

# Hagfræði Internetsins

Sigurgeir Örn Jónsson  
Kerfishagfræði

5. febrúar 1998

# Efnisyfirlit

<b>1</b>	<b>Uppruni Internetsins</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Tilurð Internetsins</b>	<b>4</b>
2.1	Netáhrif . . . . .	4
2.2	Myndun staðals . . . . .	5
2.3	Lögun Internetsins . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Kostnaður Internetsins</b>	<b>8</b>
3.1	Helstu kostnaðarliðir . . . . .	8
3.2	Núverandi kostnaðarfyrirkomulag . . . . .	9
3.3	Tillögur að lausn mettunarvandamáls . . . . .	10
3.3.1	Samvitund notenda . . . . .	10
3.3.2	Forgangsröðun notenda . . . . .	11
3.3.3	Kvóti - skömmunarkerfi . . . . .	12
3.3.4	Forgangsröðun eftir gagnategundum . . . . .	12
3.3.5	Umframgeta . . . . .	12
3.3.6	„Snilldar” markaður . . . . .	12
3.3.7	Stigbundin þjónusta . . . . .	14
3.3.8	Forgangsmiðar . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Framtíð Internetsins</b>	<b>16</b>

# Kaflí 1

## Uppruni Internetsins

Þegar kalda stríðið ríkti og vá kjarnorkuátaka var yfirvofandi höfðu bandarískir ráðamenn miklar áhyggjur af því hvernig stjórnvöld gætu hagað samskiptum sínum eftir kjarnorkuáras<sup>1</sup>. Áhyggjur manna beindust einna helst að tölvusamskiptum, en tölvukerfi bandaríkjahers var á þessum tímum uppbyggt þannig að ef ein mikilvæg tölvumiðstöð slæi út yrðu tengd tölvukerfi óstarfhæf.

Árið 1964 kom hernaðarfyrirtækið RAND fram með tillögu að lausn á þessum vanda. Lausn þessi byggðist á því að setja upp netkerfi sem hefði enga eiginlega miðstöð og hefði þann eiginleika að vera starfhæft þótt einstaka tölvur dyttu út. Slíkt net þyrfti að byggja á þeirri forsendu að samskipti milli véla væru óáreiðanleg. Skilaboð/gögn sem flytja ætti á milli staða ætti að skipa niður í marga óháða gagnapakka. Hver pakki ætti að hafa miða sem á staði hver væri sendandi og hver viðtakandi. Þegar ein tölva sendi skilaboð til annarrar ætti hún að pakka þeim niður í þessa huglægu pakka og senda þá af stað. Sérstakar tölvur, svokallaðir leiðbeinar (*e. routers*) myndu taka á móti pökkum af hverri flutningslínu, reikna út styðstu leið til viðtakanda og senda pakkana áleiðis til næsta leiðbeina. Næsti leiðbeinir myndi selflytja pakkana áfram og svo koll af kolli þangað til þeir kæmust á afgangastað. Hin eiginleiga leið pakkana í gegn um tölvunetið var ekki talin skipta máli, svo lengi sem þeir stefndu ávallt í rétta átta. Það að einhverjir armar tölvunetsins væru óstarfhæfir myndi ekki stöðva pakkana á leið sinni um netið heldur breyta leið þeirra. Þetta fyrirkomulag á gagnaflutningum er skilgreint sem pakkaskipti (*e. packet-switching*) en staðall RAND fyrirtækisins fékk nafnið NCP (Network Control Protocol).

Fyrsta tölvunetið sem notaði NCP staðalinn var sett upp í tilraunaskyni í Bretlandi árið 1968. Ári síðar var komið upp samskonar neti í Bandaríkjunum

---

<sup>1</sup>Helstu heimildir: [?] og [?].

en það tengdi saman 4 tölvumiðstöðvar. Net þetta var upprunalega ætlað til fjarvinnslu milli tölvumiðstöðva en með tímanum minnkaði hluti fjarvinnslunar á kostnað tölvupósts og annarra samskipta milli notenda.

Ýmsir vankantar voru á NCP staðlinum og því var nýr og betrubættur staðal TCP/IP tekinn upp á áttunda áratugnum. Á áttunda og níunda áratugnum varð bylting á tölvumarkaðinum bæði hvað varðar lækkandi verð á tölvum og aukin afköst tölvubúnaðar. Í kjölfarið jókst til muna fjöldi nettengdra tölva. Því er helst að þakka sveigjanleika TCP/IP stðalsins en það skipti ekki máli hvers konar vélartegundir eða hugbúnað var notaður, TCP/IP gekk jafn vel á því öllu.

Vöxturinn Internetsins á tíunda áratugnum hefur verið ævintýri líkast. Fjöldi nettengdra véla hefur tvöfaldast á ári að jafnaði, frá árinu 1989. Vöxtur síðustu ára hefur verið u.þ.b. 20% á mánuði. Bylting varð árið 1993 en það ár kom til nýr staðall sem keyrði ofan á TCP/IP staðlinum svokallaður veraldarvefur. Staðall þessi gerði notendum kleift að koma upp myndrænum upplýsingasíðum og tengja þær saman við aðrar síður. Í kjölfar hins nýja staðals varð Internetið opnara almenningi og öll notendaskil vinsamlegri. Við þessa byltingu varð Internetið opnara fyrir almennum borgurum en nokkru sinni fyrr. Fjöldi þjónustuaðila um allan heim tóku að selja aðgang að Internetinu og umfjöllun um Internetið í helstu fjölmiðlum varð daglegt brauð.

