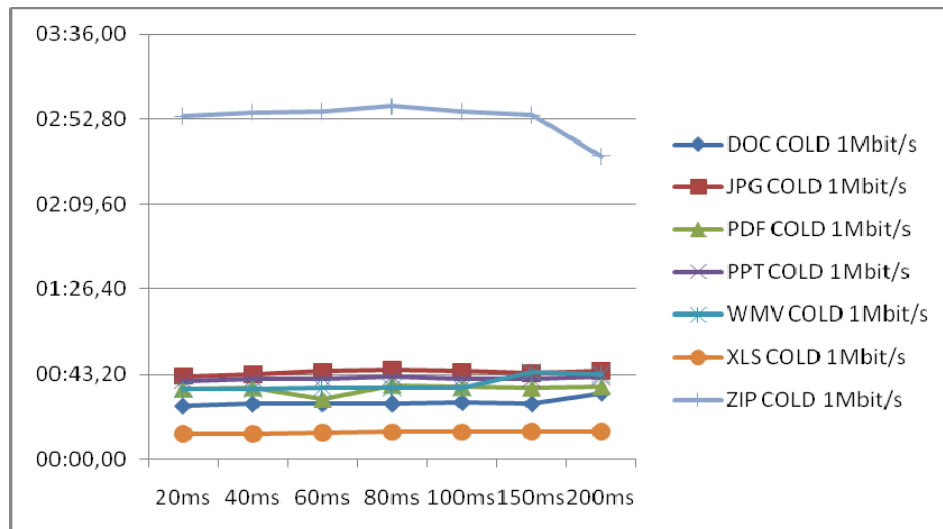
Optimoitujen siirtojen mittaustuloksien kautta tutkittiin linjanopeuden, vasteajan ja tiedostotyyppin vaikutusta optimointiin ja siirtoaikoihin. Tämän lisäksi tiedonsiirron optimoimisen kannalta oli oleellista selvittää, miten eri siirtotyypit vaikuttavat optimointiin.

5.2.1 Siirtotyyppin vaikutus optimointiin

Kylmäsiirroissa tiedostonsiirto oli hitainta kaikista optimoiduista siirtotyypeistä. Syynä tähän oli se, että kylmäsiirroissa laitteilla ei ollut entuudestaan muistissaan viitemerkintöjä siirrettävästä tiedostosta. Sen sijaan laitteet muodostivat viitemerkintöjä tiedostoista tiedonsiirron yhteydessä. Näin ollen Steelheadien välillä verkon yli siirtyi huomattavasti enemmän tietoa kuin lämmin- ja 10%-siirroissa. Tämä heijastui suoraan siirtoaikoihin.

Kylmäsiirtojen mittaustuloksista havaittiin, että 1Mbit/s linjalla optimoimattomaan tiedostonsiirtoon verrattuna kylmäsiirrot olivat kaikilla tiedostotyypeillä nopeampia, tosin eron suuruus optimoitujen ja optimoimattomien siirtoaikojen välillä hieman vaihteli tiedostotyyppin mukaan. Tulokset osoittivat myös, että kun kylmäsiirroissa linjanopeutta kasvatettiin aina 10Mbit/s saakka, ei siirtoajoissa tai optimointitehoissa tapahtunut käytännössä ollenkaan muutosta 1Mbit/s kylmäsiirtoihin siirtoihin verrattuna, mikäli mittaustuloksissa esiintyviä variansseja ei huomioitu.

Vasteajalla oli vaikutusta kylmäsiirtoaikoihin, mutta vaikutus ei ollut läheskään samaa tasoa verrattuna optimoimattomiin siirtoihin ja niissä havaittuun vasteajan vaikutukseen. Vasteajan vaikutus kylmäsiirtoihin oli - linjanopeudesta ja tiedostotyyppistä riippumatta ja mikäli mittauksissa esiintyneitä poikkeamia ei oteta huomioon - noin 5-20% luokkaa siirtoaikojen kasvussa kun verrattiin 20ms ja 200ms vasteaikojen siirtoja keskenään. Oheisesta kuvasta nähdään miten tiedostojen kylmäsiirtoaajat kehittyivät verkon vasteajan kasvaessa (Kuva 12).

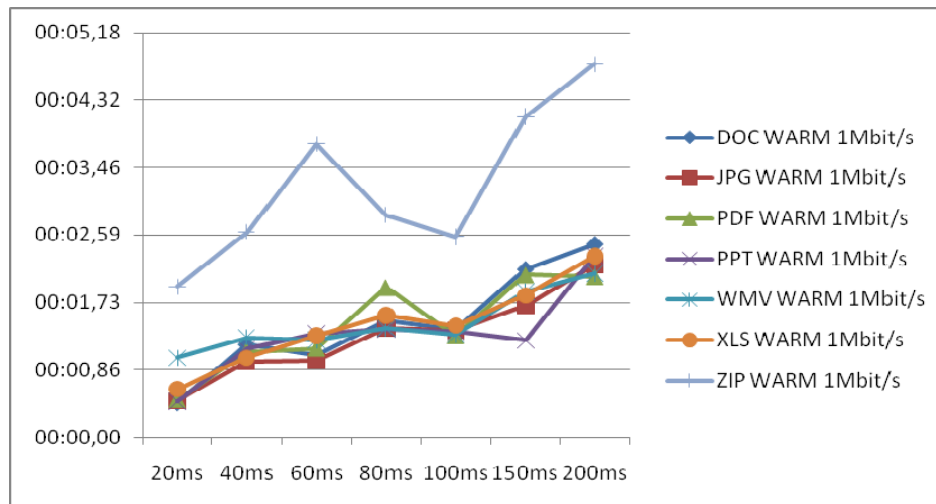


Kuva 12. Kaikkien tiedostojen kylmäsiirtoajat 1Mbit/s linjalla

Lämminsiirrot olivat selvästi nopeimpia kaikista siirtotyypeistä. Näissä siirroissa Steelheadeilla oli jo käytössään tiedostoista viittausmerkintöjä, joten verkon yli ei tarvinnut lähettää kuin murto-osa tiedostojen varsinaisesta sisällöstä. Suurimpaan osaan tiedostojen sisällöstä pystyttiin viittaamaan siirron aikana ja tiedostot koottiin näiden viittausmerkintöjen perusteella alkuperäiseen muotoonsa vastaanottavalla Steelheadilla.

Lämminsiirtojen mittaustulosten perusteella havaittiin, että linjanopeus ei juuri vaikuttanut siirtonopeuksiin näissäkään siirroissa. Tulosten perusteella lämminsiirtojen siirtoaikoihin vaikutti selvästi enemmän vasteaika, tosin vasteajankin vaikutus on suhteellisen vähäistä kokonaissiirtoajoissa.

Tiedostotyyppin vaikutus lämminsiirtoihin ei korostunut. Kaikki 5Mb kokoiset tiedostot siirtyivät noin 0,5-2,5 sekunnissa 20ms vasteajan kasvaessa 200ms:n, vaikka pientä varianssia oli havaittavissa joissain sarjoissa, mikä hieman vääristää tuloksia. Samalla vasteaikavälillä neljä kertaa muita suurempi pakattu tiedosto siirtyi noin 2-5 sekunnissa. Merkittävää on huomata, että kaikkien tiedostojen lämminsiirtoajat kasvoivat vasteajan kymmenkertaistuessa vain noin 2-2,5 sekuntia, tosin prosentuaalisesti tämä merkitsi kuitenkin jopa noin 400% kasvua (kuva 13).

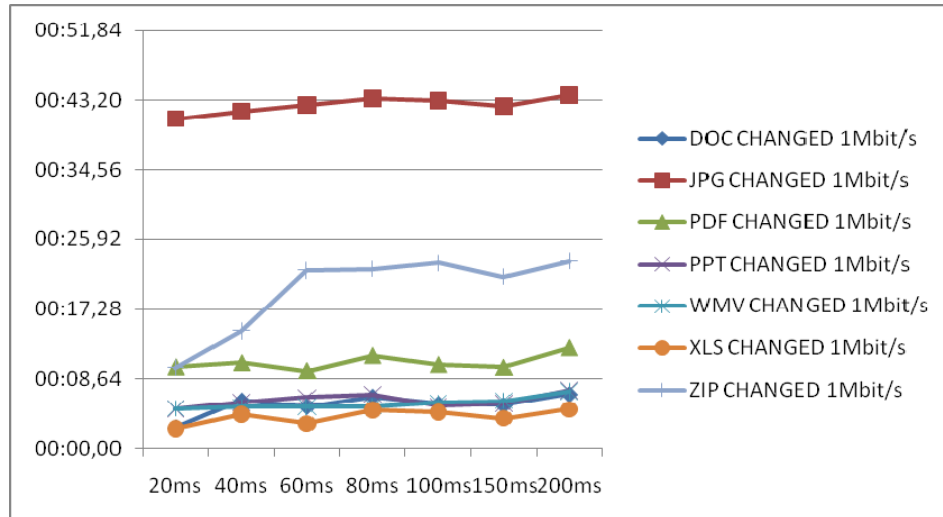


Kuva 13. Kaikkien tiedostojen lämminsiirtoajat 1Mbit/s linjalla

10%-siirtojen siirtoajat olivat kauttaaltaan nopeampia kuin kylmäsiirrot ja hitaampia kuin lämminsiirrot, mutta mitatut siirtoajat vaihtelivat tiedostojen kesken. Näissä siirroissa Steelheadeilla oli käytössään tiedostoista viittausmerkintöjä, mutta koska sisältö oli muuttunut, ei muistissa olevia viittausmerkintöjä voitu hyödyntää kokonaisuudessaan. Tämä heijastui 10%-siirtojen siirtoaikoihin.

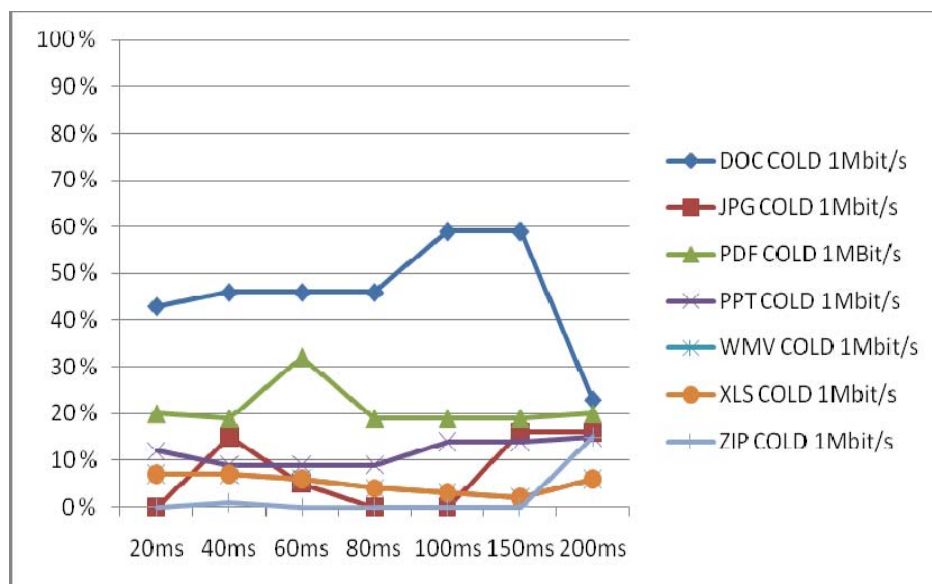
Hitaimpia 10%-siirtoja olivat valokuvan siirrot, jotka olivat keskimäärin vain 2 sekuntia nopeampia kuin vastaavat valokuvan kylmäsiirrot, jotka puolestaan olivat vain muutamia sekunteja optimoimattomia siirtoja nopeampia. Muiden tiedostojen 10%-siirroissa siirtoajat olivat lähempänä lämminsiirtoaikoja, tiedostojen siirtyessä verkon yli noin 5-10 sekunnissa riippuen tiedostotyyppistä. Huomioitavaa on, että 20Mb kokoinen pakattu tiedosto siirtyi näissä siirroissa nopeammin kuin 5Mb kokoinen valokuvatiedosto.

Kuten muissa siirtotyypeissä, ei linjanopeudella ollut huomattavaa vaikutusta 10%-siirtojen siirtoaikoihin ja vasteajan vaikutus on kaikilla tiedostotyypeillä keskimäärin 2-3 sekuntia vasteajan kasvaessa 20 millisekunnista 200 millisekuntiin laajaverkossa, eli lähes saman verran mitä kylmä- ja lämminsiirroissa (kuva 14). Ainoan poikkeuksen muodostivat pakatun tiedoston siirtoajat, jotka kasvoivat yli kaksinkertaiseksi samalla vasteaikalvällä 1Mbit/s linjanopeudella. Toisaalta tämä johtui pakatun tiedoston siirroissa havaitusta varianssista.



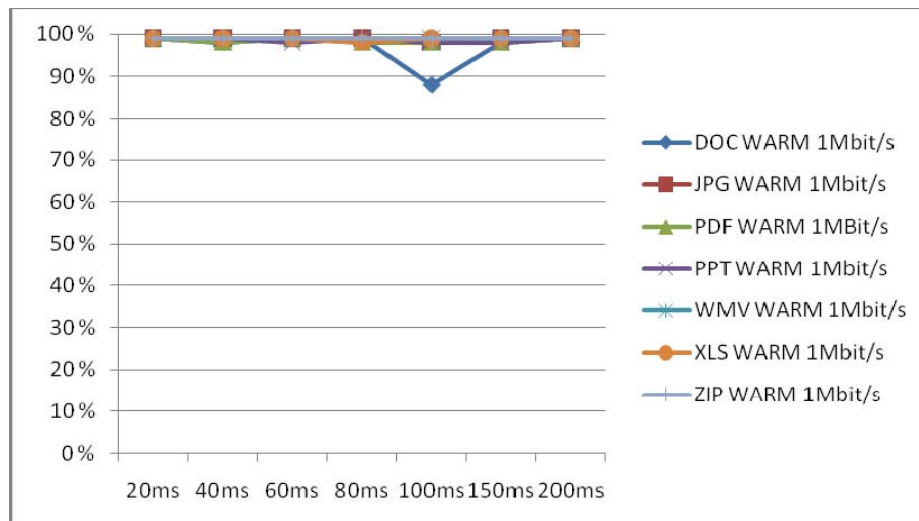
Kuva 14. Kaikkien tiedostojen 10%-siirtoajat 1Mbit/s linjalla

Siirtotyyppi vaikutti selvästi myös optimointisuhteeseen. Kylmäsiirroissa siirrot eivät optimoituneet tehokkaasti ja optimointisuhteet olivat keskimäärin noin 20-30%, tosin Excel-tiedosto muodosti tässä poikkeuksen, optimoituen yli 70% tehokkuudella kylmäsiirroissa. Varianssia kylmäsiirtojen optimointisuhteissa oli melko paljon (kuva 15). Syytä varianssille ei ole tiedossa, mutta alhainen optimointisuhde selittyy samalla tavalla kuin siirtotyypin siirtoaika, eli siirron aikana käytössä olevalla viitelohkojen hyödyntämisellä; kylmäsiirtojen tapauksessa sillä, että viitelohkoja ei vielä ollut muodostettu Steelheadeille.

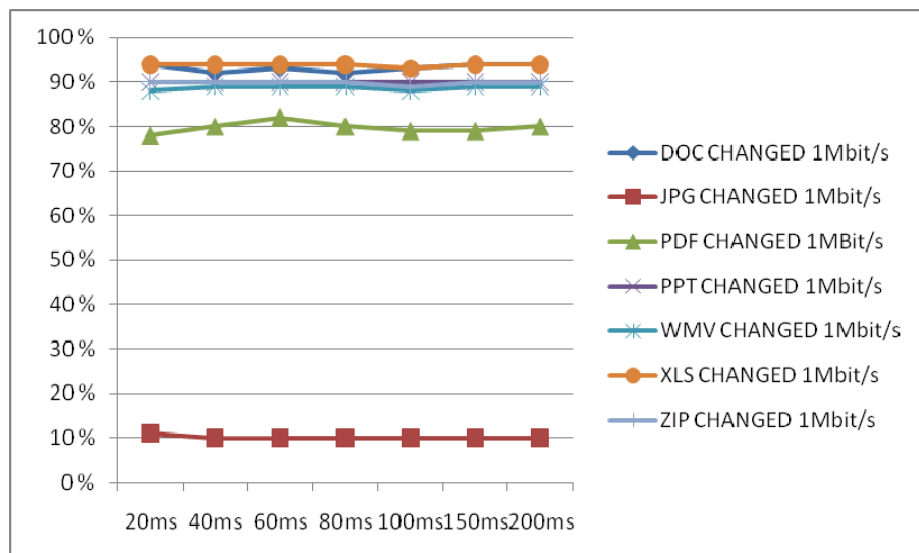


Kuva 15. Kylmäsiirtojen optimointisuhteet 1Mbit/s linjanopeudella

Lämminsiirrot olivat selkeästi tehokkaimpia myös optimointisuhdetta tarkasteltaessa ja käytännössä kaikissa tapauksissa, varianssia lukuun ottamatta, siirrot optimoituivat 98-99 prosenttisesti. 10%-siirrot optimoituivat myös tehokkaasti, tosin valokuvatiedoston siirto oli tässä suhteessa poikkeus, optimoituen vain noin 10% tehokkuudella, muiden tiedostojen optimoituessa 80-95% (kuva 16, 17)



Kuva 16. Lämminsiirtojen optimointisuhteet 1Mbit/s linjanopeudella



Kuva 17. 10%-siirtojen optimointisuhteet 1Mbit/s linjanopeudella

5.2.2 Linjanopeuden vaikutus optimointiin

Linjanopeuden vaikutusta tutkittaessa havaittiin, miten mittauksissa käytetty Steelhead-malli ja sen enintään 1Mbit/s linjanopeuden optimoinnin tukeminen vaikutti tuloksiin. Mittaukset tehtiin 1, 2, 4 ja 10Mbit/s verkkonopeuksilla, mutta Steelhead 250-L:t soveltuivat enintään 1Mbit/s verkkoliikenteen optimoimiseen. Tämä aiheutti mittaustuloksista havaittavan ilmiön: optimoitujen siirtojen siirtoajat eivät käytännössä nopeutuneet vaikka linjanopeutta moninkertaistettiin suhteessa alhaisimpaan linjanopeuteen. Tästä puolestaan seurasi se, että optimoimaton liikenne siirtyi 4Mbit/s ja 10Mbit/s linjanopeuksilla verkon yli nopeammin kuin optimoiduissa kylmäsiirroissa.

Tarkasteltaessa tiedoston siirron optimointisuhteita laajaverkon ja lähiverkon läpi menevän liikenteen osalta havaittiin, että linjanopeuksien muuttaminen ei vaikuttanut optimointiin. Poikkeavia tuloksia, varianssia, yleisestä optimointisuhdetrendistä tapahtui mittaussarjoissa, mutta tämän liittyminen linjanopeuteen ei vaikuttanut todennäköiseltä. Varianssi tuntui olevan satunnaista, joskin tietyissä tapauksissa toistuvaa, eikä tuntunut noudattavan mitään kaavaa linjanopeuden, vasteajan tai tiedostotyypin suhteen.