Í dag er Internetið þekkt um heim allan. Fyrirtæki nota netið til þess að auðvelda upplýsingadreifingu til neytenda, einstaklingar nota það til hefðbundna samskipta, upplýsingaöflunar og afþreyingar. Internetið býður upp á alhliða þjónustu í gagnaflutningum með ódýrari hætti en áður hefur þekkt. Internetið hefur nú tekið til sín ýmis konar flutning sem áður hefur farið fram á hefðbundnari netum s.s.faxnetinu, símkerfisnetum og póstflutningsnetum. Sumir telja að það séu aðeins nokkur ár í það að flest heimili og öll fyrirtæki verði með beinlínutengingu við Internetið og að Internetið verði varanlegur hluti af daglegu lífi fólks.

# Kaflí 2

## Tilurð Internetsins

### 2.1 Netáhrif

Formleg skilgreining á netkerfum er sú að netkeri sé samnefni yfir línur og tengla sem tengd eru saman[?]. Í venjulegu neti eru gjarnan margir þættir nauðsynlegir til þess að skapa verðmæt gæði. Dæmi um þetta er talsími, en hann er lítils virði ef ekki er til net sem tengir hann við aðra talsíma. Til þess að hægt sé að skapa gæði sem felast í símtali milli tveggja notenda er nauðsynlegt að talsímanet samanstandi a.m.k. af tengingu frá notenda 1 til símsstöðvar og tengingu frá símsstöð til notenda 2. Almennari útgáfa af slíku neti er svokallað stjörnunet sem inniheldur eina miðstöð og fjölda útstöðva. Tengingarnar frá miðstöð til útstöðva eru samvörur, þ.e. virði tengingar til miðstöðvar byggist á því að hægt sé að tengjast áfram til annarra útstöðva<sup>1</sup>.

Virði einstakrar útstöðvar í netkerfi veltur m.a. á fjölda mögulegra tenginga yfir í aðrar útstöðvar og gæðum þessara tenginga. Ef að einni útstöð er bætt við net eykst virði allra nettengdra útstöðva þar sem fjöldi mögulegra tenginga verður meiri en áður. Ef við gefum okkur einfalt stjörnunet með  $n$  útstöðvum (og þar með  $n(n - 1)$  mögulegum tengingum) sjáum við að ef einni útstöð er bætt við eykst fjöldi mögulegra tenginga um  $2n$  og þar með virði allra útstöðva. Þessi virðisaukning er kölluð netáhrif (*e. network externalities*) og flokkast hún undir ytri áhrif þar sem að ábati þess að tengjast neti fellur ekki að öllu leyti á ákvörðunartakanum sjálfum heldur einnig fjölda annarra.

Stækkun netkerfis felur í sér virðisaukningu allra útstöðva að öðru óbreyttu. Tilvist netáhrifa gefur einstökum netum sterkan hvata til þess að stækka netið og fá inn fleiri útstöðvar. Skipting eignarréttinda á netkerfum og færslukostnaður getur haft mikið að segja um hvort stærð netkerfis nái Pareto-jafnvægi

---

<sup>1</sup>Hér er gert ráð fyrir því að tenging milli miðstöðvar og útstöðvar sé virðislaus

eða ekki. Ef að almennur færslukostnaður er enginn munu notendur netkerfis niðurgreiða inngöngu nýrra notenda með beimum hætti vegna netáhrifa og stærð netsins mun ná Pareto-jafnvægi. Í raunveruleikanum má þó vænta að kostnaður við slíkar niðurgreiðslur muni vera meiri en ábati<sup>2</sup> og muni hagkvæmni netkerfis byggjast á því hvort söluaðili nettenginga taki netáhrif með í reikninginn við verðlagningu einstakra tenginga eða ekki.

Ef að netkerfi er í eigu eins aðila og þessi eigandi á í fullri samkeppni við önnur samskonar netkerfi þá hámarkar hann hagnað með því að taka tillit til netáhrifa við verðlagningu á nettengingum, þ.e. niðurgreiða innkomu nýrra notenda vegna vænts aukins ábata af stækkun netsins. Ef netkerfi er ekki í beinni samkeppni við önnur netkerfi eru þó miklar líkur á að einokunarstefna neteigandans tryggi það að sú hagkvæmni sem felist í netáhrifum verði dregin niður með þjóðhagslega óhagkvæmri verðlagningu [?].

Internetið er ekki eigu eins aðila, heldur er þetta net fjöldi samninga sem kveða á um samnýtingu á flutningslínunum og tölvubúnaði. Einstakir þjónustuaðilar greiða fyrir leigða línu að næsta nettengli og selja notendum aðgang að Internetinu þannig að hagnaður sé hámarkaður. Það að einum notenda sé bætt við hefur jákvæð netáhrif á alla aðra notendur Internetsins, ekki aðeins þá notendur sem eru áskrifendur hjá viðkomandi þjónustuaðila. Því bendir margt til þess að verðlagning á Internet tengingum taki ekki að fullu mið af netáhrifum og því sé stærð netsins ekki Pareto hagkvæm. Á móti þessu koma þau mótrök að nettenglar hafi í gegn um tíðina niðurgreitt innkomu nýrra þjónustuaðila til að byrja með þegar þeir gera ráð fyrir því að virði nýrra tenginga komi fram að mestu leyti innan undirneti viðkomandi nettengils og skili sér þannig í auknum tekjum.