Siirtojen korkeat tai alhaiset optimointisuhdearvot eivät suoraan korreloituneet siirtonopeuksiin. Vaikka optimointisuhde joissain siirroissa, tietyillä vasteajoilla, oli huomattavasti heikompi kuin saman linjanopeuden muissa siirroissa, ei tämä näkynyt suoraan poikkeavien siirtojen siirtoajoissa. Tämän pystyi havaitsemaan siitä, että vaikka monissa siirtosarjoissa optimointisuhde vaihteli esimerkiksi 1% ja 50% välillä, eivät siirtoajat vastaavissa siirroissa seuranneet suoraan optimointisuhdetta, vaan keskimäärin pysyivät trendissä. Toisaalta myös siirroissa, joissa siirtoajassa tapahtui poikkeama suhteessa saman linjanopeuden muihin siirtoihin, ei optimointisuhde välttämättä poikennut saman sarjan muista mitatuista optimointisuhteista.

5.2.3 Vasteajan vaikutus optimointiin

Vasteajalla oli vaikutusta optimoitujen siirtojen siirtoaikoihin, tosin se jäi kaiken kaikkiaan melko vähäiseksi. Saatujen mittaustulosten perusteella oli havaittavissa, että kaikilla kolmella optimoidulla siirtotyypillä vasteajan kasvaminen 20ms 200ms:n kasvattaa siir-

toaikoja pääasiallisesti noin 2-3 sekuntia 5Mb tiedostojen siirroissa, mikäli mittaustulosten variansseja ei huomioitu.

Pakatun 20Mb kokoisen tiedoston kohdalla vasteajan vaikutus kylmäsiirroissa oli enimmillään noin 10 sekunnin luokkaa, tosin näissä pakatun tiedoston kylmäsiirroissa havaittu suhteellisen suuri varianssin määrä ja jopa nopeutunut tiedonsiirto 200ms vasteajalla verrattuna 20ms siirtoon vaikeuttivat johtopäätösten tekemistä. Lämminsiirroissa pakatun tiedoston siirtoajat kasvoivat samoissa määrin kuin muiden tiedostojen lämminsiirroissa, noin 2-4 sekuntia, samoin 10%-siirroissa yli 1Mbit/s linjanopeuksilla.

Suhteutettuna kunkin siirtotyypin siirtoaikoihin havaittiin, että vasteajan merkitys siirtoaikoihin oli varsin pientä kylmäsiirroissa. Joillain tiedostotyypeillä 2-3 sekunnin kasvu siirtoajassa merkitsi noin prosentuaalisesti 12% kasvua. Toisilla vastaava 2-3 sekunnin kasvu merkitsi prosentuaalisesti vain 2-4% kasvua siirtoajoissa. Verrattuna optimoimattomien siirtojen vasteajan vaikutukseen tämä oli pientä, sillä optimoimattomissa siirroissa vasteajan kasvaminen 200 millisekuntiin kasvatti siirtoaikoja noin 20% 1Mbit/s linjanopeudella ja jopa yli 200% 10Mbit/s linjanopeudella.

Lämminsiirroissa vasteajalla vaikutuksella ei ollut 5Mb kokoisissa tiedostoissa juurikaan eroa ja kaikissa tapauksissa lämminsiirtojen siirtoaikakäyrät ovat hyvin samanlaiset. 10%-siirroissa siirtoajat kasvoivat noin 2-4 sekuntia kaikilla tiedostotyypillä vasteajan vaikutuksesta.

Mittaustulosten perusteella vasteajan vaikutus optimointisuhteeseen oli vähäistä. Kullakin tiedostotyypillä optimointisuhte asetui tiettyyn arvoon lämmin- ja 10%-siirroissa, joissa vaihtelua tapahtui enintään 1-2 prosenttiyksikköä. Näissäkin siirroissa tosin havaittiin tiettyjen tiedostotyyppien kohdalla varianssia. Kylmäsiirroissa varianssia tapahtui sen verran enemmän, että selkeää kuvaajaa oli vaikea muodostaa mistään tiedostotyypistä, mutta missään tapauksessa ei optimointisuhte kasvanut tai heikentynyt selvästi kasvavan vasteajan mukana.

5.2.4 Tiedostotyyppin vaikutus optimointiin

Saadut tulokset osoittivat, että Steelheadien välillä kulkevan tiedon laadulla, eli tiedostotyypillä, oli merkitystä optimoitumisen kannalta. Tämä näkyi niin siirtoajoissa kuin optimointisuhteessa. Tiedostotyyppien välillä oli optimoinnissa havaittavissa eroa kylmä- ja 10%-siirroissa, eli niissä siirtotyypeissä joissa lähetetään uutta tietoa. Joissain tapauksissa ero muiden tiedostotyyppien mitattuihin arvoihin oli merkittävä.

Tiedostotyyppien väliset erot optimoitumisessa johtuvat tiedostojen sisällöstä, sillä tiedostojen sisältö vaikuttaa siihen miten RiOS:n suorittama pakkaaminen toimii eri tiedostotyyppien kohdalla, sekä siihen miten Steelheadit pystyvät tekemään siitä viittausmerkintöjä. Excel-taulukko, joka koostui useista sarjoista lukuja ja taulukkoja, optimoitui erittäin tehokkaasti, niin siirtonopeuden kuin optimointisuhteen suhteen, verrattuna muihin tiedostoihin mutta erityisesti valokuvatiedostoon.

Valokuvan kylmä- ja 10%-siirrot olivat erittäin hitaita verrattuna muihin tiedostotyyppisiin sekä optimoituivat huonolla suhteella. Tähän todennäköisesti vaikutti se, miten valokuva oli pakkautunut itsessään ja miten Steelheadit pystyivät pakkaamaan näitä tiedostoja edelleen ja kuinka tehokkaasti muodostamaan tästä tiedosta viitelohkoja käyttöönsä.

10%-siirtoja varten valokuvaa suurennettiin ja tallennuksen yhteydessä kuva pakkautui uudelleen tiedostomuotonsa mukana. Näin ollen vaikka alkuperäisen valokuvan ympärille vain lisättiin materiaalia, pakkautui uusi versio valokuvasta eri tavalla kuin alkuperäinen valokuva, eikä uudesta valokuvasta ollut käyttökelpoisia viittausmerkintöjä Steelheadien muistissa, vaikka valokuvasta oli jo tehty kylmä- ja lämminsiirrot. Tämä heijastui myös 10%-siirtojen siirtoaikoihin ja optimointisuhteeseen.

Tehokkaimmin optimoitui Excel-tiedosto. Tämä näkyi erityisesti erittäin nopeissa kylmäsiirtoajoissa sekä kylmäsiirtojen optimointisuhteissa. Steelheadit pystyivät käsittelemään taulukkomuodossa esitettyjä toistuvia lukuja huomattavasti tehokkaammin kuin esimerkiksi valokuvaa. Tällä selittyi Excel-tiedoston erittäin tehokas optimoituminen verrattuna muihin tiedostotyyppisiin.

Neljä kertaa muita suurempi pakattu tiedosto siirtyi hitaimmin kaikista tiedostotyypeistä, mutta suhteutettuna muiden tiedostojen kokoon olivat siirtoajat samaa luokkaa. Myös optimointisuhte oli samaa tasoa muiden tiedostojen kanssa. Ero siirtoajoissa ja optimointisuhteissa muiden tiedostojen kesken oli vähäisempää.

5.3 Optimoitujen siirtojen tulokset

Optimoiduissa siirroissa mitattiin siirtoajan sekä optimointisuhteen muuttumista linjanopeutta ja vasteaikaa kasvatettaessa kunkin tiedostotyyppin osalta kylmä-, lämmin- ja 10%-siirroissa. Eroja tiedostotyyppien välillä oli havaittavissa sekä siirtoajoissa että optimointisuhteissa. Linjanopeuden vaikutus tuloksiin oli kaikissa tapauksissa lähes olematon. Vasteajan vaikutus oli havaittavissa kaikilla siirto- ja tiedostotyypeillä, suhteellisesti voimakkaimmin lämminsiirroissa.

- DOC: Word-tiedoston kylmäsiirrot olivat selvästi nopeampia kuin optimoimattomat siirrot. Siirrot nopeutuivat huomattavasti lämminsiirroissa ja olivat nopeita myös 10%-siirroissa. Samoin tiedoston siirtämisen aikana verkon yli lähetettävä tiedon määrä oli kaikilla siirtotyypeillä vähäisempää kuin optimoimattomissa siirroissa. Mittaussarjoissa oli melko paljon varianssia. Mittauksista havaittiin, että linjanopeuden kasvattaminen ei käytännössä vaikuttanut mittaustuloksiin. Tarkemmat tulokset liitteessä 1.
- JPG: Valokuva ei hyötynyt kylmä- ja 10%-siirroista yhtä paljon kuin muut tiedostotyyppit. Silti siirrot tehostuivat optimoiduissa siirroissa verrattuna optimoimattomiin siirtoihin. Ero kylmäsiirron ja optimoimattoman siirron välillä jo 1Mbit/s yhteydellä oli pieni siirtoajan suhteen, ja korkeammilla linjanopeuksilla optimoimattomat siirrot olivat nopeampia. Lämminsiirrot olivat erittäin tehokkaita niin siirtoajan kuin optimointisuhdetta tarkasteltaessa. Tarkemmat tulokset liitteessä 2.
- PDF: PDF-tiedosto optimoitui hyvin ja vähäisellä varianssilla. Koska linjanopeuden muuttaminen ei vaikuttanut tämänkään tiedostotyyppin siirtoihin, eivät tu-

lokset muuttuneet mainittavasti korkeammilla linjanopeuksilla verrattuna 1Mbit/s siirtoihin. Tarkemmat tulokset liitteessä 3.

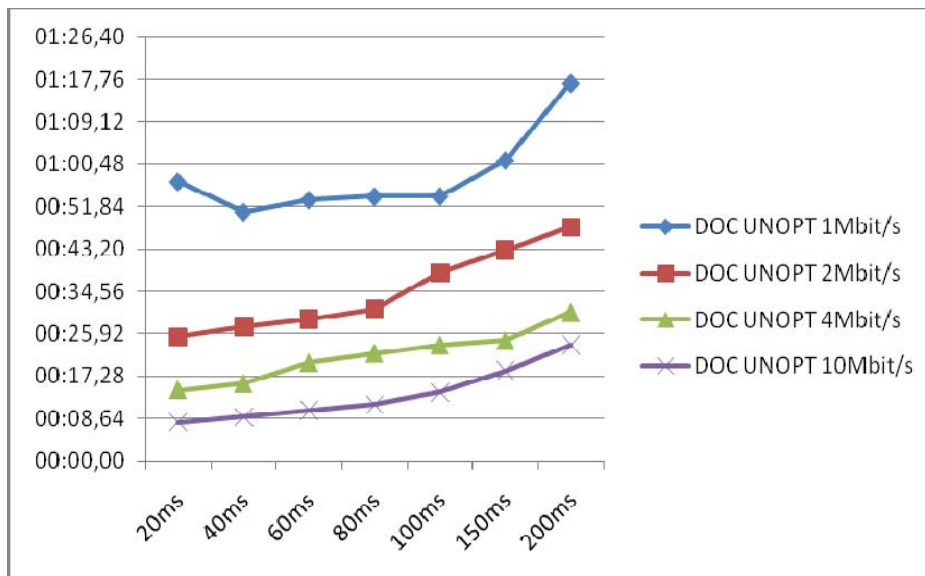
- PPT: PowerPoint-tiedosto optimoitui keskimäärin hyvin niin siirtonopeuksien ja optimointisuhteiden suhteen. Koska linjanopeuden muuttaminen ei vaikuttanut tämänkään tiedostotyyppin siirtoihin, eivät tulokset muuttuneet mainittavasti korkeammilla linjanopeuksilla verrattuna 1Mbit/s siirtoihin. Tarkemmat tulokset liitteessä 4.
- WMV: Videotiedosto optimoitui hyvin niin siirtonopeuksien ja optimointisuhteiden suhteen. Koska linjanopeuden muuttaminen ei vaikuttanut tämänkään tiedostotyyppin siirtoihin, eivät tulokset muuttuneet mainittavasti korkeammilla linjanopeuksilla verrattuna 1Mbit/s siirtoihin. Tarkemmat tulokset liitteessä 5.
- XLS: Excel-tiedosto optimoitui erittäin tehokkaasti niin siirtoaikojen kuin optimointisuhteen kannalta. Kuten muissakin tapauksissa eivät optimoitujen siirtojen siirtoaikat muuttuneet linjanopeuden kasvaessa. Tarkemmat tulokset liitteessä 6.
- ZIP: Pakattu tiedosto oli neljä kertaa suurempi kuin muut tiedostot, mikä näkyi korkeampina siirtoajoissa. Suhteutettuna tiedoston kokoon siirtoaikat olivat kuitenkin samaa tasoa kuin muilla tiedostotyypeillä. Tarkemmat tulokset liitteessä 7.

5.4 Optimoimattomien siirtojen tulokset

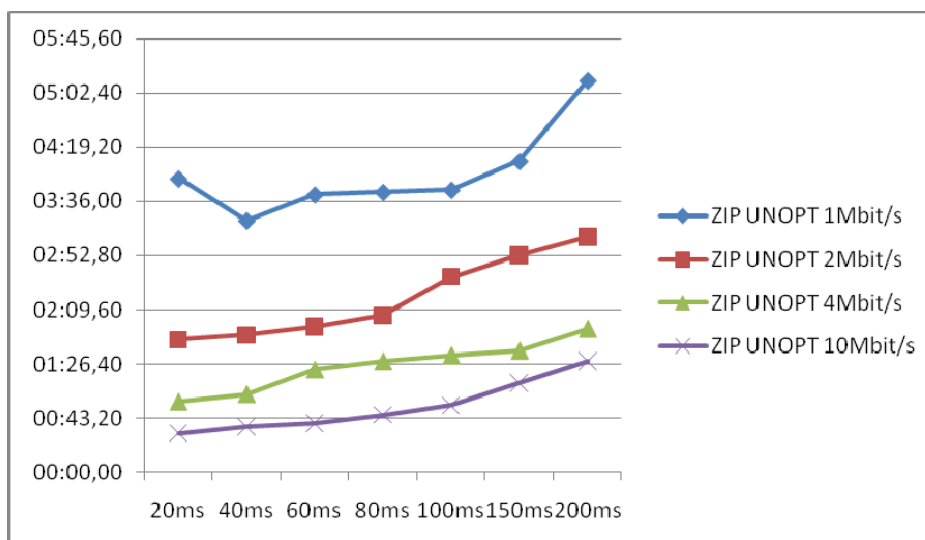
Optimoimattomat tiedostonsiirrot tehtiin vertailukohdaksi optimoitujen siirtojen tuloksia varten. Näissä mittauksista havaittiin miten linjanopeus ja vasteaika vaikuttavat tavanomaiseen, optimoimattomaan tiedonsiirtoon. Mittausten avulla saatiin myös viitettä siitä miten tavanomainen verkon nopeuttamisen keino, eli linjanopeuden kasvattaminen vaikuttaa käytännössä verkon ja tiedostonsiirron nopeuteen, kun verkossa ei ole Riverbed optimointia käytössä.

Saaduista tuloksista havaittiin, että linjanopeuden kasvattaminen optimoimattomissa siirroissa vaikutti selvästi siirtoaikoihin. Linjanopeuden vaikutus siirtoaikoihin riippui kuitenkin myös verkon vasteajasta eivätkä siirtoajat näin ollen muuttuneet samassa suhteessa kuin linjanopeudessa tapahtui kasvua. Alhaisella vasteajalla linjanopeuden kasvattaminen vaikutti huomattavasti enemmän siirtoaikojen nopeutumiseen kuin korkeammilla vasteajoilla. Korkeammilla vasteajoilla linjanopeuden kasvattamisesta saatava ajallinen hyöty tiedostonsiirroissa pieneni prosentuaalisesti varsin merkittävästi.

Siinä missä linjanopeus ja vasteaika vaikuttivat tiedostojen siirtoaikoihin, ei tiedostotyyppillä ollut huomattavaa vaikutusta. Kaikilla tiedostotyypeillä siirtoajat olivat lähes identtisiä, poikkeuksena pakattu tiedosto, jolla siirtoajat olivat korkeammat suuremman tiedostokoon takia (kuva 18, 19). Näin ollen dokumenttiedoston siirroista saatu kuvaaja vastasi hyvin tarkasti myös muiden tiedostotyyppien vastaavia käyriä. Liitteestä 8 löytyy kaikki optimoimattomien siirtojen kuvaajat.



Kuva 18. Doc-tiedoston siirtyminen optimoimattomassa verkossa linjanopeuden ja vasteajan kasvaessa



Kuva 19. Zip-tiedoston siirtyminen optimoimattomassa verkossa linjanopeuden ja vasteajan kasvaessa

1Mbit/s ja 20ms siirroissa havaittiin kaikilla tiedostotyypeillä ilmiö, jossa siirtoajat olivat muutamia sekunteja hitaampia kuin korkeamman vasteajan siirroissa samalla linjanopeudella. Vasta 150ms ja korkeammilla vasteajoilla 1Mbit/s yhteyksissä siirtoajat olivat kauttaaltaan nopeampia kuin 20ms ajoissa. Sama ilmiö ei toistunut korkeammilla linjanopeuksilla.

Linjanopeuksia kasvatettaessa siirtoajat nopeutuivat kauttaaltaan, mutta eivät samassa suhteessa linjanopeuden kasvuun, ja vähenevässä määrin verkon vasteajan kasvaessa. 20ms siirroissa siirtoajat melko tarkkaan puolittuivat nostettaessa linjanopeus 2Mbit/s:n. Kaksinkertaistettaessa jälleen linjanopeus 4Mbit/s:n ja vasteajan pysyessä samana siirtoajat eivät aivan puolittuneet, mutta olivat vielä noin 55% 2Mbit/s siirtoajoista. Tästä edelleen linjanopeutta nostettaessa 10Mbit/s:n, eli 2,5-kertaistettaessa linjanopeus havaittiin, että siirtonopeudet eivät nopeutuneet samassa suhteessa linjanopeuden mukana.

40ms optimoimattomissa ajoissa huomattiin selvemmin, että linjanopeuden kasvattaminen ei pienennä käänteisesti samassa suhteessa siirtoaikoja. Ilmiö selkeytyi vasteaika kasvatettaessa. Kun linjanopeus kaksinkertaistettiin 2Mbit/s, siirtoajat olivat noin 55% 1Mbit/s siirtoajoista. Edelleen kasvatettaessa linjanopeus 4Mbit/s:n siirtoajat olivat noin 60% verrattuna 2Mbit/s siirtoihin. 10Mbit/s linjanopeudella siirtoajat olivat silti vain noin 60% 4Mbit/s siirtoajoista. 10Mbit/s siirtoajat olivat noin 18% 1Mbit/s siirtoajoista.

Vasteaikojen kasvattaminen edelleen 60, 80, 100, 150 ja 200ms:n vaikutti huomattavasti siirtoaikoihin. Siinä missä 20ms siirroilla 10Mbit/s siirtoajat olivat noin 13% 1Mbit/s siirtoajoista, olivat 100ms siirroilla 10Mbit/s siirtoajat noin 25% 1Mbit/s siirtoajoista. 200ms siirroilla 10Mbit/s siirtoajat olivat noin 30% 1Mbit/s siirtoajoista. Luvut olivat noin 2% marginaalilla samaa luokkaa kaikilla tiedostotyypeillä.

Saaduista tuloksista voitiin todeta, että optimoimattomissa tiedostonsiirroissa linjanopeus vaikutti tiedostojen siirtonopeuksiin varsin merkittävästi, mutta ei suhteessa linjanopeuden kasvattamiseen. Samoin vasteajan kasvaminen heikensi huomattavasti linjanopeuden lisäämisen tuomaa etua korkeampien siirtonopeuksien saavuttamisessa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Odotukset ja havainnot

Taustatutkimusta tehdessäni ja mittauksia aloittaessani oli oletukseni, että optimoitu tiedonsiirto olisi huomattavasti tehokkaampaa verrattuna tavanomaiseen, optimoimattomaan tiedonsiirtoon. Odotuksena oli, että ero siirtoajoissa optimoidun ja optimoimattoman siirron välillä olisi merkittävä jo kylmäsiirroissa ja erityisesti huomattavaa muilla siirtotyypeillä.

Oletin, että vasteajalla ja sen kasvulla olisi selvästi vaikutusta optimoitujen siirtojen nopeuteen, sillä vaikka laitteet välittävätkin verkon yli viitetietoja kokonaisten tiedostojen sijaan, vaikuttaa verkkoviive tähän tiedon välitykseen. Tiedostotyypillä uskoin olevan vaikutusta optimointiin, sillä RiOS käyttää erityisesti kylmäsiirroissa pakkaamista, jolloin myös tiedon sisällön täytyy vaikuttaa pakkaamisen tehokkuuteen. Verkon nopeudella uskoin olevan selvästi vaikutusta optimoituihin siirtoihin.

Saaduista tuloksista havaitsin, että puhdasta tiedostonsiirtoa tarkasteltaessa Steelheadit voivat olla erittäin tehokkaita nopeuttamaan ja tehostamaan verkkojen välillä tapahtuvaa tiedonsiirtoa. 1Mbit/s linjanopeudella kylmäsiirrot olivat kaikissa tapauksissa nopeampia kuin tavalliset tiedostonsiirrot joissa ei ollut käytössä Riverbedin optimointitekniikkaa. Kun verkon yli siirrettiin jo viitemerkittyä tietoa niin tiedonsiirto tehostui valtavasti, mikä näkyi lämmin- ja 10%-siirtojen erittäin nopeina siirtoaikoina ja suurina tiedon optimointisuhdearvoina.

Vasteajan vaikutusta optimointiin oli arvioitavissa mittaustuloksista. Niistä nähtiin, että vasteajan kasvattaminen 20 millisekunnista 200 millisekuntiin ei millään optimoidulla siirtotyypillä eikä millään tiedostotyypillä vaikuttanut siirtoaikoihin ja tiedon optimointisuhteeseen läheskään yhtä huomattavasti kuin verrattuna vasteajan vaikutusta optimoimattomassa tiedostonsiirroissa. Toisaalta vasteajan vaikutuksen vähäisyys optimoituihin siirtoihin oli jälkikäteen ajateltuna odotettavaa, sillä eräs optimointitekniikoiden tavoite on vähentää vasteajan vaikutusta verkkoliikenteeseen.

Siirtoaikojen muutos oli kaikissa tapauksissa enintään muutamien sekuntien luokkaa vasteajan kasvaessa, tosin mikäli verkossa olisi siirretty huomattavasti suurempia tiedostoja, olisi myös vasteajan vaikutus ollut näkyvämpää. Silti voidaan todeta, että vasteaika ei vaikuta läheskään niin merkittävästi optimoituihin siirtoihin kuin optimoimattomiin siirtoihin. Tämä on hyvä huomioida Steelhead-ratkaisuun siirtymistä harkittaessa, sillä on merkittävä etu, ettei verkon korkea vasteaika huomattavasti heikennä optimointitehoa.

Samoin havaitsin, että optimoitavan tiedoston tyyppillä oli merkitystä siirtojen optimoitumisen kannalta. Tiedostotyyppin vaikutus optimointiin korostui kylmä- ja 10%-siirroissa, eli niissä joissa Steelheadit eivät pystyneet lähes täysin hyödyntämään viite-merkintöjä siirrettävästä tiedosta. Näin ei puolestaan ollut optimoimattomissa siirroissa, joissa tiedostotyyppien siirtoajoissa ei ole juurikaan eroa samankokoisten tiedostojen kesken. Optimoiduissa siirroissa tiedostotyyppien välillä oli huomattavia eroja niin siirtoajoissa ja optimointisuhteessa. Näiltä osin pystyin tulosten perusteella vastaamaan tutkimuksen tehtävänantoon.

6.2 Tulosten pätevyys

Laitteiston toimintarajoissa suoritettujen mittaustulokset antoivat kuvan laitteiden tehosta liikenteen kiihdyttämisessä. Korkeammilla linjanopeuksilla suoritettujen tulosten ei pitäisi antaa viitettä siitä miten linjanopeus vaikuttaa optimointiarvoihin. Mittauksissa optimoidut siirrot eivät käytännössä ollenkaan nopeutuneet, kun mittauksia tehtiin laitteen linjanopeuden rajojen ulkopuolella. Toisaalta ne tukivat 1Mbit/s linjalla tehtyjen mittausten tuloksia ja havaintoja muilta osin.

Tuloksista saatiin viitteitä Steelheadien optimointitehosta, niiden vastatessa tiedostotyyppin sekä vasteajan vaikutukseen verkkojen välillä tapahtuvassa tiedonsiirron optimoinnissa. Laitteisto oli kuitenkin rajoittunut toimimaan enintään 1Mbit/s linjanopeuksilla, joten suurempia linjanopeuksia käsittelevät tulokset eivät kaikilta osin olleet vertailukelpoisia. Näin ollen saamieni tulosten perusteella ei voitu täysin vastata yhteen työn kannalta oleelliseen kysymykseen: miten linjanopeus ja sen kasvattaminen vaikuttaa Riverbed Steelheadien optimointiin.

Saadut tulokset joka tapauksessa tukivat osittain ennakko-odotuksiani. Vasteajalla oli vaikutusta optimoitujen siirtojen nopeuksiin, tosin tämä ei ole lähellekään siinä määrin mitä odotin, eikä sillä tasolla kuin optimoimattomissa siirroissa. Sitä miten vasteaika olisi vaikuttanut huomattavasti suurempien tiedostojen siirtoihin, tai olisiko vasteajan vaikutus voimistunut tai heikentynyt linjanopeuden kasvaessa, ei voitu arvioida varmuudella.

Tulokset todistivat myös, että tiedostotyyppillä on merkitystä CIFS-siirtojen optimoinnissa, mikä oli alun perinkin odotuksena. En kuitenkaan odottanut, että ero eri tiedostojen välillä olisi näin suuri mitä tulosten puolesta oli havaittavissa. Tämä on merkittävä huomioida, sillä erityisesti kylmäsiirroissa ei Steelheadien suorittamasta optimoinnista ole välttämättä erityisen huomattavaa hyötyä. Näin ollen, riippuen ympäristöstä ja verkkoliikenteen luonteesta, eivät Steelheadit välttämättä tuo toivottua hyötyä verkonliikenteen kiihdyttämisessä, ainakaan kaikilta osin.

Tulosten perusteella ei pystytty arvioimaan miten siirtonopeudet ja siirtojen optimointisuhte olisivat kehittyneet korkeammilla linjanopeuksilla. On mahdollista, että optimoidut siirrot olisivat entisestään tehostuneet suhteessa optimoimattomiin siirtoaikoihin, erityisesti kylmäsiirroissa, joissa siirtoajat nyt olivat kaikista lähellä optimoimattomia siirtoaikoja. Tätä ei kuitenkaan voitu näyttää toteen.

Liikenteen optimoitumisen tehostuminen tai ainakin yhtä tehokkaasti optimoituminen oli oletettavaa korkeammilla linjanopeuksilla kuin nyt 1Mbit/s linjanopeuksilla, sillä Steelheadeista on huomattavasti tehokkaamman luokan malleja. Tämän todentamiseen olisi kuitenkin mittauksissa tarvittu mallia, joka pystyy suorittamaan optimointia vähintään 10Mbit/s verkossa. Tähän olisi soveltunut esimerkiksi keskisuuriin toimistoihin tarkoitettu 1050-H -malli.

6.3 Jatkokehittely

Työn tavoitteena oli saada käyttö- ja vertailukelpoista dataa Steelheadien optimointitehoista. Vaikka saamani tulokset eivät kaikilta osin ole vertailukelpoisia, voidaan tekeäni mittauksia ja mittaustapoja käyttää pohjana tuleville mittauksille tutkittaessa Steelheadien tai jonkun muun optimointitekniikan tehoa.

Mikäli Steelheadien tiedostonsiirron optimointitehoa halutaan tutkia jatkossa samoin menetelmin, tulee mittausten speksien kohdata täysin käytettävän laitteiston rajoitusten kanssa. Tutkimalla alle 1Mbit/s linjanopeuksia Steelhead 250-L -mallilla saadaan kattavampaa tietoa optimoitumisen kehittymisestä linjanopeuden vaikutuksesta optimointiin. Vastaavasti mikäli halutaan tutkia korkeampien linjanopeuksien siirtoja - nykyään laajaverkot ovat usein moninkertaisesti nopeampia kuin 1Mbit/s - tulee mittauksissa käyttää tehokkaampia laitemalleja.

Optimointitehon tutkimusta voidaan laajentaa esimerkiksi lisäämällä verkkoon liikennettä ja tutkimalla miten TCP-yhteyksien määrä ja lisääntynyt, samanaikainen verkko-liikenne vaikuttavat tiedostonsiirron optimoitumiseen. Kattavien tulosten saamiseksi mittauksia voitaisiin laajentaa myös muihin sovelluksiin kuin tiedonsiirtoon ja esimerkiksi tutkia verkkosovellusten toiminnan nopeutumista Steelhead-ympäristössä.

7 YHTEENVETO

Tarkoitukseni oli tutkia laajaverkon yli tapahtuvaa tiedonsiirtoa muuttuvissa olosuhteissa ja sen pohjalta kerätä käyttökelpoisia mittaustuloksia. Työstä saamieni tulosten perusteella Steelheadit voivat olla erittäin tehokas tekniikka kiihdyttämään verkkoliikennettä tiedonsiirrossa kun kaistanleveys on rajallinen tai kun verkkoviiveet ovat suuria.

Täysin vertailukelpoisia tuloksia en mittauksista saanut, sillä laitteisto tuki 1Mbit/s linjanopeuksia ja mittauksia suoritin osittain korkeammilla nopeuksilla. Tästä johtuen en voinut todeta missä määrin linjanopeus vaikuttaa laitteiden suorittamaan optimointiin. Toisaalta tuloksista havaitaan, että kun toimitaan laitteiston rajoitusten puitteissa, antavat Steelheadit huomattavan hyödyn alentamalla siirtoaikoja sekä tiedonsiirron käyttämää kaistaa, sekä verkon vasteajat ja liikennetyyppi vaikuttavat optimoinnin tehoon.

Mikäli olisi haluttu arvioida laitteiden käyttöönottamisen hyötyä todellisessa yritysverkossa, olisi aihetta täytynyt tutkia laajemmin. Täytyy huomioida, että tiedonsiirto on vain yksi osa yritysten verkkoliikennettä. Työn laajuuden kannalta työn rajaaminen tiedonsiirtoon oli kuitenkin olennaista, sillä pelkästään tämän osa-alueen tutkiminen tuotti niin runsaasti tutkimustuloksia, että useamman osa-alueen tutkiminen olisi vaatinut huomattavasti laajempaa tutkimusta, mikä ei ollut tämän työn puitteissa mahdollista.

Toivon, että saaduista tuloksista on hyötyä toimeksiantajalle.

LÄHTEET

Ashton, Metzler & Associates. 2002 The Three Components of Optimizing WAN Bandwidth. Luettu 30.3.2011

http://www.ashtonmetzler.com/BW_Optimization.pdf

Barish Greg, Obraczka Katia. World Wide Web Caching: Trends and Techniques. Luettu 30.3.2011

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.1681&rep=rep1&type=pdf>

Cisco 1. 2008. Understanding Data Compression. Luettu 30.3.2011

http://www.cisco.com/en/US/tech/tk713/tk802/technologies_tech_note09186a00801b3b86.shtml

Cisco 2. 2009. Network Caching Technologies. Luettu 30.3.2011

http://docwiki.cisco.com/wiki/Network_Caching_Technologies

Cisco 3. 2009. Quality of Service Networking. Luettu 30.3.2011

http://docwiki.cisco.com/wiki/Quality_of_Service_Networking

Cisco 4. Cisco Wide Area File Services Software (WAFS). Luettu 30.3.2011

<http://www.cisco.com/en/US/products/ps6469/index.html>

Dorairajan Vinodh. 2004. File Sharing on the WAN: A Matter of Latency. Luettu 30.3.2011

<http://www.eetimes.com/design/communications-design/4009346/File-Sharing-on-the-WAN-A-Matter-of-Latency>

Microsoft. 2003. What Is QoS?. Luettu 30.3.2011

<http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757120%28WS.10%29.aspx>

Network Nightmare 1. 2010. Network Nightmare.net. Luettu 30.3.2011

<http://gigenn.net/gigEnn/>

Network Nightmare 2. 2007. Network Nightmare: gigEnn Manual – v2.0.1-b3. Luettu 30.3.2011

<http://gigenn.net/Manuals/manual.gigEnn-2.0.1.html#Adv>

Poe Robert. 2009. What Is WAN Optimization, and How Can It Help You?. Luettu 30.3.2011

www.focus.com/briefs/networking/what-wan-optimization-and-how-can-it-help-you

Riverbed 1. 2009. Riverbed Steelhead Product Family. Riverbed Technology. USA

Riverbed 2. 2008. Steelhead Appliance Deployment Guide. Riverbed Technology. USA

Riverbed 3. 2008. Steelhead Appliance Installation and Configuration Guide. Riverbed Technology. USA

Riverbed 4. 2008. Riverbed Certified Solutions Professional (RSCP) Study Guide. Riverbed Technology. USA

Squidoo. 2011. WAN Emulator. Luettu 30.3.2011
<http://www.squidoo.com/wan-emulator>

Stallings William. 2004. Data And Computer Communications. 7. painos. Pearson. USA

Szigeti Tim, Hattingh Christina. 2006. End-to-End QoS Network Design. 3. painos. Cisco Press. USA

WAN Optimization.org 1. WAN Optimization. Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/index.html>

WAN Optimization.org 2. WAN Optimization Technology. Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/technology.html>

WAN Optimization.org 3. Deduplication. Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/deduplication.html>

WAN Optimization.org 4. Compression. Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/compression.html>

WAN Optimization.org 5. Web Caching. Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/web-caching.html>

WAN Optimization.org 6. Protocol Spoofing. Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/protocol-spoofing.html>

WAN Optimization.org 7. Wide Area File Services (WAFS). Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/wide-area-file-services.html>

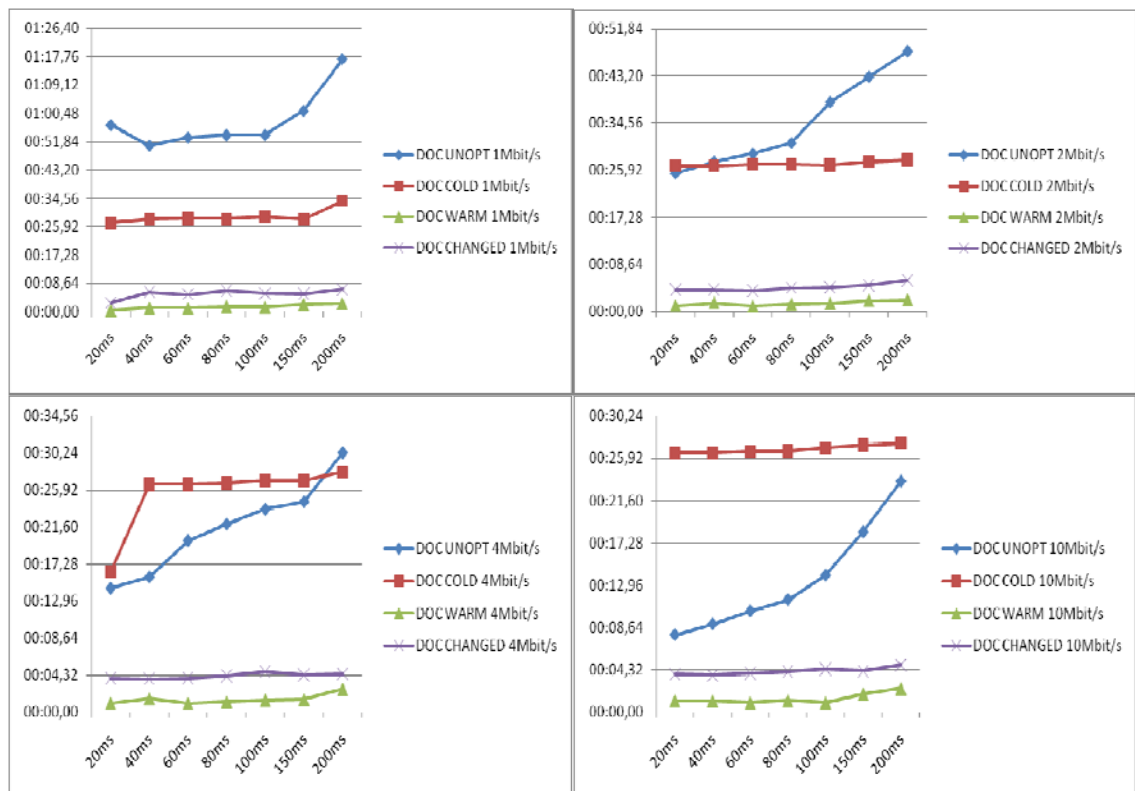
WAN Optimization.org 8. WAN Accelerators. Luettu 30.3.2011
<http://www.wanoptimization.org/wan-accelerators.html>

LIITTEET

LIITE 1: DOC

1 (4)

Dokumentin optimoiduista siirroista havaittiin, että kylmäsiirroissa tiedoston siirtäminen oli 1Mbit/s linjalla nopeampaa kuin optimoimattomissa siirroissa. Optimoimattomissa 1Mbit/s siirroissa tiedosto siirtyi noin 52s:ssa 20ms viiveellä ja noin 1min 17s:ssa 200ms viiveellä. Ero 20ms ja 200ms siirroissa oli noin 25 sekuntia. Vastaavasti optimoidussa kylmäsiirroissa sama tiedosto siirtyi 27-29 sekunnissa, vasteajan vaikutus siirtoaikoihin noin 2 sekuntia, tosin 200ms siirroissa oli havaittavissa piikki, jolloin siirtoaika 34 sekuntia. Kuvasta nähdään miten dokumentin siirtoajat muuttuivat kullakin siirtotyypillä 1, 2, 4 ja 10 Mbit/s linjanopeuksilla vasteajan kasvaessa (kuva 1).