## 2.2 Myndun staðals

TCP/IP staðalinn og fyrirrennari hans NCP hafa verið undirstaða Internetsins frá upphafi. Ýmsir aðrir staðlar fyrir gagnaflutninga hafa komið upp í gegn um tíðina án þess að net af sömu stærðargráðu myndist út frá þeim. Byggja vinsældir TPC/IP staðalsins á ákjósanlegum eiginleikum eða röð tilviljana? TCP/IP staðallinn hefur ýmsa eiginleika sem aðrir staðlar hafa ekki haft í sama mæli.. Helstu eiginleikar eru eftirfarandi:

Í fyrsta lagi er TPC/IP staðalinn er mjög sveigjanlegur, þ.e. hann byggir ekki á ákveðinni gerð tölvubúnaðar eða hugbúnaðar. Þetta hefur gert það að verkum að hægt hefur verið að tengja nær hvaða tölvubúnað sem er við Internetið án mikils tilkostnaðar.

---

<sup>2</sup>Hver notandi hefur hvata til þess að gerast laumufarþegi

Í öðru lagi má nefna að TCP/IP var fyrsti almenni staðlinn sem nothæfur var til uppbyggingar ómiðstýrðs netkerfis. Virði staðals byggir meðal annars á fjölda (eða væntum fjölda) þeirra notenda sem nýta sér staðalinn. TCP/IP kom fyrstur fram á sjónarsviðið og hefur því haft umtalsvert forskot á aðra staðla í forni fjölda notenda.

Í þriðja lagi skal telja að TCP/IP staðalinn var almenningseign frá upphafi. Hvaða fyrirtæki sem er gat hafið vinnslu á hugbúnaði og vélbúnaði sem miðaðist við notkun á TCP/IP án þess að þurfa að greiða höfundarlaun fyrir notkun á staðlinum. Það að staðallinn er almenningseign hefur einnig haft jákvæð áhrif á neytendur, þ.e. minnkað áhættu notenda að sitja uppi með staðal eins fyrirtækis [?].

Að lokum skal það nefnt að nýting á burðargetu TCP/IP nets er í forni pakkaskipta. Í símkerfum fara samskipti fram með línuskiptum (*e. line-switching*), þ.e. ákveðinn hluti auðlindarinnar er tekinn frá til að sinna hverju símtali frá upphafi til enda óháð því hvort hver sekúnda sé nýtt til upplýsingaflutninga eða ekki. Á TCP/IP neti eru auðlindir ekki teknar frá nema rétt meðan raunverulegar upplýsingar eru fluttar yfir burðarlínur. Biðtími í TCP/IP samskiptum kallar ekki á sóun auðlinda þar sem hægt er að nota þær í aðra flutninga á meðan.

Yfirburðir TCP/IP staðalsins hafa einna helst komið í ljós á síðustu árum þegar að eigendur tölvmiðstöðva hafa lagt áherslu á að tengja staðla sína og þjónustu við Internetið<sup>3</sup>. Þeir hafa með þessum hætti verið að auka hagnað sinn og þjónustu við notendur með því að nýta eiginleika TCP/IP staðalsins og koma í veg fyrir hræðslu notenda við að læsast í einkareknum staðli.

## 2.3 Lögun Internetsins

Internetið er í rauninni ekki einstakt fyrirbæri, heldur er netið röð af samningum sem kveða á um samnýtingu burðarlína og tölvubúnaðar. Aðgangur eins notenda að burðarlínunum Internetsins takmarkast nær eingöngu af burðargetu og er ekki í beinum tengslum við þann kostnað sem viðkomandi notandi greiðir. Sterk jákvæð netáhrif hafa verið einn helsti hvatinn fyrir því að notendur, þjónustuaðilar og nettenglar tengji sig saman og veiti hvor öðrum aðgang að tölvubúnaði sínum og burðarlínunum án þess að bein gjaldtaka eigi sér stað fyrir notkun.

Hver notandi getur nýtt hvaða burðarlínu netsins sem er óháð því hvort hann greiði kostnað af viðkomandi burðarlínu eða ekki. Þrátt fyrir að slíkt fyrirkomulag sé ávísun á óhagkvæma nýtingu netkerfa hafa netáhrifin verið

---

<sup>3</sup>Dæmi um þetta slíkt er Internet þjónusta CompuServe, Prodigy, Geni, Microsoft Network og SKÝRR

Það sterk að heildarábati þess að tengja tölvumiðstöðvar saman með TCP/IP staðlinum hefur verið jákvæður.

Formun nettenginga hefur ekki verið háð tilviljunum. Með dreifðri stýringu hefur náðst að ná mikilli verkfræðilegri hagkvæmni í nýtingu burðarlína. Algengasta skipulag tenginga á Internetinu er trjáaskipulag, þar sem einstakir þjónustuaðilar eru laufblöð trésins, tengiliðir sem tengja saman þjónustufyrirtæki mynda greinarnar þess og stofninn mynda landssamtök sem tengja einstaka tengiaðila innbyrðis og við önnur landssamtök. Burðargeta flutningslína er hvað mest hjá landssamtökum en minni hjá einstökum þjónustuaðilum. Helstu ástæður fyrir þessu fyrirkomulagi eru stærðarhagkvæmni í gagnaflutningum og styttri flutningsleiðir milli þjónustuaðila.

## Kaflí 3

# Kostnaður Internetsins

### 3.1 Helstu kostnaðarliðir

Það að taka frá leigðar línur og öflugan tölvubúnað til þess að halda uppi hinu eiginlega Interneti er ekki kostnaðarlaust. Ef þessar auðlindir væru ekki nýttar við Internetið væri hægt að hafa þær til annarra nota, s.s. við hefðbundna talsímaflutninga eða almenna tölvuvinnslu. Kostnaður við þessar auðlindir er sá sami hvort sem línur eru fullnýttar eða ekki. Það má því segja að kostnaður við yfirbyggingu Internetsins sé að fastur og óháður notkun. Hver netstöð ber ákveðinn beinan kostnað af nettengingu sinni (kostnað vegna leiðbeina og leigðrar línu) og greiðir hún einnig fast gjald til svæðisþjónustuaðila. Svæðisþjónustuaðilinn tengist öðrum svæðisþjónustuaðilum og/eða landsþjónustuaðila og greiðir fyrir þessar tengingar fast gjald ásamt því að greiða kostnað eigin tölvubúnaðar og laun starfsfólks. Landsþjónustuaðilinn býður upp á tengingu milli svæðissamtaka og tengingu til annarra landssamtaka og greiðir kostnað með föstum greiðslum. Svona rekur þetta sig í gegn um netið. Flestir nettenglar sem einbeita sér að tengingu milli tölvuneta (en ekki smásölu til einstakra notenda) eru í eigu stórra notendahópa eða hópa smásöluaðila. Þeir hafa sterkan hvata til þess að halda verði nálægt eiginlegum kostnaði þar sem að inngöngutakmarkanir eru mjög lágar á þessum markaði. Ef hópur þjónustufyrirtækja er óánægður með þjónustu/verð nettengils þá stofna þau einfaldlega nýjan nettengil sjálf og njóta umframrentunnar.

Hreinn rekstrarkostnaður er þó ekki eini kostnaðurinn sem notendur Internetsins þurfa að bera. Notkun á Internetinu er í flestum tilfellum án nokkura takmarkana. Hver notandi getur þannig með notkun sinni skapað álag á nær hvaða línur netsins sem er. Þegar að fjöldi pakka sem reynt er að senda í gegn um ákveðnar burðarlínur netsins er meiri en burðargeta er sagt að viðkomandi

hluti netsins mettist. Pakkar renna þá ekki í gegn um netið snurðulaust heldur þurfa að sæta töfum eða lenda í hinni stafrænu ruslafötu. Þegar að notandi sendir pakka af stað leggur hann kostnað á aðra notendur Internetsins. Kostnaður þessi er ekki mældur í peningum heldur töfum og jafnvel sambandsleysi. Rétturinn til notkunar á burðarlínunum Internetsins er sameiginlegur og því kemur upp hið sígilda vandamál sameigna: notendur hámarka sinn hag á þess að taka tillit til þess kostnaðar sem þeir valda öðrum. Dæmi um hliðstætt vandamál er metnun á hraðbrautum sem ekki eru verðlagðar m.t.t. notkunar. Vandamál mettnar kemur upp þegar að eignarréttur, í þessu tilviki notkunarréttur, er ekki skilgreindur með nákvæmum hætti.

## 3.2 Núverandi kostnaðarfyrirkomulag

Fastur kostnaður þjónustuaðila er greiddur af notendum, oftast í formi fastra greiðslna. Þegar flutningsgeta burðarlína er aukin er sú ákvörðun byggð á tölfræðulegu mati notkunar og áætlunum þjónustuaðila á eftirspurn notenda m.t.t. verðs og flutningsgetu. Ef þjónustuaðilar telja jaðarábata þess að auka flutningsgetu meiri en jaðarkostnað þá gera þeir það annars ekki. Á Íslandi hefur burðargeta millilandalínunnar verið aukin nokkrum sinnum en línan sjálf ávallt fullnýtt bæði fyrir og eftir breytingar. Metnun reyndist svipuð fyrir og eftir breytingu. Breyting í burðargetu tekur því ekki á vandamáli mettnarkostnaðar því þótt jaðarvirði pakkasendinga sé lægra með aukinni burðargetu leggja pakkasendingar ytri kostnað á aðra notendur í formi tafa.

Vandamál mettnar hefur ekki reynt afgerandi hingað til, þ.e. tafir vegna mettnar hafa ekki náð að draga úr vinsældum Internetsins. Helstu ástæður fyrir þessu eru eftirfarandi:

Í fyrsta lagi má nefna að biðtími er einn kostnaðarliður sem notendur taka með í reikninginn þegar þeir taka ákvarðanir um pakkaflutninga. Notendur forgangsraða þökkum eftir biðtíma og senda aðeins verðmætustu pakkana þegar biðtími er mjög langur. Biðtími gagnaflutninga er ávallt einhver jafnvel þótt línur séu með öllu ómettaðar. Notendur hafa því almennt séð engan hag af því að stunda flutninga út í bláinn á netinu. . Þetta skýrir af hverju burðarlínur neta teppast sjaldan algerlega.

Í annan stað má telja að þjónustuaðilar auka burðargetu tengilína þegar þeir spá því að notendur séu tilbúnir að borga fyrir stækkunina í auknum tengigjöldum. Þjónustuaðilarnir nýta sér óbein markaðsboð í formi breytinga á notendafjölda þegar eiginleikum nettengina er breytt til þess að spá fyrir um virðismat neytenda. Aukin burðargeta minnkar að öðru óbreyttu kostnað mettnar.

Í þriðja lagi mé nefna að þeir notendur sem bjóða fram upplýsingar á

netinu hafa einhvern hag af því<sup>1</sup>. Ef að aðsókn í upplýsingar þeirra er það mikil að hún valdi mettum á netinu getur komið krafa frá þjónustuaðilum og/eða nettenglum um að slíkir upplýsingaveitendur greiði hærra gjald eða að þeir hætti þjóða upp á viðkomandi gögn. Fjölmörg dæmi eru um þetta, t.d. hafa ýmis einka gagnasöfn verið fjarlægð af eigendum þeirra vegna of mikillar aðsóknar en önnur greitt fyrir meiri bandbreidd þannig að kostnaður vegna upplýsingadreifingarinnar lendi síður á öðrum notendum.