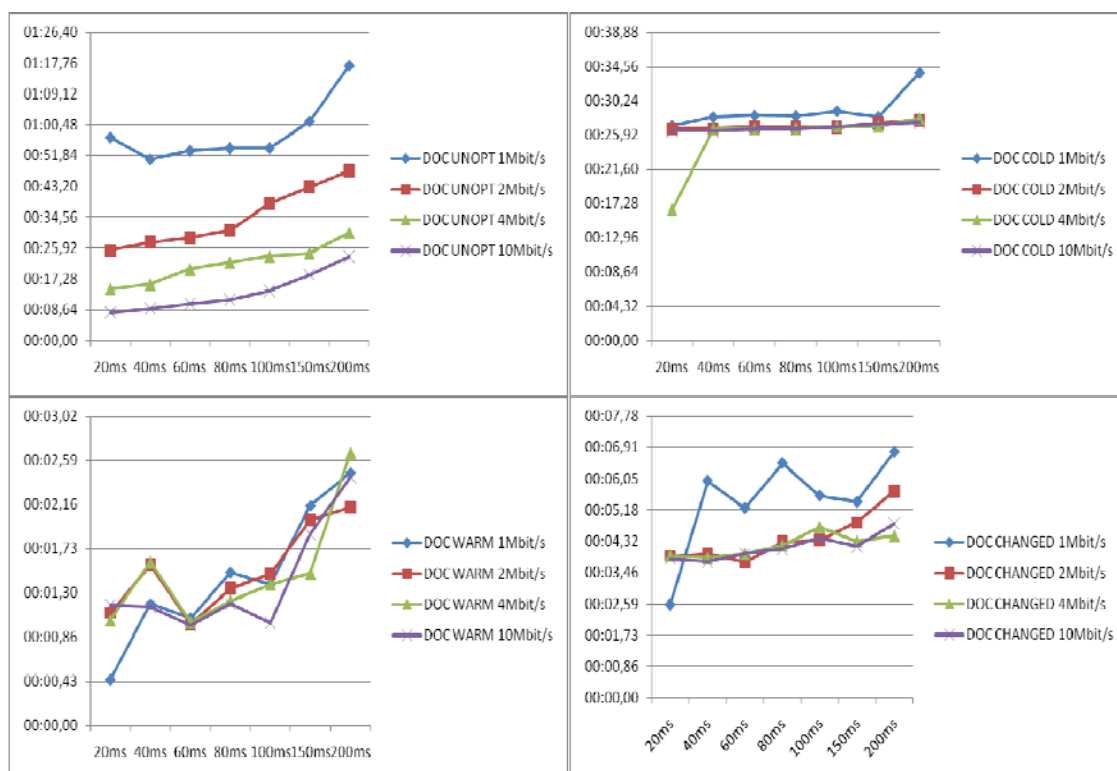
Kuva 1. DOC siirtoajat 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeudella kullakin siirtotyypillä

(jatkuu)

Word-dokumentin 1Mbit/s kylmäsiirroissa siirtoajat olivat noin 50% verrattuna optimoimattomiin siirtoihin. Vasteajan vaikutus kylmäsiirtoaikoihin oli noin 6 sekuntia 20ms ja 200ms vasteajan välillä. Lämminsiirto oli huomattavasti nopeampaa dokumentin siirrossa verrattuna optimoimattomaan- ja kylmäsiirtoon. Siirtoaika kasvoi lämminsiirroissa noin 0,5 sekunnista 20 millisekunnin viiveellä ja noin 2,50 sekuntiin 200 millisekunnin viiveellä. 1Mbit/s lämminsiirtoajat olivat siis noin 1-3% optimoimattomien siirtojen siirtoajoista

10%-siirtoajat olivat myös huomattavasti nopeampia 1Mbit/s linjalla verrattuna optimoimattomiin siirtoihin, mutta hitaampia kuin lämminsiirrot. Siirtoajat 1Mbit/s 10%-siirroissa olivat 5,5-6,5s luokkaa, tosin siirtoaika ei näissä kasvanut suoraan vasteajan kasvaessa, vaan tässä mittausarjassa tapahtui suhteellisen paljon varianssia suhteessa trendiin. Siirtonopeudet optimoimattomissa 1Mbit/s siirroissa olivat kuitenkin noin kymmenkertaiset verrattuna 10%-siirtoihin.

Korkeamman linjanopeuden mittausarjoissa ei tapahtunut merkittävää nopeutumista verrattuna 1Mbit/s optimoituihin siirtoihin. Tämä ilmiö toistui niin kylmä-, lämmin- kuin 10%-siirroilla sekä kaikilla tiedostotyypeillä. 10Mbit/s kylmäsiirrot olivat enintään muutamia sekunteja nopeampia kaikilla vasteajoilla verrattuna 1Mbit/s siirtoihin ja vielä vähemmän 2Mbit/s ja 4Mbit/s linjoilla. Dokumentin eri siirtotyyppien sisäiset siirtonopeudet linjanopeuden muuttuessa on esitetty kuvassa (kuva 2).

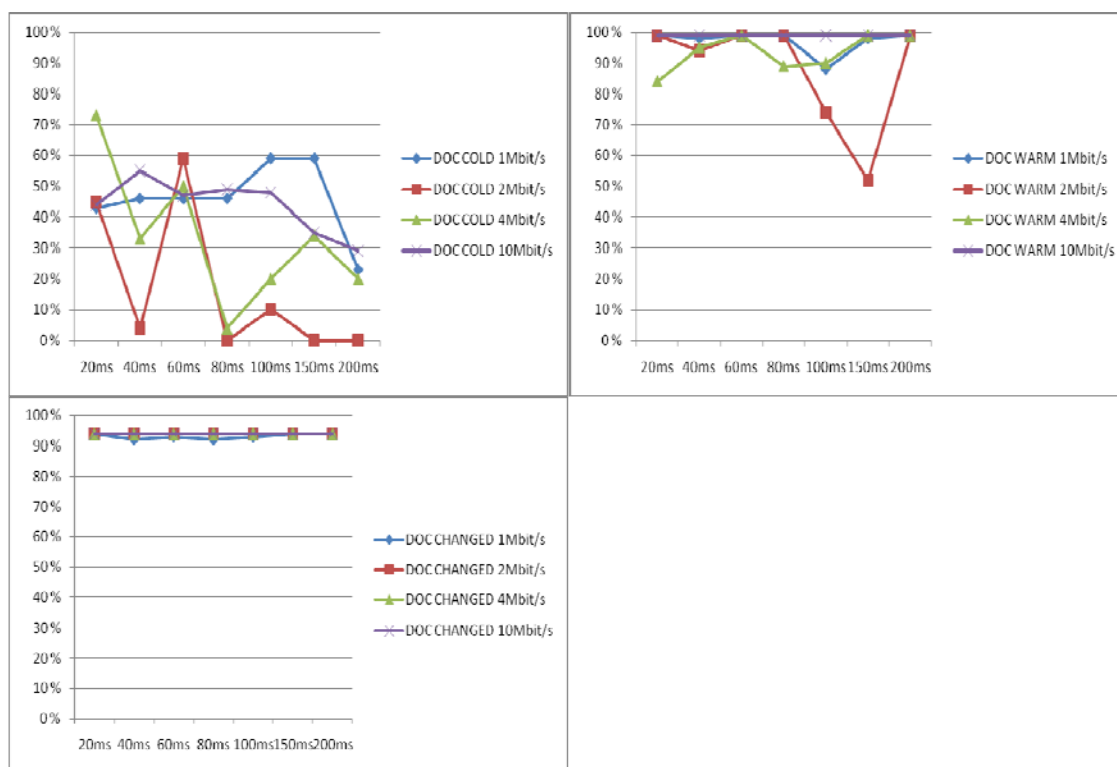


Kuva 2. DOC kunkin siirtotyypin siirtoaajat 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeudella

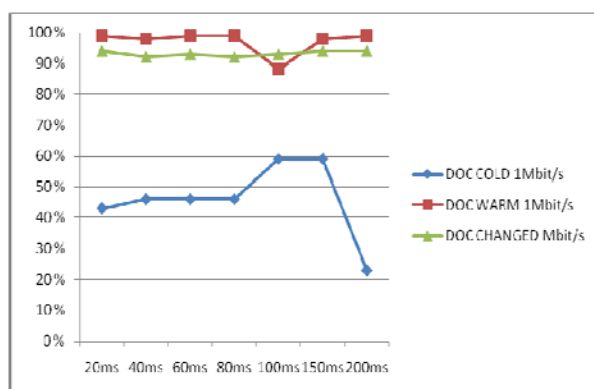
Lämminsiirroissa siirrot nopeutuivat vain joitakin sekunnin kymmenyksiä kasvatettaessa linjanopeuksia ja vasteaikoja. 10%-siirroissa siirrot nopeutuivat enintään kaksi sekuntia, kun linjanopeuksia kasvatettiin. Tästä ilmiöstä johtuen optimoimattomat siirrot olivat jo 4Mbit/s linjanopeuksilla kauttaaltaan nopeampia kuin kylmäsiirrot.

Tiedon optimoitumista mitattaessa havaittiin Word-tiedoston siirtosarjojen sisällä paljon varianssia. Tämä oli erityisen huomattavaa kylmäsiirroissa, joissa sarjojen sisällä ja sarjojen oli paljon hajontaa tuloksissa. Lämmin- ja 10%-siirroissa sarjat olivat kuitenkin suhteellisen tasaisia kaikilla linjanopeuksilla, vaikka sarjojen sisällä tapahtuikin satunnaista hajontaa. Kuvasta nähdään, miten laajaverkon yli kulkeutuva liikenne optimoitui kaikilla linjanopeuksilla (kuva 3) ja miten optimointisuhde muuttui eri siirtotyyppien kesken 1Mbit/s linjanopeudella (kuva 4).

(jatkuu)



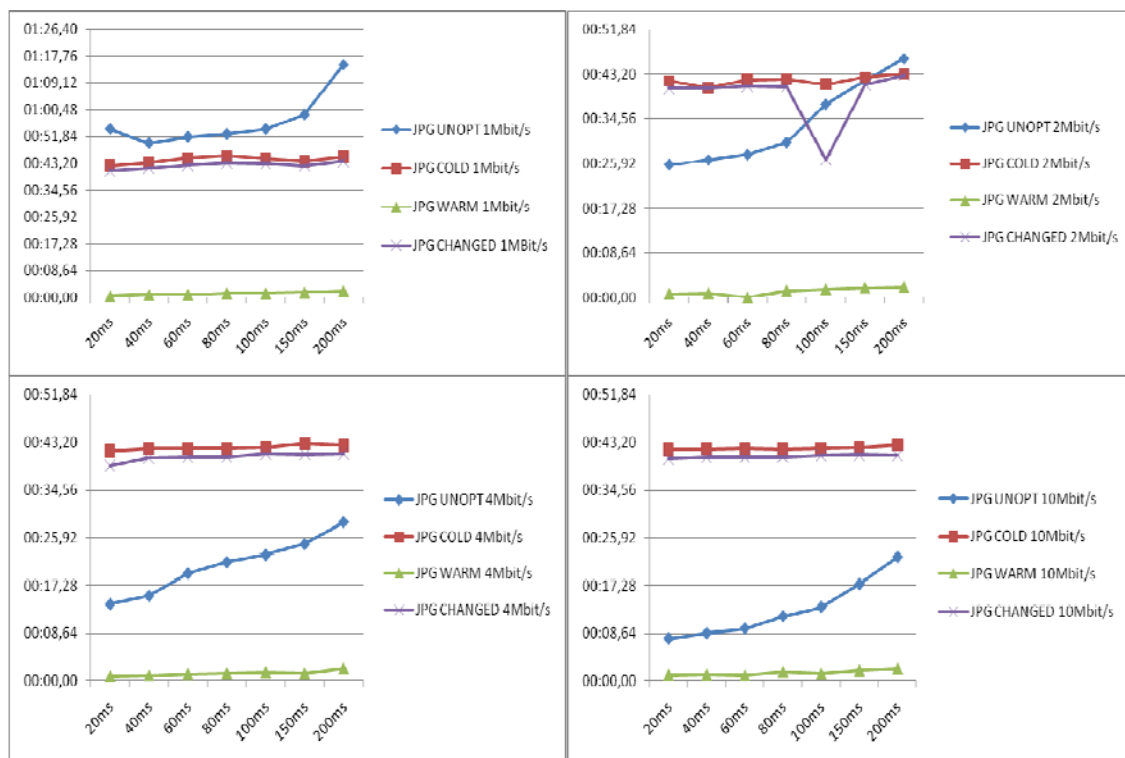
Kuva 3. DOC optimointisuhte kullakin siirtotyypillä linjanopeuden kasvaessa



Kuva 4. DOC siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella

Kylmäsiirroissa optimointisuhte vaihteli 1Mbit/s linjanopeudella keskimäärin 43% ja 60% välillä, mutta muilla linjanopeuksilla hajontaa oli sen verran, että optimointisuhte oli vaihteli 0% ja 60% välillä. Lämminsiirroissa hajontaa oli vain muutamia poikkeamia lukuun ottamatta enintään 5%, optimointisuhteen ollessa kauttaaltaan 95% - 99% kaikilla linjanopeuksilla ja vasteajoilla. 10%-siirroissa optimointisuhte oli kauttaaltaan erittäin tasainen, ilman merkittäviä poikkeamia. Näissä siirroissa optimointisuhte oli 92% - 94%.

Valokuvan optimoiduista siirroista havaittiin, että Steelheadit eivät pystyneet optimoimaan tiedostoa tehokkaasti kylmä- ja 10%-siirroissa. Siirtoaikojen ero näissä mittauksissa verrattuna optimoimattomiin siirtoihin oli pienin kaikista tiedostotyypeistä, keskimäärin vain 10 sekunnin luokkaa 40 – 100ms vasteajalla. Lämminsiirrot puolestaan optimoituivat erittäin hyvin. Kuvasta nähdään, miten valokuvan siirtoajat kehittyivät kullakin siirtotyypillä 1, 2, 4 ja 10 Mbit/s siirroissa vasteajan kasvaessa (Kuva 1).



Kuva 1. JPG eri siirtotyyppien siirtoajat kullakin linjanopeudella

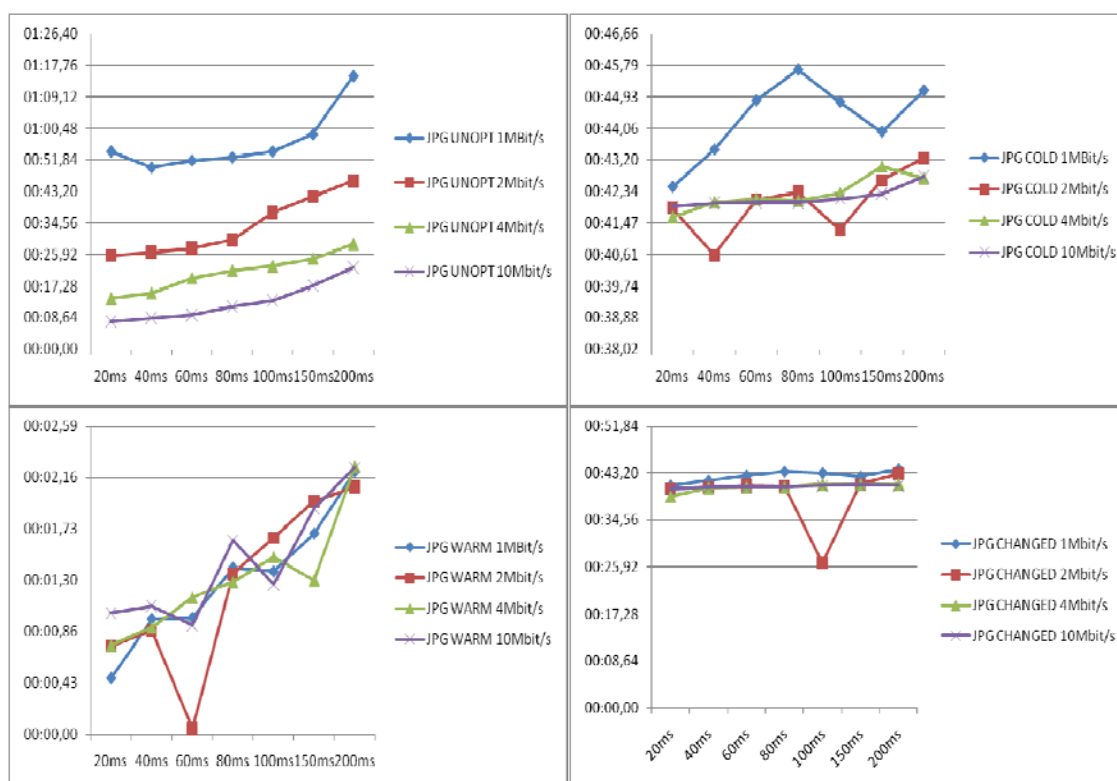
Kylmäsiirroissa, 1Mbit/s linjanopeudella, tiedoston siirtoaika kasvoi 42s:sta 20ms vasteajalla 46s:n 200ms vasteajalla. Tämä oli alle 10s nopeampaa kuin optimoimattomissa siirroissa aina 100ms vasteajan siirtoihin saakka. Vasta 150ms ja 200ms siirroissa optimoimattomat siirrot hidastuivat merkittävästi verrattuna kylmäsiirtoihin.

Lämminsiirroissa valokuva optimoitui ja siirtyi erittäin tehokkaasti ja näissä siirtoajat olivat 1Mbit/s linjalla 0,5-2,2s luokkaa, kasvaen vasteajan kasvaessa. Verrattuna vastaaviin optimoimattomiin siirtoihin kylmäsiirtojen siirtoajat olivat n. 1-3% näistä. Valoku-

(jatkuu)

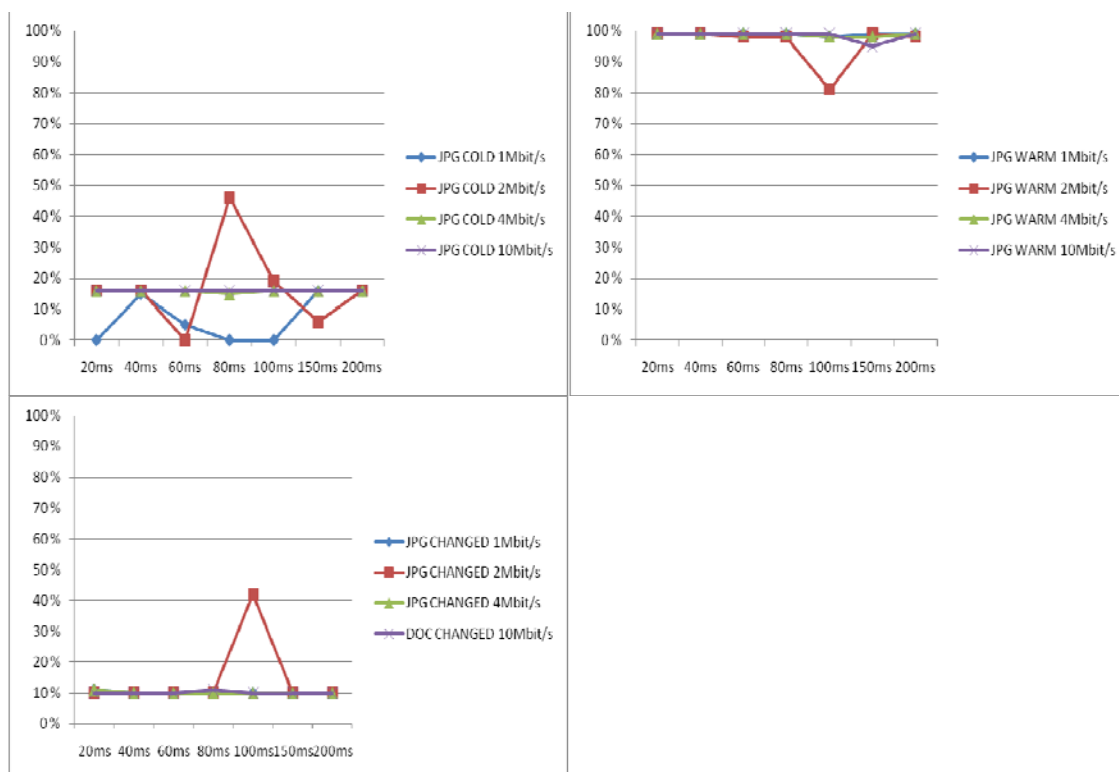
van 10%-siirroissa havaittiin, että muuttuneen valokuvan siirtäminen ei onnistu tehokkaasti Steelheadeilta, vaan siirtoajat olivat suhteellisen hitaita. Verrattuna kylmäsiirtoihin 10%-siirrot valokuvatiedoston osalta olivat keskimäärin vain noin 2 sekuntia vastaavia kylmäsiirtoja nopeampia.