Að lokum skal nefna að notkun upplýsingaveitna á netinu er í sumum tilfellum skömmtuð. Besta dæmið um þetta eru takmarkanir á fjölda virkra notenda á almennum gagnasafnsmiðlurum (FTP). Ástæðan fyrir þessum skömmtunum er oft krafa þjónustuaðila og nettengla um minni umferð.

### 3.3 Tillögur að lausn mettnarvandamáls

Þótt mettnarvandi komi ekki í veg fyrir gagnaflutning á netinu getur hann verið mjög kostnaðarsamur þegar litið er til tafakostnaðar. Upp á síðkastið hafa komið upp ýmsar hugmyndir um það hvernig taka megí á þessum vanda. Helstu hugmyndir eru eftirfarandi:

#### 3.3.1 Samvitund notenda

Margir telja að þrýstingur notenda sín í milli og almenn samvitund sé nægjanleg til þess að hafa stjórn á mettnarkostnaði [?]. Slíkur þrýstingur byggir á því að netkerfið sé skipulega uppbyggt þannig að mettnun á ákveðnum línunum megí rekja til einhverra undirnetna og þaðan til ákveðins notenda. Þegar að mikið umframálág má rekja til ákveðna þjónustuaðila eða notenda ætti samkvæmt þessu að vera nóg að hafa samband við viðkomandi aðila og hótta þeim aftengingu ef þeir hugsa ekki betur um sameiginlega auðlind allra notenda. Fjölmörg dæmi um áhrif slíks þrýstings hafa komið fram á síðustu árum. Þessi dæmi hafa þó öll það sameiginlegt að ekki hafi náðst að taka á málum fyrr en eftir að skaðinn er skeður. Stöðug þróun, vinarlegri notendaskil og auknar bandvíddarkröfur nettengds hubúnaðar hafa orðið til þess að einn notandi geti sett af stað umferð á netinu sem teppir heilu línurnar án þess að hafa hugmynd um afleiðingarnar. Gífurlegur kostnaður yrði við að fylgjast með allri umferð og senda skammarbréf þegar að notkun færi úr böndum

Svo lengi sem einn eða fleiri notendur geta skapað mettnun á heilu línunum mun tillagan um samvitund notenda ekki vera góð leið til þess að

---

<sup>1</sup>Dæmi um þetta eru fyrirtæki sem dreifa auglýsingatengdum upplýsingum og einstaklingar sem vilja afla sér vinsælda eða komast til metorða.

nýta burðarlínur netsins á hagkvæman hátt.

### 3.3.2 Forgangsröðun notenda

Hugmynd um forgangsröðun notenda byggir, eins og nafnið gefur til kynna, á því að notendur velji forgang á þeim pökkum sem þeir senda frá sér. Þeim sem liggur á setja háan forgang á sína pakka en aðrir lágan. Þessi aðferð gæti mögulega minnkað álag sem myndast vegna sjálfvirkra runuflutninga sem kerfisstjórar myndu flokka undir lágan forgang. Í auðkennishluta TCP/IP pakka er svæði þar sem hægt er að skrá niður forgang (*e. precedence*) og tegund þjónustu (TOS). Bohn, Braun, Claffy og Wolff [?] stinga upp á kerfi sem byggir á því að hver leið í gegn um netið sé skilgreind með TOS númeri og að rúterar beri saman TOS númer mögulegra leiða við TOS númer pakka og velji þannig hagkvæmustu leið í gegn um netið m.v. þær áherslur sem sendandi pakkans hefur lagt í sambandi við forgang.

Ef allir notendur forgangsröðuðu pökkum sínum þannig að „réttmætt“ virði hvers pakka kæmi fram í TOS svæðinu mætti ná fram aukinni hagkvæmni í netflutningum. Pakkar sem hafa lítið virði myndu fara á hægferð í gegn um netið á meðan forgangspakkar færu viðstöðulaust áfram.

Hlutfallslega lítill tilkostnaður fylgir því að setja þetta kerfi upp m.v. aðrar tillögur. TOS svæðið er nú til staðar í öllum TCP/IP pökkum sem sendir eru um netið og því felast breytingarnar í átt að forgangsröðun í endurskipulagningu notendahugbúnaðar og hugbúnaðar á leiðbeinum en ekki gagngerri endurskoðun á grunnstöðlum netsins.

Hugmynd þessi hefur sætt mikilli gagnrýni meðal hagfræðinga. Þeir segja að að notendur hafa engann hvata til þess að seta „réttan“ forgang á pakka þar sem þeir bera engan kostnað af því að velja hæsta forgang fyrir allar sendingar. Kerfi sem þetta gæti þó mögulega virkað í smáum samfélögum, svo sem á Intranetinum<sup>2</sup> fyrirtækja, þar sem notendur hafa upplýsingar um notkun og forgangsröð hvers annars og geta þannig beitt þrýstingi til þess að hvetja notendur til að taka tillit til mettunarkostnaðar. Erfiðara er að beita slíkum þrýstingi á stórum netum þar sem mjög kostnaðarsamt getur verið að rekja umferð á neti til eins notenda<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup>Intranet er nýtt hugtak sem nær yfir innanhús-Internet, þ.e. sjálfstætt TCP/IP net þar sem umferð á netinu samanstendur einna helst af innanhússendingum

<sup>3</sup>Undantekningar á þessu er þegar um umferð til margra einstaklinga er að ræða. Umferðin er þá ekki rakin bein frá upplýsingum í TCP/IP hausum heldur frá upplýsingum notendaforrita sem taka á móti sendingunum.

### 3.3.3 Kvóti - skömmtunarkerfi

Nokkrar hugmyndir hafa komið fram um að minnka mettun með kvótasetningu og skömmtunarkerfi [?]. Þessi hugmynd er ekki ný af nálinni því hún hefur verið notuð um áraraðir við aðgangsstjórnun á vinsælum skráarþjónum. Kvótatakmarkanir byggjast t.d. á því að takmarka fjölda notenda á burðarlínu, fjöldi notenda á gagnamiðlara o.s.frv. Það er augljóslega hægt að minnka umferð á línunum það mikið að engin mettun eigi sér stað.

Hversu hagkvæm er þessi lausn? Þeir sem ná sér inn fyrir kvótatakörkin leggja kostnað á aðra í formi útilokunar. Kvótakerfið getur ekki með nokkru móti greint þarfir einstaklinga og virði flutninga. Þetta kerfi hámarkar ekki virði flutninga heldur færir kostnað mettunar frá biðtíma yfir í útilokun.

### 3.3.4 Forgangsröðun eftir gagnategundum

Ef þarfir gagnastraums eru þekktar, þ.e. fyrir áreiðanleika í flutningum, hraða og flæði, eiga leiðbeinar að geta raðað þökkunum niður á mismunandi leiðir sem hver fyrir sig tekur tillit til þarfa hvers gagnastraums [?]. Kostir og gallar þessa kerfis eru þó þeir sömu og í lið 3.3.2. Hagkvæmni veltur að öllu leiti á samkennd notenda og samstarfsvilja. Ef einhverjar tegundir gagnastrauma fá betri þjónustu en aðrar tegundir munu biðfælnir notendur einfaldlega merkja gagnastrauma sína með því þjónustunúmeri sem tryggir bestu gæði.

### 3.3.5 Umframgeta

Hægt er að leysa mettunarvanda með miklum umframfjárfestingum í burðargetu. Slík lausn myndi fela það í sér að línur yrðu oft vannýttar en fastur kostnaður væri sá sami og við fulla nýtingu. Þessi lausn býður augljóslega ekki upp á aukna hagkvæmni m.v. það fyrirkomulag sem er nú í gildi.

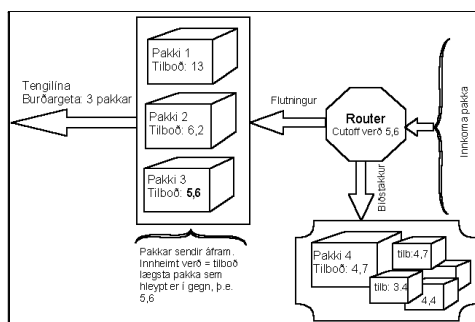
### 3.3.6 „Snilldar”markaður

Þegar burðargeta á flutningslínunum Internetsins er ófullnýtt er jaðarkostnaður gagnaflutninga nálægt núlli. Þegar að notandi sendir pakka við slík skilyrði leggur hann engan kostnað á aðrar notendur. Kostnaður við að senda pakka á mettuðum línunum er jákvæður og leggst á aðra notendur línunnar sem ytri áhrif í formi biðtíma. Forsenda fyrir því að hægt sé að ná hagkvæmni við mettun burðarlína er sú að notendur taki tillit til allra kostnaðarliða þegar þeir senda pakka, þ.á.m. mettnarkostnaðar .

Ein leið til þess að taka mettnarkostnað með í reikninginn er sú að bera saman kostnað við bið einstakra pakka og gefa þeim forgang sem síst mega

bíða þar til línan er fullnýtt. Hugmynd um forgagnsröðun notenda byggir á þessari aðferð en hefur þó, eins og áður hefur komið fram, þann galla að notendur hafa ekki hvata til þess að setja réttan forgang á útsenda pakka.

MacKie-Mason og Varian [?] [?] hafa lagt til markaðslausn á mettnarvandamálinu sem þeir kalla snilldarmarkað (*e. smartmarket*). Hugmynd þeirra á því að notendur gefi upp rétt verðmætamat á pökkum með því að skilgreina þá hámarksupphæð sem þeir séu reiðubúnir að borga fyrir tafalausan flutning. Til þess að notendur gefi upp rétt verð eru þeir rukkaðir sem nemur verðgildi verðlægsta pakkans sem hleypt er í gegn um netið. Hér er um að ræða svokallað Vickery uppboð en slíkt fyrirkomulag felur í sér sterkan hvata fyrir notendur að setja fram raunverulegt verðmætamat í pakkasendingum sínum<sup>4</sup>.



Myndrænt dæmi um snilldarmarkað

Ef burðarlínur eru ófullnýttar fara allir pakkar í gegn án nokkurs kostnaðar. Ef línur eru mettaðar er þeim raðað í forgangsröð eftir verðmætamati og þeir forgangshæstu sendir áfram en afgangurinn bíður eftir að metnun minnki. Sendendur þeirra pakka sem hleypt eru í gegn eru allir rukkaðir fyrir mettnarkostnaði og borgar hver og einn verð sem er jafnt lægsta tilboði sem samþykkt var. Notendur borga því aldrei hærra verð en þeir tilgreina sjálfir í tilboðssvæði pakkanna og oftast lægra.