Linjanopeuksia kasvatettaessa eivät eri siirtotyyppien siirtoajat muuttuneet käytännössä ollenkaan, aivan kuten havaittiin dokumenttitiedoston siirroissa. Kylmä- ja 10%-siirrot nopeutuivat vain pari sekuntia moninkertaistettaessa linjanopeutta 1Mbit/s:sta, lämminsiirroissa ero oli muutamia sekunnin kymmenesosia. Jo 2Mbit/s linjanopeudella optimoimattomat siirrot olivat nopeampia kuin valokuvan optimoidut kylmä- ja 10%-siirrot. Kuvasta nähdään, miten valokuvan siirtoajat kehittyivät kullakin siirtonopeudella linjanopeutta kasvatettaessa (kuva 2).



Kuva 2. JPG eri siirtotyyppien siirtoajat kullakin linjanopeudella

Tiedon optimoitumista mitattaessa havaittiin sarjojen sisällä vain vähän varianssia. Toisin sanoen muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta tiedon optimointisuhde oli kaikilla linjanopeuksilla, kaikilla vasteajoilla hyvin sama kullakin siirtotyypillä. Kuvasta nähdään miten optimointisuhde kehittyi kullakin siirtotyypillä linjanopeuksia kasvatettaessa (kuva 3).

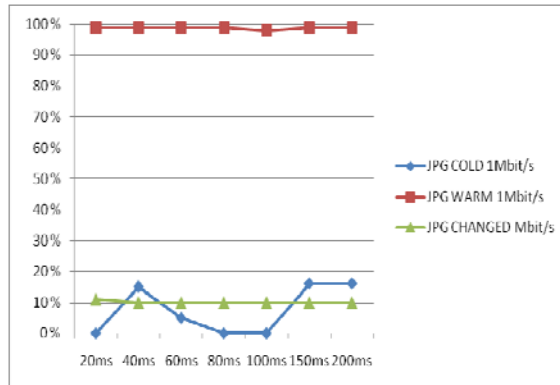


Kuva 3. JPG optimointisuhde kullakin siirtotyypillä linjanopeuden kasvaessa

Kylmäsiirroissa valokuvan optimointisuhde 1Mbit/s linjanopeudella oli enintään 18%, osassa tapauksissa 0%. Korkeammilla linjanopeuksilla optimointisuhde valokuvan siirroissa oli samaa luokkaa ja poikkeamia ei juuri ollut. Lämminsiirroissa hajontaa oli hyvin vähän ja optimointisuhde oli keskimäärin 98% - 99% kaikilla linjanopeuksilla ja vasteajoilla. 10%-siirroissa optimointisuhde oli kauttaaltaan erittäin tasainen, pois luki- en yksi poikkeama. Näissä siirroissa optimointisuhde oli keskimäärin 10%.

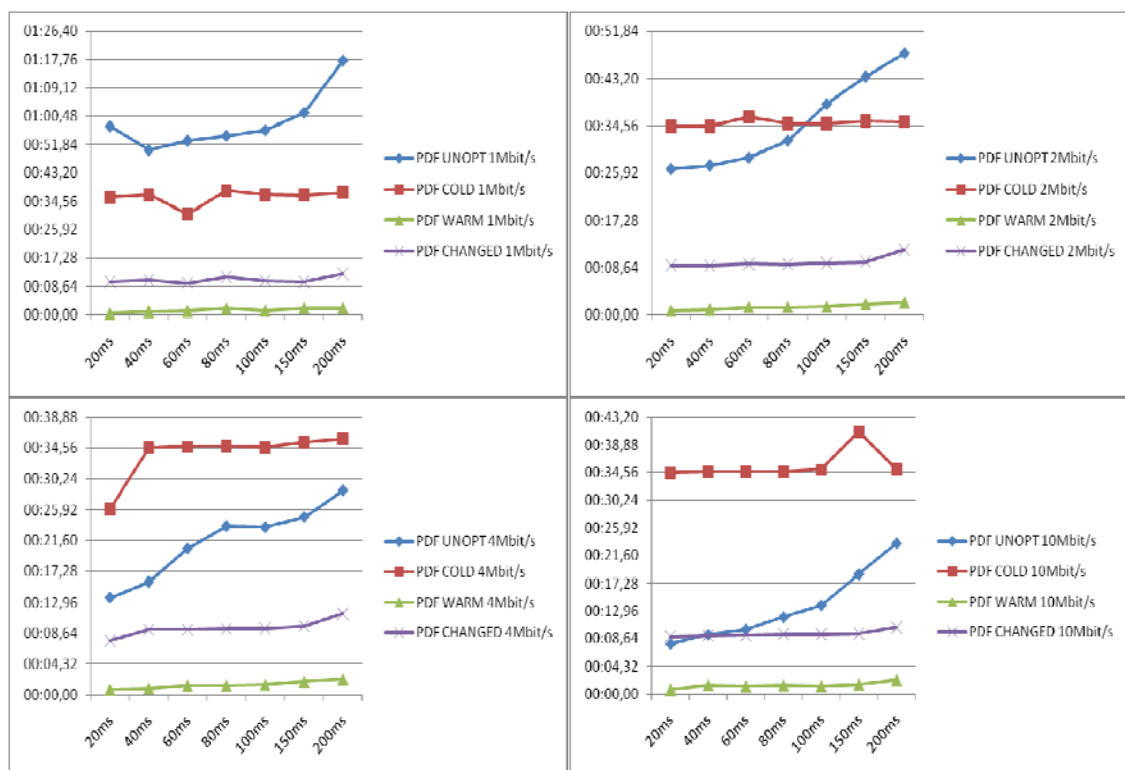
(jatkuu)

Varianssia lukuun ottamatta linjanopeus ei muuttanut optimointisuhdetta, joten optimointisuhteiden siirtotyyppin väliset erot on havaittavissa 1Mbit/s siirroista (kuva 4).



Kuva 4. JPG siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella

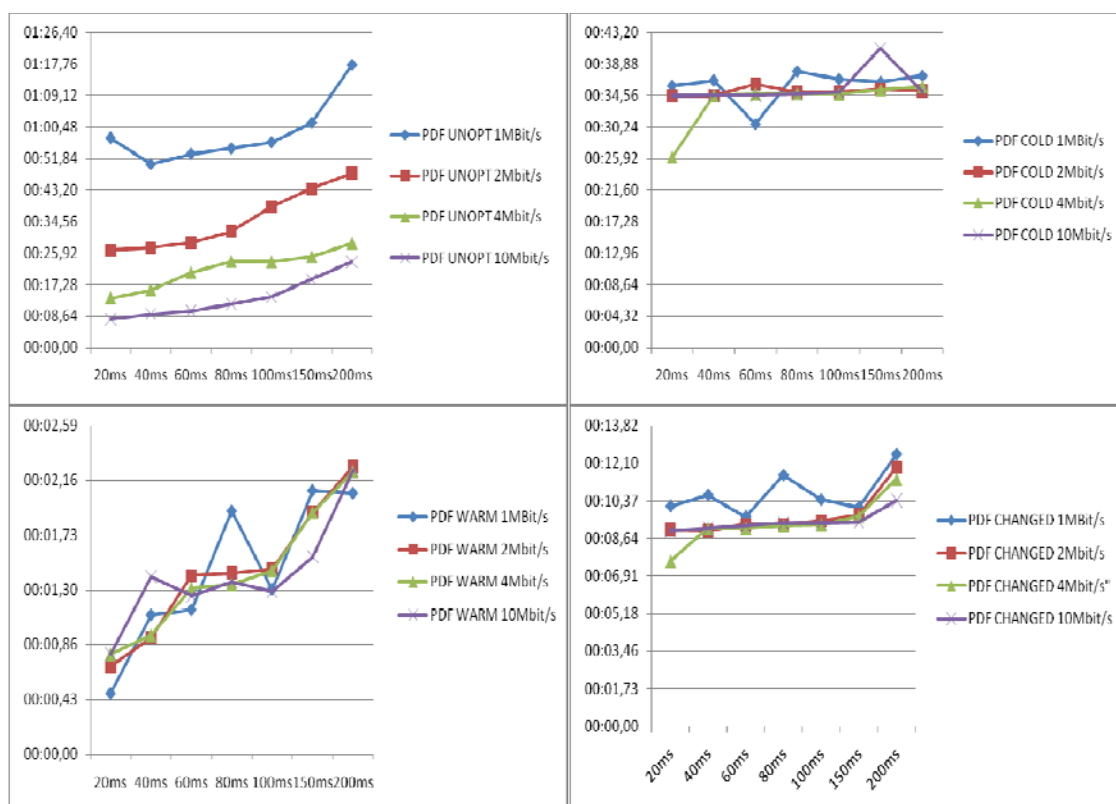
PDF-tiedosto optimoitui siirroissa tasaisesti, eikä varianssia sarjojen sisällä ei juuri ollut. Optimoidut siirrot olivat nopeampia verrattuna optimoimattomiin siirtoihin 1Mbit/s linjanopeudella. Optimoimattomissa siirroissa siirtoaika kehittyi noin 50 sekunnista 77 sekuntiin vasteajan kasvaessa 20ms:sta 200ms:n. Huomioitava on, aivan kuten muidenkin tiedostotyyppien optimoimattomissa 1Mbit/s siirroissa, että 20ms siirtoaika oli muutamia sekunteja hitaampia kuin 40ms siirto. Kuvasta nähdään siirtotyyppien väliset erot siirtoajoissa kullakin linjanopeudella (kuva 1).



Kuva 1. PDF siirtoajat 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeudella kullakin siirtotyyppillä

Kylmäsiirroissa 1Mbit/s linjanopeudella tiedosto siirtyi 36-37,5s 20ms ja 200ms vasteajojen välillä. Optimoimattomissa siirroissa siirtoajat olivat 15-20s hitaampia, 200ms siirrolla jopa yli kaksi kertaa hitaampia verrattuna kylmäsiirtoihin. Lämminsiirroissa tiedosto optimoitui erittäin tehokkaasti. Siirtoajat olivat 1Mbit/s linjalla 0,5-2s, kasvaen vasteajan mukana. Lämminsiirtoajat olivat noin 1-2% verrattuna vastaaviin optimoimattomiin siirtoihin. 10%-siirroissa siirtoajat olivat 10-12s. Näihin aikoihin verrattuna optimoimattomien siirtojen siirtoajat olivat noin 5-6 -kertaiset. (jatkuu)

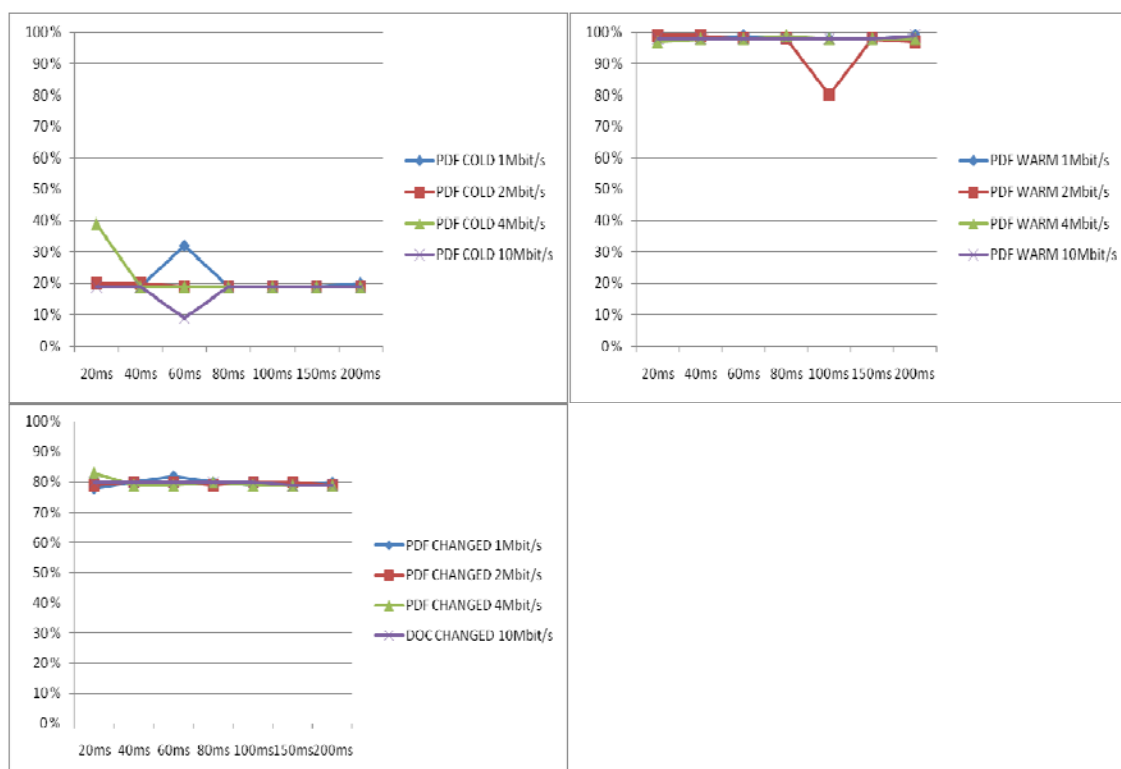
Aivan kuten Word-tiedoston ja valokuvan siirroissa, ei linjanopeuden kasvattaminen vaikuttanut merkittävästi optimoitujen siirtojen siirtoaikoihin (kuva 2). Kasvatettaessa linjanopeutta saatiin enintään 2-3s nopeampia kylmä- ja 10%-siirtoja verrattuna 1Mbit/s siirtoihin. Lämminsiirrot nopeutuivat enintään 0,5s. Jo 2Mbit/s linjalla optimoimattomat siirrot olivat nopeampi verrattuna kylmäsiirtoihin alle 80ms siirroissa, 4Mbit/s linjalla kylmäsiirrot olivat jo hitaampia kuin optimoimattomat siirrot. 10Mbit/s linjalla kylmäsiirrot olivat huomattavasti hitaampia verrattuna optimoimattomiin siirtoihin, kylmäsiirtoaikojen ollessa jopa noin neljä kertaa hitaampia. 10%-siirrot olivat 10Mbit/s linjalla lähes yhtä nopeita 20ms ja 40ms siirroissa verrattuna optimoimattomiin siirtoihin.



Kuva 2. PDF eri siirtotyyppien siirtoaajat kullakin linjanopeudella

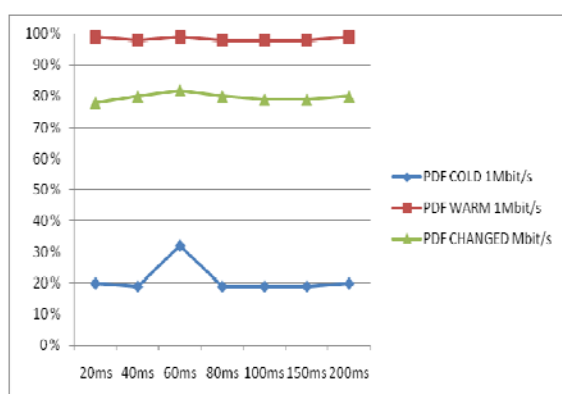
Optimointisuhdetta mitattaessa saatiin varsin tasaisia mittaustuloksia, muutamia piikkejä lukuun ottamatta. Optimointisuhde oli kaikilla linjanopeuksilla, kaikilla vasteajoilla hyvin sama kullakin siirtotyypillä. Kuvasta nähdään, miten laajaverkon yli kulkeutuva liikenne optimoitui PDF-tiedostoa siirrettäessä (kuva 3).

(jatkuu)



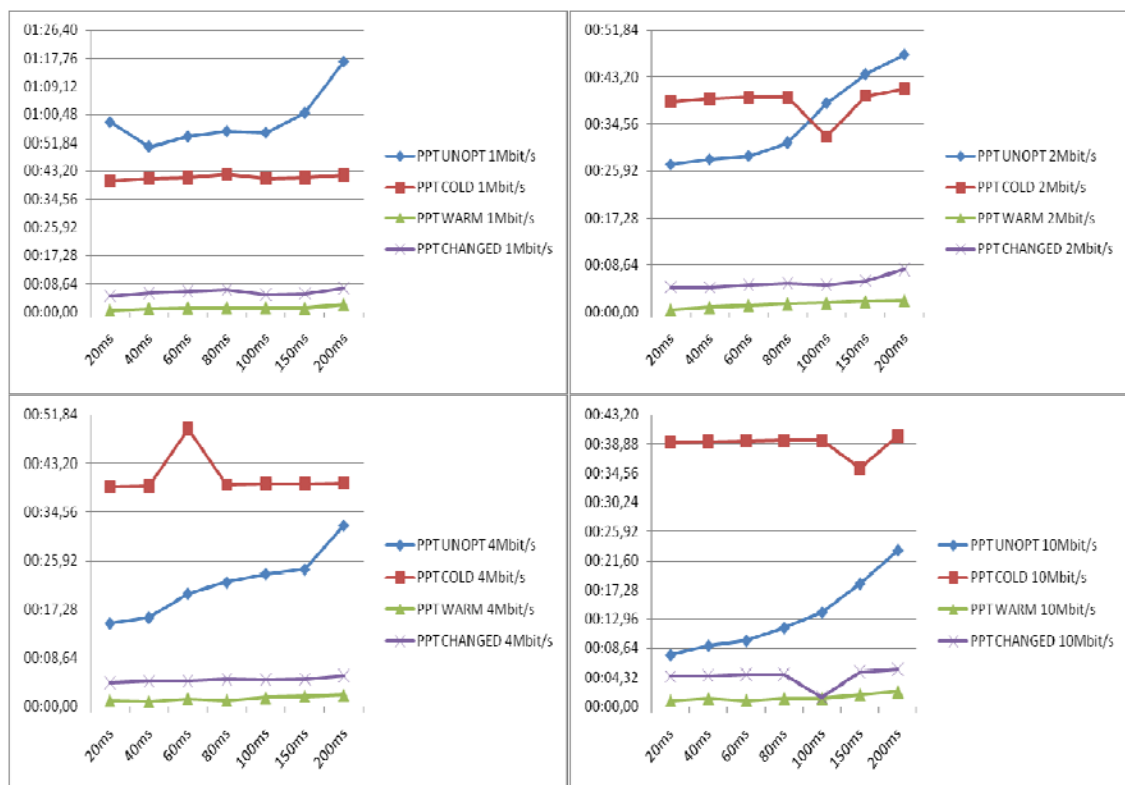
Kuva 3. PDF optimointisuhde kullakin siirtotyypillä linjanopeuden kasvaessa

Kylmäsiirroissa optimointisuhde 1Mbit/s linjanopeudella oli keskimäärin 20%. Korkeammilla linjanopeuksilla optimointisuhde oli edelleen noin 20% ja poikkeamia oli vain muutama. Lämminsiirroissa hajontaa ei juuri ollut ja optimointisuhde oli tasaisesti 98%-99% kaikilla linjanopeuksilla ja vasteajoilla. 10%-siirroissa optimointisuhde oli myös erittäin tasainen kaikissa siirtosarjoissa ja optimointisuhde oli noin 80%. Jälleen kerran 1Mbit/s mittaukset antavat varsin tarkan tulokset siirtotyyppien välisistä eroista optimointisuhteessa (kuva 4).



Kuva 4. PDF siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella

PowerPoint-tiedoston optimoitujen ajojen tulokset noudattivat muiden tiedostotyyppien tulosten linjaa. Kaikki optimoidut siirrot olivat kauttaaltaan nopeampia verrattuna optimoimattomiin siirtoihin 1Mbit/s linjanopeudella. Ero siirtoajoissa optimoimattomiin siirtoihin verrattuna väheni linjanopeuden kasvaessa. Oheisesta kuvaajasta nähdään, miten PPT-tiedoston siirtoaajat kehittyivät eri siirtotyypeillä 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeuksilla (kuva 1).

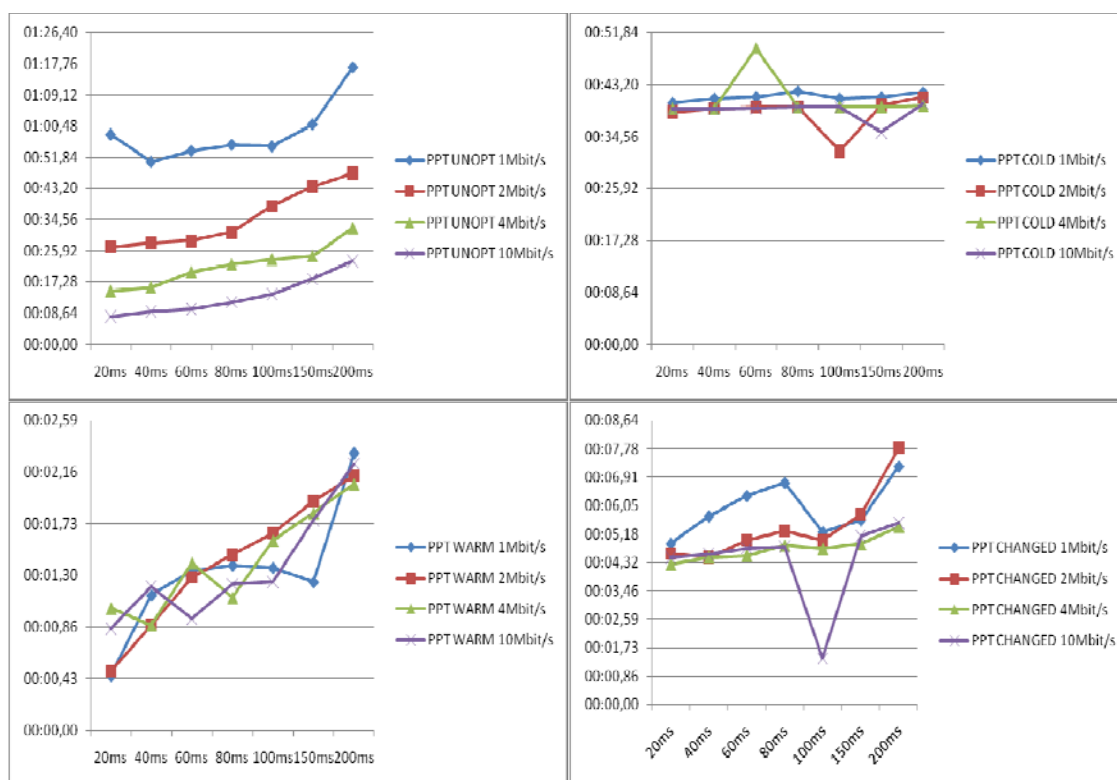


Kuva 1. PPT siirtoaajat 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeudella kullakin siirtotyypillä

Kylmäsiirtoihin meni noin 40-42s, joten eroa optimoimattomiin siirtoihin oli noin 10-13s alle 100ms vasteajan siirroissa. Ero kasvoi suuremmaksi vasteajan kasvaessa yli 100ms. Lämminsiirroissa tiedosto siirtyi erittäin nopeasti kuten muutkin tiedostotyytit. Siirtoaajat 1Mbit/s linjalla olivat noin 0,5-2,3s välillä ja ne olivat näin vain noin 1-3% verrattuna optimoimattomien siirtojen siirtoaikoihin. Myös 10%-siirroissa Steelheadit pystyivät nopeuttamaan PPT-tiedostojen siirtoaikaa huomattavasti. 20ms sekunnin 4,9s kasvoi tasaisesti – 100ms siirron piikkiä lukuun ottamatta – 7,2s:n 200ms vasteajalla.

(jatkuu)

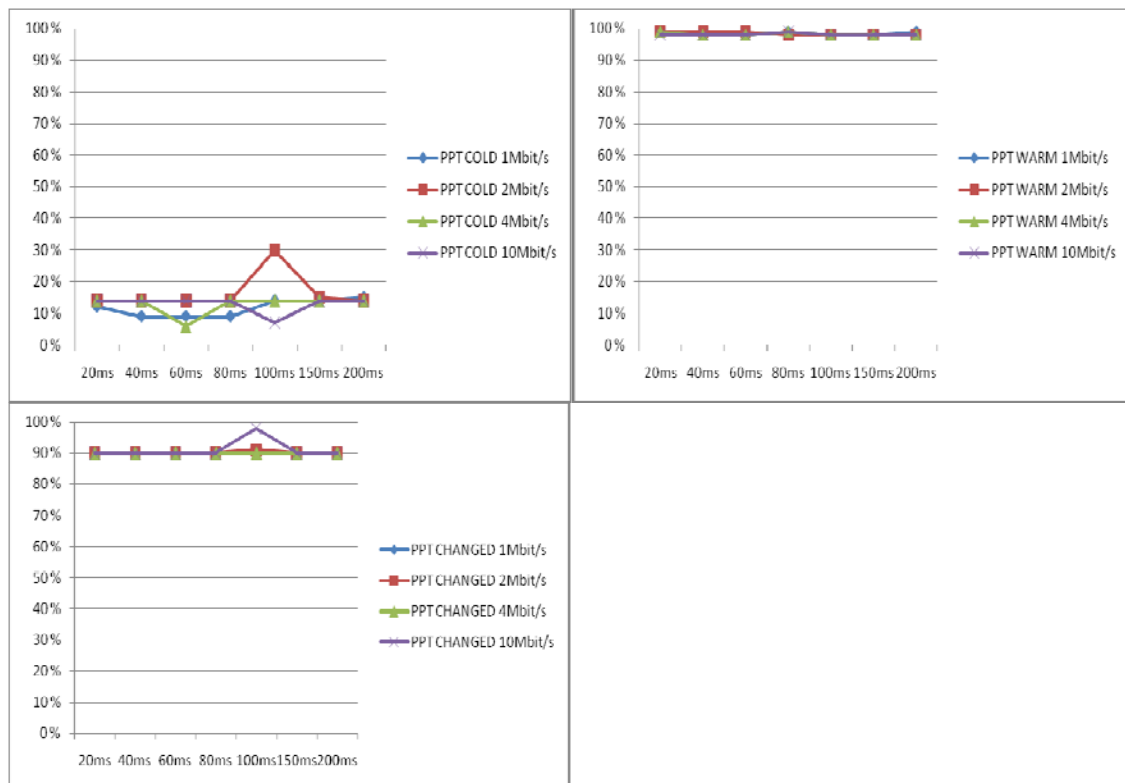
Linjanopeuden kasvattaminen ei vaikuttanut merkittävästi PPT-tiedon siirtoaikoihin millään siirtotyypillä. Linjanopeuden kasvattaminen 1Mbit/s 10Mbit/s:n lyhensi kylmäsiirtoja keskimäärin 2-3s. 10%-siirroissa linjanopeuden kasvattamisella saatiin siirtoja nopeutettua noin 0,2-2s verrattuna 1Mbit/s linjaan, tosin 10Mbit/s 100ms siirrossa tapahtui piikki ja odotetun noin 5s siirron sijaan tiedosto siirtyi jopa 1,4s:ssa. Lämminsiirroissa saatiin joidenkin kymmenien millisekuntien etu 1Mbit/s linjan siirtoihin, kun linjanopeuksia kasvatettiin. Kylmäsiirrot olivat jo 2Mbit/s linjalla hitaampia kuin optimoimattomat 2Mbit/s siirrot aina 100ms siirtoihin saakka. Lämmin- ja 10%-siirrot olivat kaikilla mitatuilla linjanopeuksilla nopeampi kuin optimoimattomat siirrot. Kuvaajasta nähdään miten linjanopeuden nostaminen vaikutti eri siirtotyyppien siirtoaikoihin (kuva 2).



Kuva 2. PPT eri siirtotyyppien siirtoaikat kullakin linjanopeudella

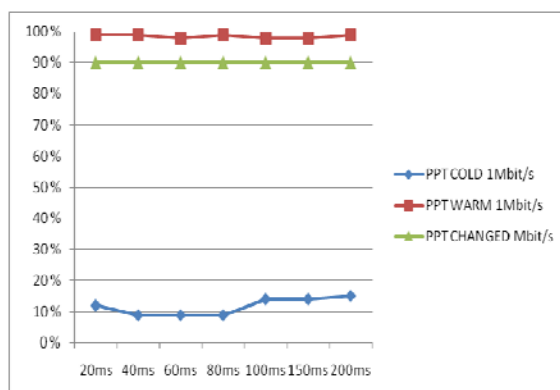
PPT-tiedoston optimointisuhdetta mitattaessa saatiin tasaisia tulossarjoja, muutamia piikkejä lukuun ottamatta. Optimointisuhde oli kaikilla linjanopeuksilla ja vasteajoilla hyvin sama kullakin siirtotyypillä. Kuvaajasta nähdään, miten laajaverkon yli kulkeutuva liikenne optimoitui PPT-tiedostoa siirrettäessä kullakin linjanopeudella (kuva 3).

(jatkuu)



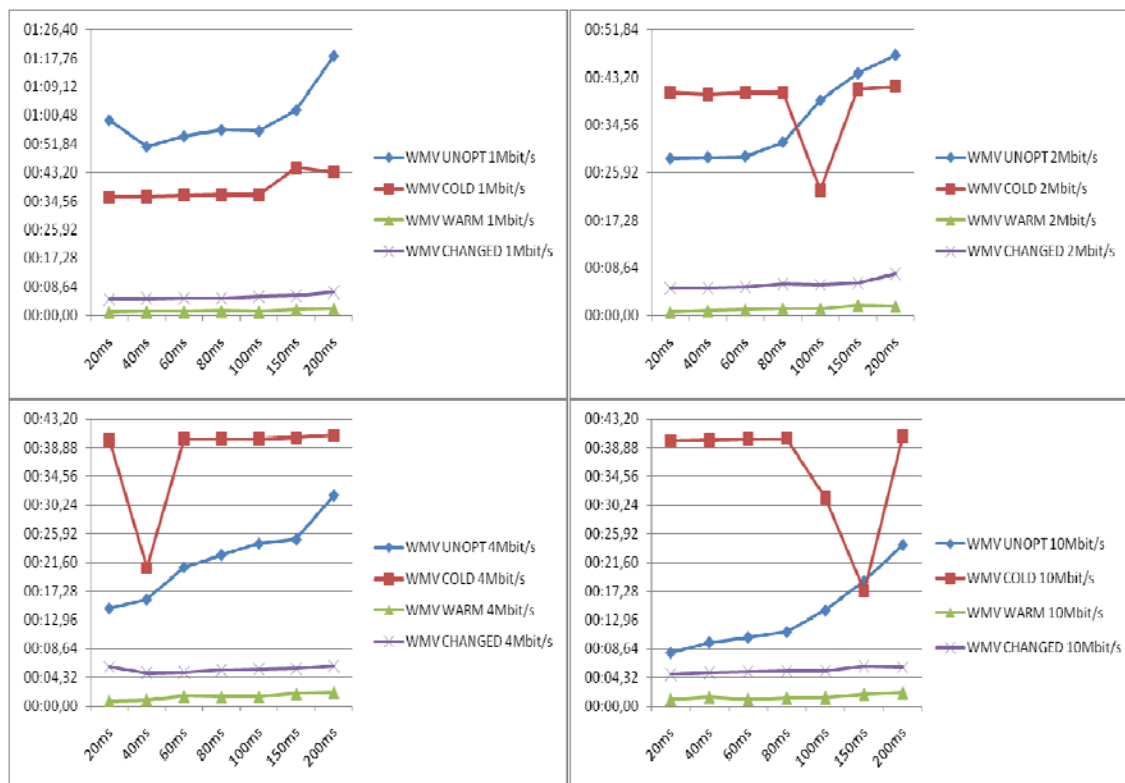
Kuva 3. PPT optimointisuhde kullakin siirtotyypillä linjanopeuden kasvaessa

Kylmäsiirroissa PPT-tiedoston optimointisuhde 1Mbit/s linjanopeudella oli keskimäärin 20%, piikkiä lukuun ottamatta. Korkeammilla linjanopeuksilla optimointisuhde oli edelleen noin 20% ja poikkeamia oli vain muutama. Lämminsiirroissa hajontaa ei juuri ollut ja optimointisuhde oli tasaisesti 98%-99% kaikilla linjanopeuksilla ja vasteajoilla. 10%-siirroissa optimointisuhde oli myös erittäin tasainen kaikissa siirtosarjoissa ja optimointisuhde oli noin 80%. 1Mbit/s siirtojen optimointisuhde kuvaa hyvin eri siirtotyyppien välisiä eroja (kuva 4).



Kuva 4. PPT siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella

Videotiedoston mittaustuloksissa havaittiin melko paljon varianssia, erityisesti kylmäsiirroissa kaikilla linjanopeuksilla, mutta yleisellä tasolla tulokset noudattivat samaa kaavaa muiden tiedostotyyppien kanssa: optimoidut 1Mbit/s siirrot olivat nopeampia kuin vastaavat optimoimattomat siirrot, mutta jo 2Mbit/s linjalla kylmäsiirrot alkoivat olla alhaisilla vasteajoilla hitaampia kuin optimoimattomat siirrot. Lämmin- ja 10%-siirrot noudattivat jo havaittua yleistä linjaa, ja olivat kaikilla linjanopeuksilla nopeampia kuin optimoimattomat siirrot. Videotiedoston siirtotyyppien väliset erot siirtoajoissa kullakin linjanopeudella nähdään oheisesta kuvasta (kuva 1).



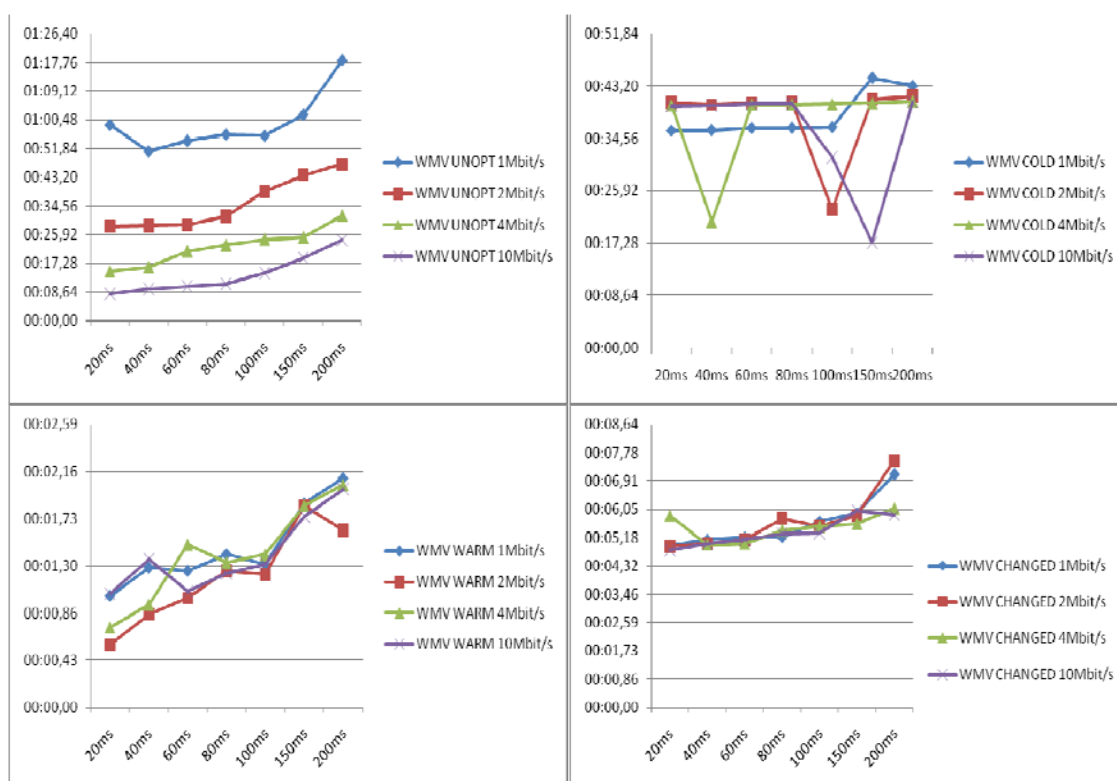
Kuva 1. WMV siirtoajat 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeudella kullakin siirtotyyppillä

Ero optimoimattoman mittaussarjan ja kylmäsiirron välillä oli 1Mbit/s siirroissa selvästi havaittavissa. Tiedoston kylmäsiirtoihin meni 36-44s vasteajan kasvaessa, ja eroa optimoimattomiin siirtoihin oli noin 14-20s vasteajan ollessa 40-100ms, ja enemmän 20ms ja yli 100ms siirroissa. Lämminsiirtoajat olivat erittäin lyhyitä, 1-2s. 10%-siirtoajat kasvoivat 20ms:n noin 5s:sta 200ms:n 7,1s:n.

(jatkuu)

Kun linjanopeuksia kasvatettiin, ei videotiedoston siirroissa havaittu merkittävää nopeutumista suhteessa 1Mbit/s siirtoihin. Piikkejä, eli huomattavasti odotettua nopeutuneita siirtoja, tapahtui kaikilla linjanopeuksilla kylmäsiirroissa. Näitä huomioimatta linjanopeuden kasvattaminen 2,4 ja 10Mbit/s:n nopeutti siirtoja enintään 5 sekuntia kylmäsiirroissa.