MacKie-Mason og Varian álykta að verðlagning sem þessi leysi ekki einungis mettnarvandamálið heldur gefi einnig rétti merki til þjónustuaðila og nettengla um breytingar á burðargetu netsins. Merkjagjöfin er þannig að aukning burðargetu eykur velferð notenda ef og aðeins ef tekjur af mettnargjöldum eru meiri en kostnaður vegna aukningarinnar [?].

Snilldarmarkaðshugmyndin er fræðilega séð Pareto-hagkæm lausn á mettnarvandanum ef gert er ráð fyrir því að uppboðum og innheimtu fylgi enginn kostnaður. Í raun kallar þessi lausn á kostnaðarsama yfirbyggingu. Milljónir pakka fara yfir burðarlínur á hverjum degi. Það að reka bókhaldskerfi

<sup>4</sup>Hvati tilboðsgjafa til þess að bjóða fram rétti mat á verðmætum í Vickery uppboðum er vandlega skýrður í kafla 11.7 í Binmore[?].

sem heldur stöðug uppboð, skráir niður verðupplýsingar og rukkar notendur fyrir mettnarkostnaði kallar á mikið vélarafi og flutningsgetu. Í almenna símakerfinu er færð ein bókhaldsfærsla fyrir hvert símtal og kostnaður við bókhald og innheimtu er c.a. 50% af símareikningum [?]. Að halda bókhald yfir flutninga í gegn um Internetið er margfalt dýrara en í almenna símkerfinu. Eitt stafrænt „símtal“ í gegn um Internetið getur tekið þúsundir pakka og getur því kallað á þúsundir bókhaldsfærslu. Því vaknar upp sú spurning hvort kostnaður vegna yfirbyggingarinnar í kringum snilldarmarkaðinn gæti hreinlega orðið meiri en ávinningurinn.

Annað alvarlegt vandamál er það hvort sé réttara að rukka sendanda eða móttakanda fyrir pakkasendingar. Þetta vandamál kemur upp t.d. þegar um er að ræða almenna fría gagnþjóna. Þegar notandi flytur gögn frá slíkum þjóni sendir hann fyrirspurn af stað en gagnþjóninn sendir gögnin til baka um hæl. Samkvæmt snilldarmarkaðshugmyndinni ætti notandinn að borga fyrir flutning fyrirspurnarinnar en eigandi gagnþjónsins að borga fyrir flutning gagnana. Gagnþjónar sem bjóða upp á frí gögn þurfa því að rukka notendur fyrir sendingarkostnaði ef þeir eiga ekki að þurfa að borga með flutningunum. Þetta vandamál snýst einna helst að þeirri hugmyndafræðilegri uppbyggingu gagnasamskipta sem nú ríkir á Internetinu. Margir almennir skráarmiðlarar hafa hvorki efni á því að borga með gögnum sínum eða setja upp sérstakt innheimtukerfi og munu því aftengjast netinu. Þetta á einnig við um eigendur svokallaðra póstalista og ráðstefnuþjóna.

Að lokum skal minnst á vandamál sem snertir samtengingu uppboðsmarkaða. Þegar senda þarf pakka á einhverja vegalengd þarf pakkinn að fara yfir fjölda lína. Ef að ákveðin mettnun er á fleiri en einni línu þýðir það að pakkinn þurfi að fara í gegn um nokkur uppboð áður en hann kemst á leiðarenda. Það hvort pakkinn kemst alla leið með forgangi eða ekki er þannig „tímatengt“ vandamál sem ekki hefur verið fundin góð lausn á ennþá [?]. Pakki sem notandi sendir getur verið samþykktur af fyrstu leiðbeinum á leiðinni en settur í bið (vegna herra verðs) á síðari hluta leiðarinnar. Á að rukka notandann fyrir flutninginn hálfu leið? Hægt væri að leysa þetta vandamál með því að halda upplýsingum um öll flutningsverð (*e. cutoff price*) á öllum leiðbeinum þannig að uppboð á fyrsta leiðbeina ákveði hvort pakki komist alla leið eða ekki. Slík upplýsingasöfnun mun þó taka gífurlegt vélarafi og minni og þannig reynast mjög kostnaðarsöm m.v. núverandi tækni.

### 3.3.7 Stigbundin þjónusta

Uppsetning snilldarmarkaðs er ekki sársaukalaus. Hún myndi kalla á grunnbreytingu TCP/IP staðalsins, en til þess að slík breyting geti átt sér stað verður að ríkja mjög víðtæk samstaða um hana. Hugmyndin um stigbundna þjónustu (*e. in-*

*interruptable service*) [?] lýsir málamiðlun, þ.e. hefur í sér nokkra eiginleika snilldarmarkaðskerfisins en er þó framkvæmanleg m.v. núverandi netstaðla. Hugmynd þessi byggir á því að þjónustuaðilar bjóði upp á tvenns konar tengimöguleika: forgangspjónustu og afgangspjónustu. Forgangspjónusta myndi þá væntanlega kosta notendur meira en afgangspjónusta, en verðlagning á hvorum kosti fyrir sig myndi byggja á föstu afnotagjaldi. Þegar línurmettast munu pakkar þeirra notenda sem eru áskrifendur af afgangspjónustu fara í bið. Þessi lausn er ekki eins sveigjanleg og snilldarmarkaðskerfið en hefur eftirfarandi kosti í för með sér: (a) notendur geta með samfærandi hætti gefið til kynna hvort pakkaflutningur eigi að njóta forgangs eða ekki og (b) kostnaður vegna uppboða og bókhalds er í lágmarki þar sem notkun er ekki rukkuð á pakka heldur samkvæmt þjónustustigi.