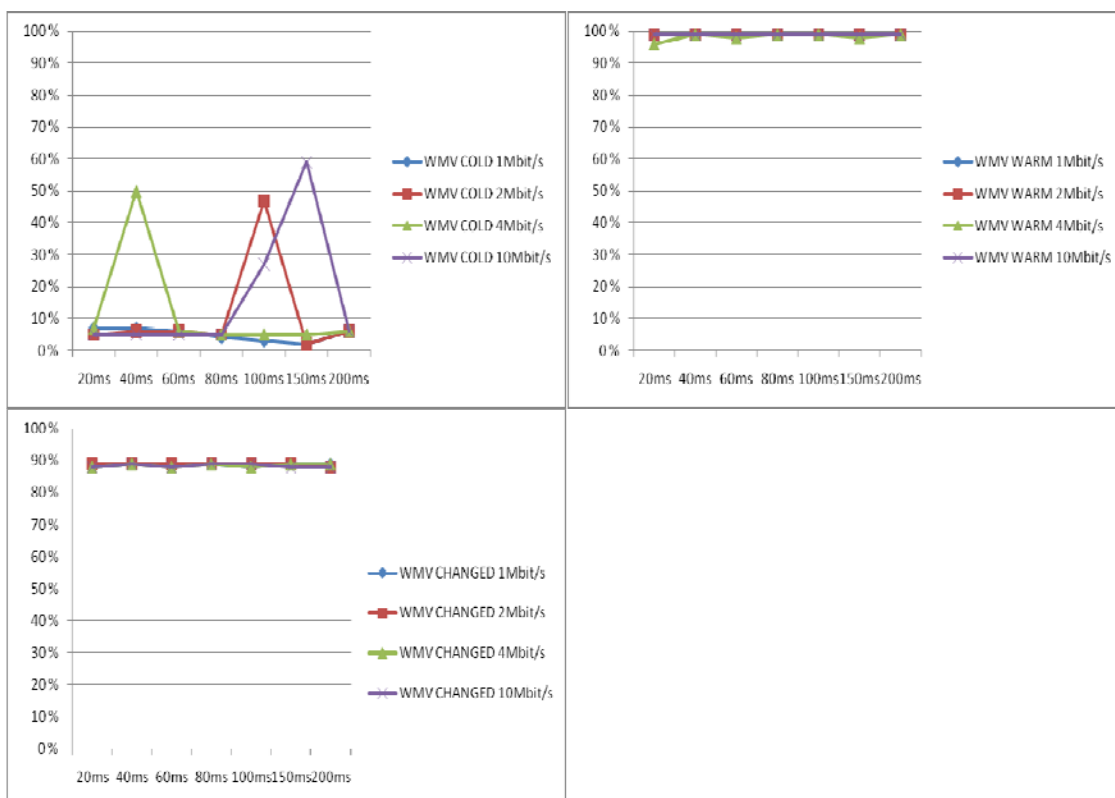
Lämminsiirroissa nopeutumista ei juuri ollut, enintään kahdenkymmenen millisekuntia kun linjanopeutta kasvatettiin. 10% -siirroissakaan ei tapahtunut huomattavaa muutosta siirtoajassa linjanopeuden kasvaessa. Näissäkin siirtoaika kasvoi enintään noin puoli sekuntia, joten linjanopeuden vaikutus siirtoaikoihin oli hädin tuskin havaittavissa. Oheisesta kuvaajasta nähdään miten siirtotyyppien siirtoaajat kehittyivät eri linjanopeuksilla (kuva 2).



Kuva 2. WMV eri siirtotyyppien siirtoaajat kullakin linjanopeudella

Videotiedoston optimoitumissuhdetta tarkasteltaessa havaittiin, että linjanopeuden kasvattaminen ei vaikuttanut optimointiin käytännössä ollenkaan. Kaikilla linjanopeuksilla optimointisuhde oli käytännössä samaa tasoa kunkin siirtotyypin välillä.

Yhtä vähän vaikutusta optimointisuhteeseen oli myös vasteajalla ja käytännössä ero 20ms ja 200ms välillä oli olematon. Kylmäsiirtojen tuloksissa havaittiin muutamia selkeitä poikkeamia trendistä ja siinä 1Mbit/s optimointikäyrä oli hieman poikkeava verrattuna muihin käyriin ja korkeamman linjanopeuden optimointikäyrissä oli suuria piikkejä. Kuvasta nähdään miten videotiedoston kunkin siirtotyypin optimointisuhde kehittyi eri linjanopeuksilla vasteajan kasvaessa (kuva 3).

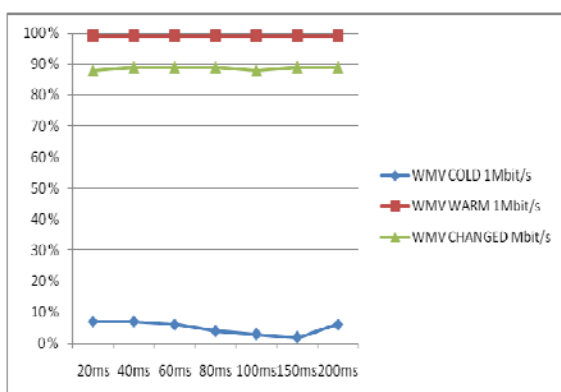


Kuva 3. WMV optimointisuhde kullakin siirtotyypillä linjanopeuden kasvaessa

Videotiedoston optimointisuhde 1Mbit/s linjanopeudella oli kylmäsiirroissa alle 10% eikä tuloksista saatu kuvaaja seurannut lineaarisesti vasteajan kasvua vaan optimointisuhde laski noin 2%:n 150ms vasteajalla.

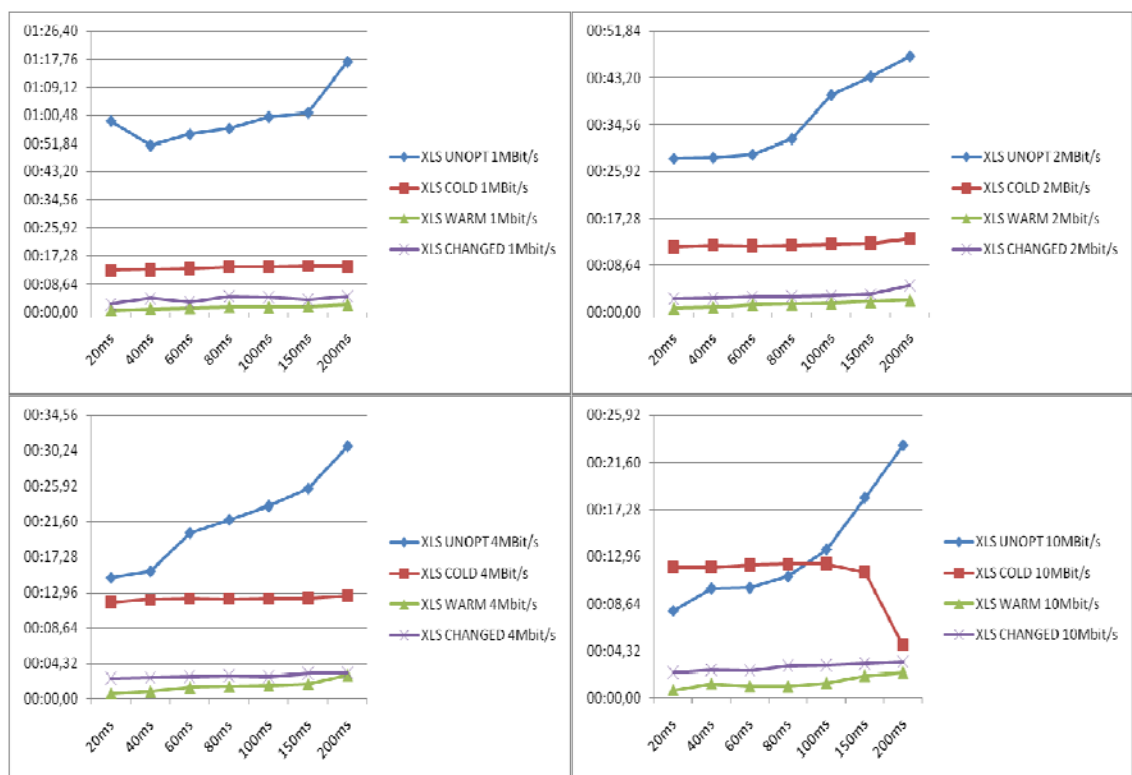
(jatkuu)

Korkeammilla linjanopeuksilla optimointisuhde oli pääasiallisesti 2-7%, mutta kaikissa sarjoissa oli poikkeamia, joissa optimointisuhde oli jopa 30-60%. Lämminsiirroissa ja 10%-siirroissa ei havaittu poikkeamia ja kaikilla linjanopeuksilla ja vasteajoilla optimointisuhde oli 98-99% lämminsiirroissa ja 88-89% 10%-siirroissa. Kuvasta nähdään, minkälaiset erot optimointisuhteissa siirtotyyppien välillä oli 1Mbit/s linjanopeudelle (kuva 4).



Kuva 4. WMV siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella

Excel-tiedoston siirrot olivat pääasiallisesti tasalaatuisia niin siirtoaikojen kuin optimointisuhteen osalta ja huomattavia poikkeamia piikkien muodossa ei juuri ollut. Näissä siirroissa tulokset noudattivat muista tiedostonsiirroista havaittua kaavaa. Linjanopeuden ja vasteajan kasvattaminen eivät merkittävästi vaikuttaneet siirtoaikoihin tai optimointisuhteeseen, kylmäsiirrot olivat hitaimpia ja heikoiten optimoituvia optimoiduista siirroista, lämmin- ja 10%-siirrot taas olivat erittäin nopeita ja tehokkaasti optimoituja (kuva 1).



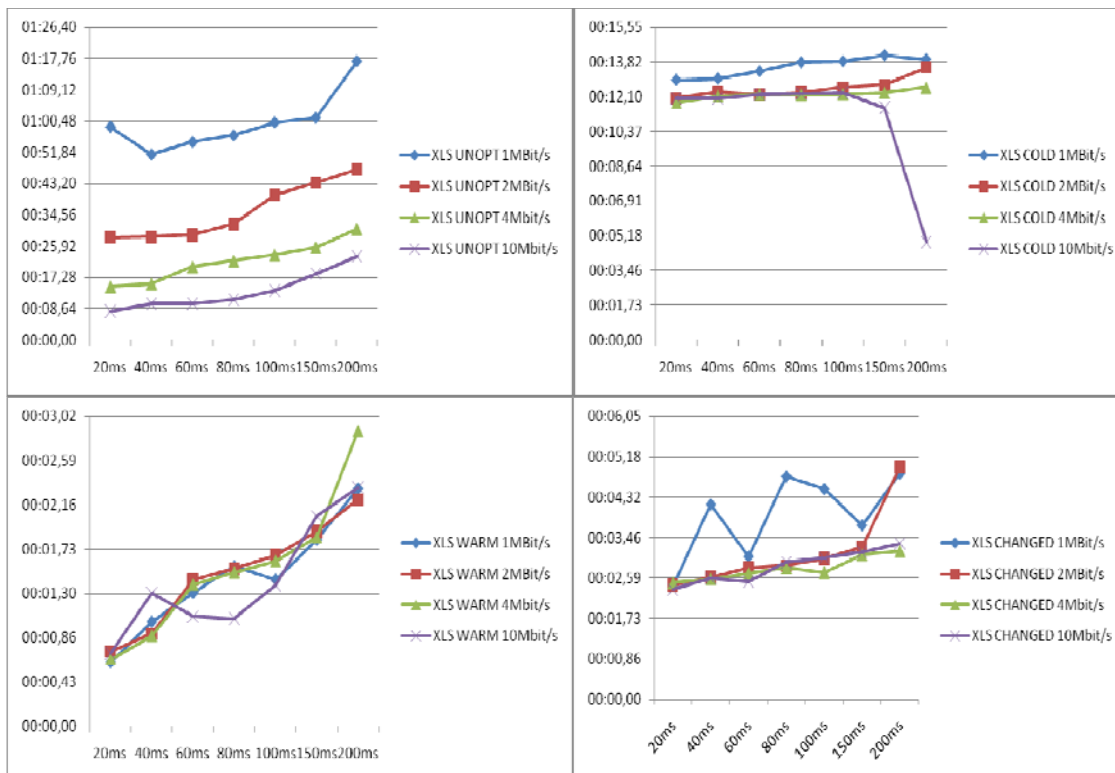
Kuva 1. XLS siirtoajat 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeudella kullakin siirtotyypillä

Suurin ero muihin tiedostotyyppeihin oli siinä, että Excel-tiedoston kylmäsiirtonopeus ylitti optimoimattoman siirtonopeuden vasta 10Mbit/s siirroissa. Tämä ei johtunut siitä, että linjanopeuden kasvattaminen olisi vaikuttanut eri tavalla Excel-tiedoston siirtoaikoihin, vaan siitä että taulukon kylmäsiirto tapahtui hyvin tehokkaasti. Kuten kaikissa muissakin tiedostonsiirroissa, olivat Excel-tiedoston siirtoajat käytännössä samat kaikilla linjanopeuksilla.

(jatkuu)

Excel-tiedoston kylmäsiirrot olivat nopeita verrattuna joihinkin muihin tiedostotyyppisiin. Siirtoaika 1Mbit/s linjalla kasvoi noin 13s 20ms vasteajalla 14s:n 200ms vasteajalla. Optimoimattoman tiedoston siirron siirtoajat olivat noin 50-78s välillä, joten ero kylmäsiirron ja optimoimattoman siirron välillä oli huomattava. Lämminsiirrot veivät 0,6-2,3s. 1Mbit/s 10%-siirroksessa oli jonkin verran varianssia. Siirtoajat näissä siirroksissa olivat 2.4 – 4.8s välillä, mutta eroa eri vasteaikojen välillä oli jopa 1-1.5s, eivätkä nämä kasvaneet lineaarisesti vasteajan mukana, vaan esim. 40ms siirtoaika oli 1s hitaampi kuin 60ms siirto.

Linjanopeuden kasvattaminen ei aiheuttanut merkittävää muutosta siirtoaikoihin. Ero 1Mbit/s ja 10Mbit/s linjoilla oli kylmäsiirroksissa enintään 2s siirtoajassa, vielä vähemmän 2 ja 4Mbit/s linjoilla verrattuna 1Mbit/s siirtoihin. Piikkejä siirtoajoissa ei juuri ollut, vain 10Mbit/s linjalla 150ms siirtoaika nopeutui marginaalisesti verrattuna 100ms siirtoon ja sen jälkeen erittäin paljon 200ms siirroksessa, jolloin siirtoaika tippui 12s:sta noin 5s:n (kuva 2).

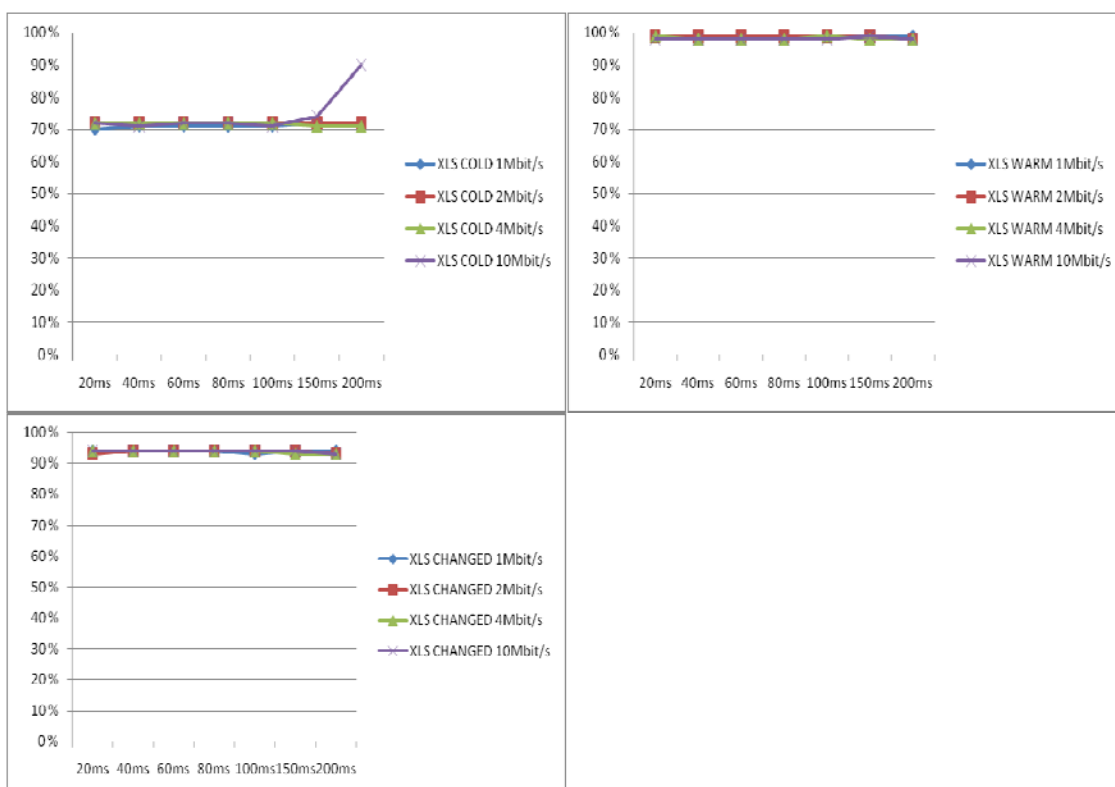


Kuva 2. XLS eri siirtotyyppien siirtoajat kullakin linjanopeudella

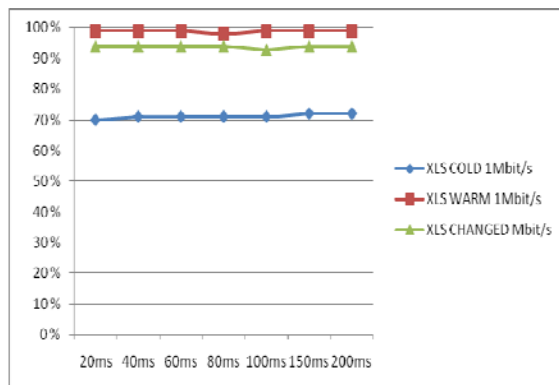
(jatkuu)

Lämminsiirroissa ero siirtoajoissa oli enintään 0.5s linjanopeutta kasvatettaessa aina 10Mbit/s saakka, keskimäärin eron ollessa 0.1-0.3s. Suuria poikkeamia ei ollut. Linjanopeuden kasvattaminen ei vaikuttanut myöskään 10%-siirtoihin merkittävästi. Siirtoajat olivat pääasiallisesti parin sekunnin kymmenesosan sisällä toisistaan 2, 4 ja 10Mbit/s siirroissa, poikkeuksena 2Mbit/s 200ms siirtoaika, jossa tapahtui poikkeama ja siirto kesti lähes 5s.

Excel-tiedoston optimoituminen siirtojen aikana oli hyvin tasaista kaikilla siirtotyypeillä. Kylmäsiirrot optimoituiivat noin 71-72% suhteella, ainoana poikkeuksena oli 10Mbit/s 200ms jolloin optimointisuhte oli 90%. Lämminsiirrot tapahtuivat 98-99% optimointisuhteella, 10%-siirrot 93-94% optimointisuhteella. Linjanopeudella ja vasteajalla ei ollut vaikutusta optimointisuhteeseen. Kuvista nähdään, miten optimointisuhte kehittyi eri siirtotyypeillä linjanopeuden vaikutuksesta (kuva 3), ja minkälaiset erot eri siirtotyypeillä oli optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella (kuva 4).



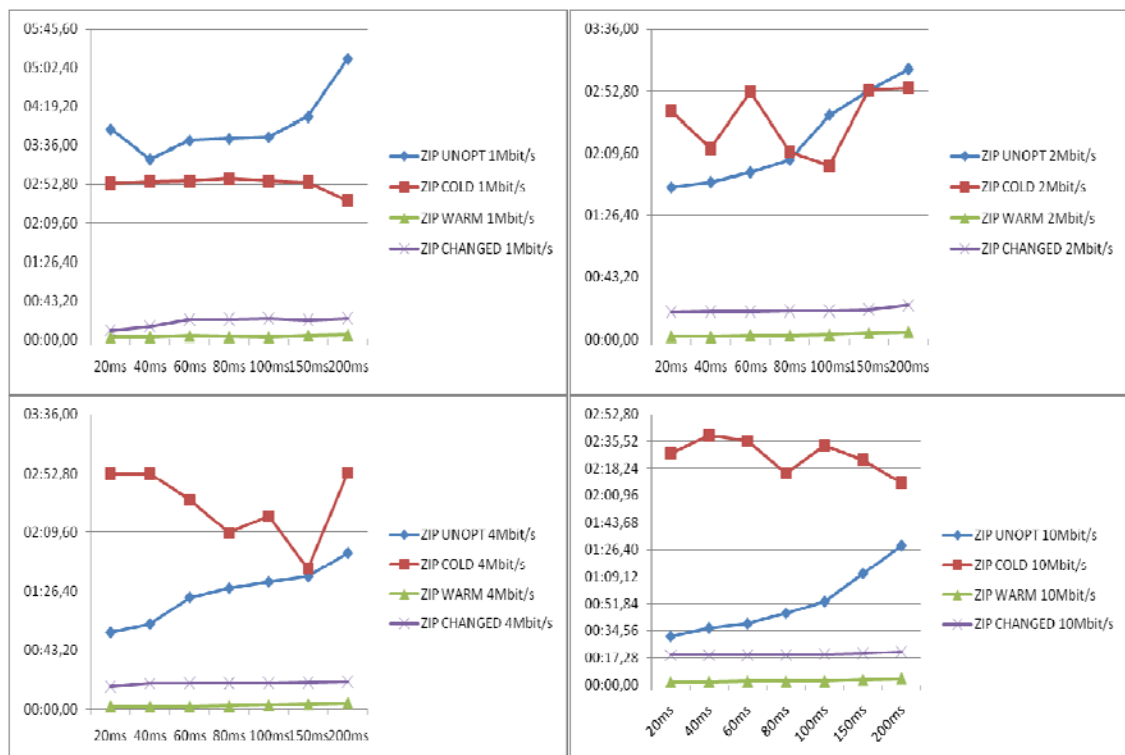
Kuva 3. XLS Eri optimointisuhte kullakin siirtotyypillä linjanopeuden kasvaessa



Kuva 4. XLS siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella

Pakatun tiedoston siirroissa tapahtui melko paljon varianssia, mutta vain kylmäsiirtojen kohdalla. Varianssia mittaustuloksissa esiintyi niin tiedostonsiirtoaikojen kuin tiedon- siirron optimoitumisen kohdalla. Linjanopeuden ja vasteajan kasvattaminen ei merkittä- västi vaikuttanut siirtoaikoihin tai optimointisuhteeseen, aivan kuten muissakin testimit- tauksissa, ja suhteellisen suurta varianssin määrää huomioimatta tiedostonsiirroista saa- dut tulokset noudattivat muista testeistä havaittua linjaa.

Kylmäsiirrot olivat selkeästi hitaampia siirtoajoissa ja heikompia optimointisuhteessa verrattuna lämmin- ja 10%-siirtoihin. Verrattuna optimoituihin siirtoihin kylmäsiirrot olivat suhteellisen tehottomia, sillä jo 2Mbit/s linjanopeudella optimoimattomien siirto- jen siirtoajat saavuttivat kylmäsiirtoajat yli 100ms vasteajalla. Kuvasta nähdään miten ZIP-tiedoston siirtoajat kehittyivät kullakin siirtotyypillä linjanopeudella 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeuksilla (kuva 1).

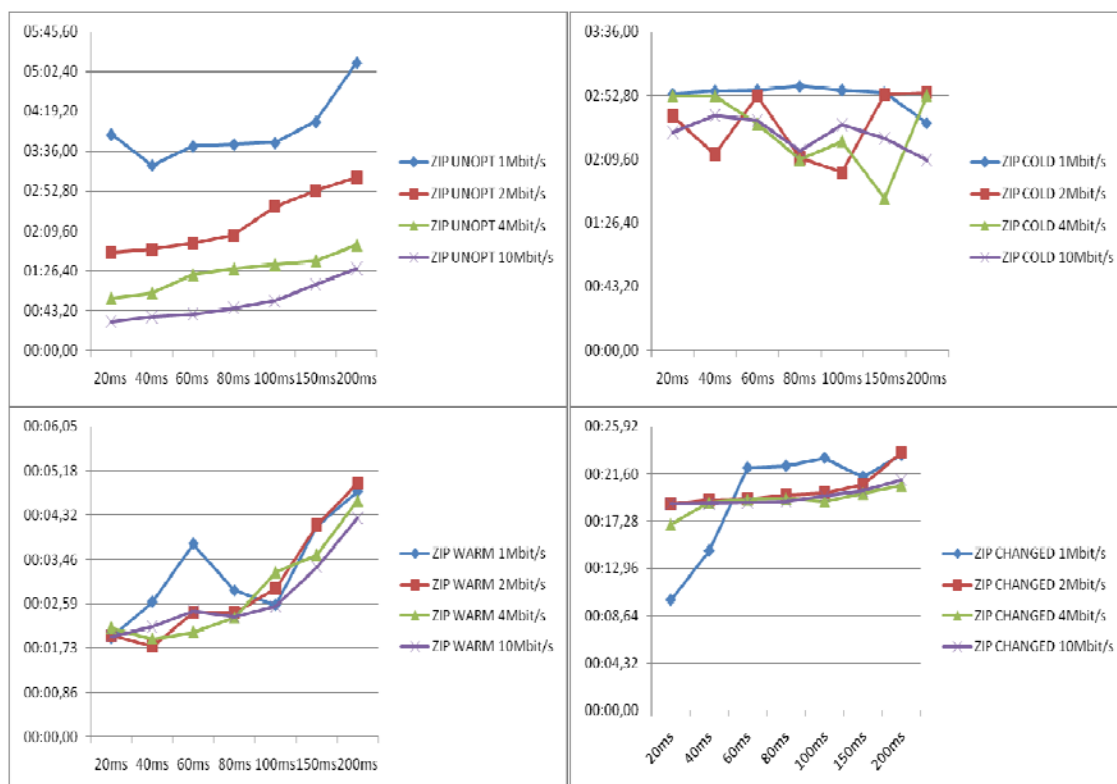


Kuva 1. ZIP siirtoajat 1, 2, 4 ja 10Mbit/s linjanopeudella kullakin siirtotyypillä

1Mbit/s linjanopeudella pakatun tiedoston kylmäsiirrot veivät 2min 54s – 2min 59s, poikkeuksena 200ms siirto, jossa kesti 2min 34s. Toisin sanoen vasteajan kasvaminen 20ms:sta 150:ms:n ei vaikuttanut tässäkään mittaussarjassa kuin noin viiden sekuntia siirtoajan kasvuun. Poikkeuksena tästä oli 200ms siirto, jossa eroa 150ms siirtoon oli noin 20s. Kaiken kaikkiaan siirtoajat olivat pitempiä kuin muiden tiedostotyyppien siirroissa, sillä ZIP-tiedosto oli noin neljä kertaa muita testitiedostoja suurempi. Ero optimoimattomiin 1Mbit/s siirtoihin oli vähintään puoli minuuttia, mutta vasteajan kasvaessa eroa oli jopa noin 2,5min.

1Mbit/s linjanopeudella mitattaessa lämminsiirretty tiedosto siirtyi verkon yli erittäin nopeasti, kuten muutkin tiedostotyytit. Vasteajan kasvattamisen myötä siirtoajat kasvoivat 1.9 sekunnista 4.8 sekuntiin, mikä oli merkittävästi nopeampaa verrattuna niin kylmä- kuin optimoimattomiin siirtoihin. ZIP-tiedoston lämminsiirroissa vasteajan kasvattaminen vaikutti selvästi eniten siirtoajan kasvuun ajallisesti, tosin suhteutettuna tiedoston kokoon kasvu oli keskitasoa. 10%-siirroissa siirtoajat kasvoivat vastaavasti 10 sekunnista 23 sekuntiin. Varianssia ei lämmin- ja 10%-siirroissa havaittu.

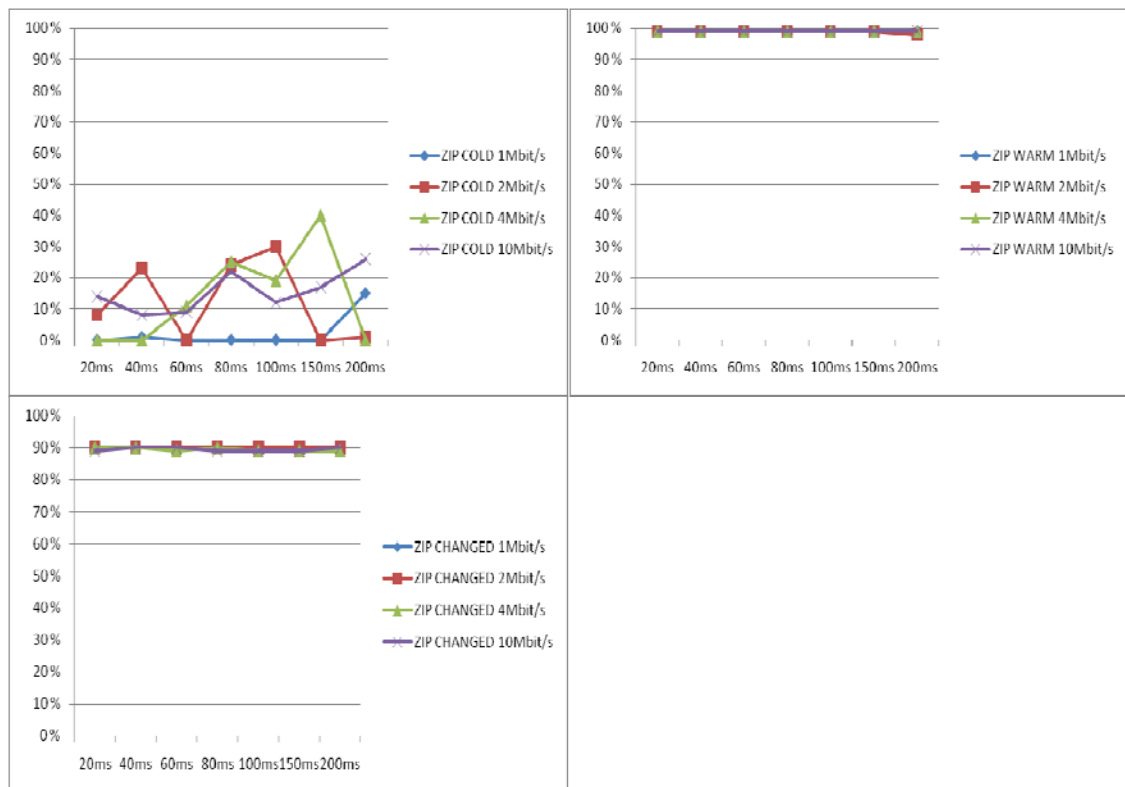
Kun linjanopeutta kasvatettiin 2, 4 ja 10Mbit/s:n, ei siirtoajoissa havaittu merkittävää muutosta siirtoajoissa. Toisaalta jokaisen linjanopeuden kylmäsiirroissa havaitut varianssit vääristivät tuloksia siten, että oli vaikea sanoa mikä oli keskimääräinen ero 1, 2, 4 ja 10Mbit/s kylmäsiirtoajoissa (kuva 2). Pääasiallisesti kaikilla linjanopeuksilla ja vasteajoilla kylmäsiirtoajat pysyivät noin 2,5-3s välillä. Lämminsiirroissa eroa siirtojen välillä oli enimmillään 1 sekuntia tietyn linjanopeuden mittaussarjalla ja noin 2,5 sekuntia nopeimman ja hitaimman siirron välillä. 10%-siirroissa eroa siirtoajoissa sarjojen sisällä oli keskimäärin 2-3 sekuntia, tosin 1Mbit/s sarjassa jopa noin 8 sekuntia.



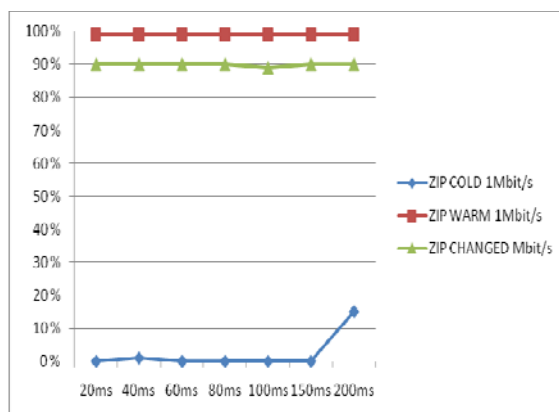
Kuva 2. ZIP eri siirtotyyppien siirtoaikat kullakin linjanopeudella

Optimoitumissuhde kylmäsiirroissa oli kaikilla linjanopeuksilla hyvin vaihtelevaa, optimointisuhteen vaihdella 0% ja 40% välillä. Lämminsiirrot puolestaan optimoituivat jälleen kuten muut tiedostotyypit, eli hyvin tehokkaasti ja tasaisesti, optimointisuhteen ollessa 98-99%. Myös 10%-siirtojen optimointisuhte oli korkea, ollen noin 88-90%. Linjanopeus ja vasteaika eivät vaikuttaneet huomattavasti lämmin- ja 10%-siirtojen optimointisuhteeseen. Oheisista kuvaajista nähdään eri siirtotyyppien optimointisuhtekäyrät kullakin linjanopeudella (kuva 3) sekä siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella (kuva 4).

(jatkuu)

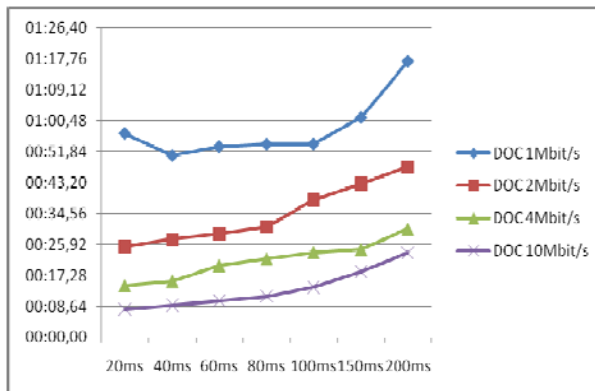


Kuva 3. ZIP optimointisuhde kullakin siirtotyypillä linjanopeuden kasvaessa

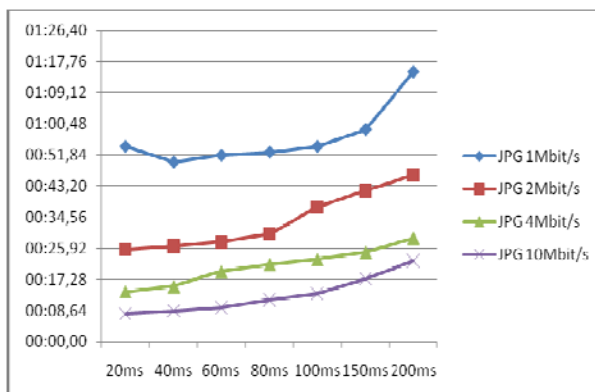


Kuva 4. ZIP siirtotyyppien väliset erot optimointisuhteessa 1Mbit/s linjanopeudella

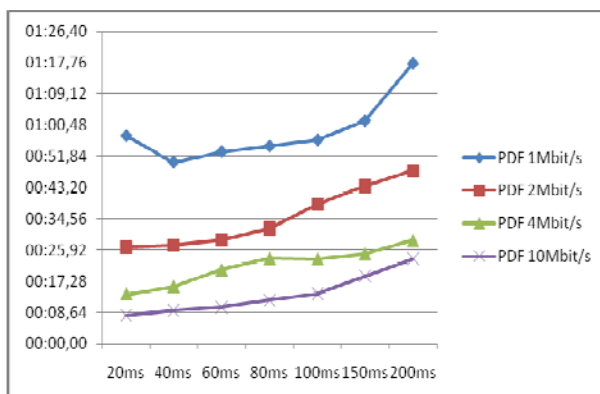
Optimoimattomat siirrot käyttäytyivät kauttaaltaan samankaltaisesti. Kaikilla tiedostotyypeillä siirtoaikojen kuvaajat muodostivat lähes identtiset kuvaajat. Linjanopeuden ja vasteajan vaikutus siirtonopeus on selkeästi havaittavissa. Kuvissa näkyvät kunkin siirtotyyppin siirtoaajat eri linjanopeuksilla, vasteajan kasvaessa (kuva 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)



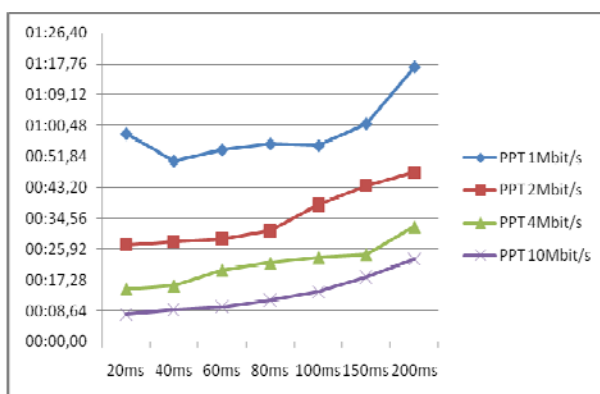
Kuva 1. DOC optimoimattomat siirrot kaikilla linjanopeuksilla



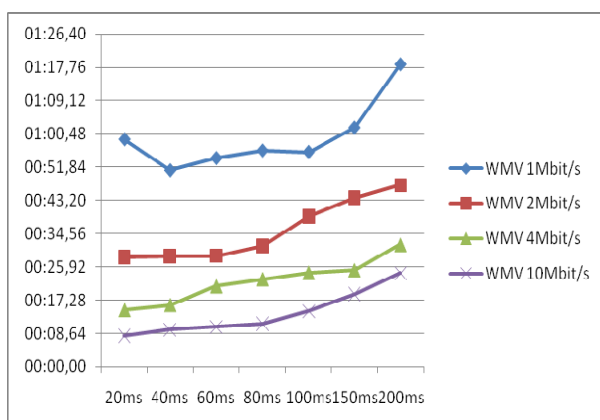
Kuva 2. JPG optimoimattomat siirrot kaikilla linjanopeuksilla



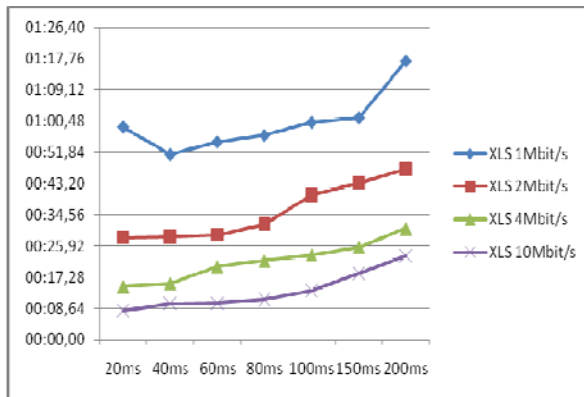
Kuva 3. PDF optimoimattomat siirrot kaikilla linjanopeuksilla



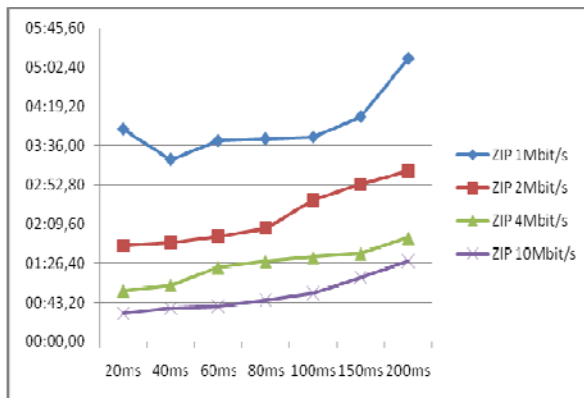
Kuva 4. PPT optimoimattomat siirrot kaikilla linjanopeuksilla



Kuva 5. WMV optimoimattomat siirrot kaikilla linjanopeuksilla



Kuva 6. XLS optimoimattomat siirrot kaikilla linjanopeuksilla



Kuva 7. ZIP optimoimattomat siirrot kaikilla linjanopeuksilla