### 3.3.8 Forgangsmiðar

Bohn et. al [?] komu fram með þá hugmynd að hver notandi gæti keypt stafræna „miða“ sem leyfði honum að senda forgangspakka. Þjónustuaðilar notenda hefðu þessa forgagnsmiða (*e. chits*) til endursölu en verð þeirra byggðist á almennu markaðsverði metunnar á hverjum tíma<sup>5</sup>. Forgangur hvers pakka færi eftir því hversu marga forgagnsmiða hann hefði ”límdu“ á auðken-nishluta. Helstu kostir þessa kerfis eru eftirfarandi: (a) bókhald fer fram á vélum þjónustuaðila en er ekki dreift yfir alla leiðbeina netsins, (b) sala á for-gangi fer fram áður en pakki er sendur af stað og (c) ekki er þörf á breytingum í TCP/IP staðlinum til þess að koma kerfinu á.

---

<sup>5</sup>Ekki er ljóst hvernig meta eigi söluverð forgagnsmiða þar sem metnun getur verið mis-dýr eftir því hvert senda á pakka. Hægt væri þó að útfæra þetta þannig að verðið sé metið út frá úrtakstölum metunnar og þeim forgangi sem notendur setja á pakka sína á hverjum tíma.

## Kaflí 4

# Framtíð Internetsins

Mjög erfitt getur reynst að spá fyrir um framtíð Internetsins vegna hinnar öru þróunar í tölvu- og tæknimálum sem einkennt hefur síðasta áratug. Vöxtur netsins er gífurlegur en aukning umferðar á línunum netsins eykst jafnvel hraðar. Mettunarvandamál, sem hefur ekki valdið miklum áhyggjum hingað til, gæti á næstu árum versnað til muna og því er mjög mikilvægt að virk umræða eigi sér stað um vöxt Internetsins, hagræna hagkvæmni<sup>1</sup> í gagnaflutningum, lausnir á mettunarvandamálinu, ábata af slíkum lausnum og kostnað.

Umræða mun að öllum líkindum snúast að meginstefnu til um: (a) hvort mettun sé vandamál, (b) hvort tæknibúnaður framtíðinnar sé líklegur til þess að úrelða hugmyndir dagsins í dag og (c) hvort til sé lausn sem eykur hagkvæmni í gagnaflutningum að teknu tilliti til færslukostnaðar. Þær tillögur sem nefndar voru í lið 3.3 hafa allar sína kosti og galla. Sumar þeirra ganga út frá sjónarmiði verkfræðinnar og hafa gjarnan þá forsendu að notendur eigi að geta tekið tillit til annarra notenda án þess að þeir hafi beinan hvata til þess. Aðrar taka á hagrænni hagkvæmni og taka á mettunarvandamálinu út frá virði netflutninga en fela í sér kostnað vegna eftirlits og bókhalds. Engin af þessum tillögum hefur verið samþykkt enda eru hagsmunir og áherslur hinna ýmsu hópa innan Internet samfélagsins mismunandi.

Mikilvægur punktur í þessari umræðu er kostnaður við yfirbyggingu netsins. Ein helsta ástæðan fyrir ódýrum gagnaflutningum Internetsins er einmitt sú að yfirbygging þessi er í lágmarki. Á Internetinu er ekki kostnaðarsöm skrefatáling líkt og í almennum símkerfum, heldur er kostnaður dreifður yfir alla notendur. Því ber að varast að sú lausn sem valin verði til lausnar á mettunarvandamálinu hafi verði ekki til þess að netið verði staðgönguvara við almenna símkerfið og menning Internetsins líði undir lok vegna færslukostnaðar.

---

<sup>1</sup>Ástæða er til að taka hér sérstaklega fram að um **hagræna** hagkvæmni er að ræða þar sem verkfræðingar skilgreina hagkvæmni í netflutningum sem tæknilegt fyrirbæri yfir nýtingu netbúnaðar, t.d. í formi pakka per sekúndu.

Það er nokkuð ljóst að þær aðferðir sem byggjast á forgangsröðun notenda eða forgangsröðun eftir tegund gagnastrauma leysa engan vanda. Snilldarmarkaðskerfið mun að öllum líkindum einnig verða ófýsilegur kostur vegna kostnaðarsamrar yfirbyggingar. Hugmyndir um þjónustustig eða forgangsmiða eru að hagkvæmar lausnir að mínu mati. Þær kalla ekki á stórkostlegan kostnað en gefa notendum þann möguleika að senda gögn með forgangi, einhvað sem þeir hafa ekki haft möguleika á hingað til nema með notkun einkarekinna netkerfa.

Þróun vél- og hugbúnaðar mun án efa ógilda sum af þeim rökum sem lögð hafa verið gegn ýmsum hugmyndum í ritgerð þessari. Tilkoma nýrra gagnaneta, s.s. ATM<sup>2</sup>, mun að öllum líkindum hafa mikil áhrif á þróun gagnasamskipta í heiminum og framtíðarskipulag Internetsins. Þó er víst að vöxtur Internetsins hefur haft gífurleg áhrif á samskipti manna og verður án efa leiðarvísir fyrir þá sem hyggjast finna annað fyrirkomulag á gagnaflyttingsnetum, fyrirkomulag sem tekur á þeim vandamálum sem Internetið á við að stríða um þessar mundir.

---

<sup>2</sup>ATM er nýr pakkaskiptastaðall sem símkerfin stefna á að taka upp á næstu árum. Umfjöllun um mettunarvandamál og verðlagningu ATM má sjá í [?].