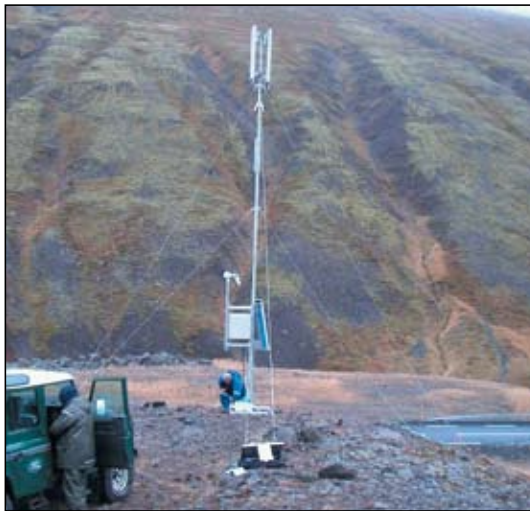


Skýrsla

Könnun á hagkvæmum leiðum til uppbyggingar farsímakerfa á heiðarvegum

Sigfús Björnsson, prófessor



Október 2004

(Viðauki varðandi hlutfallslegt kostnaðarmat valkosta, apríl 2005)

Skýrsla

**Könnun á hagkvæmum leiðum til
uppbyggingar farsímakerfa
á heiðarvegum**

Sigfús Björnsson, prófessor

Október 2004

(Viðauki varðandi hlutfallslegt kostnaðarmat valkosta, apríl 2005)

© Háskóli Íslands 2006
Umbrot: Vegagerðin JG
Letur: Times 10,6/11,8 Fyrirsagnir: Eurostyle
Forsíðumyndir: Sigfús Björnsson
Prentun: Gutenberg
ISBN 9979-70-123-4

Efnisyfirlit

Formáli	5
Um þætti skýrslunnar	6
Hluti I Um valkosti og afstætt kostnaðarmat	6
Hluti II Ítarleg umfjöllun, almenns og tæknilegs eðlis	6
Hluti I (apríl 2005)	
1 Valkostir	
1.1 Valkostur 1 Hefðbundin uppbygging skv. fyrri áætlunum, en „færanleg“	8
1.2 Valkostur 2 Heiðarvegakerfin sem sjálfstætt undirkerfi	8
1.3 Valkostur 3 Valkostur 2 byggður upp með nýjustu tækni	9
2 Kostnaðarmat og samanburður	
2.1 Inngangur	9
2.1.1 Forsendur	11
2.1.2 Kostnaður við Valkost 1 (hefðbundin uppbygging)	11
2.1.2.1 Kostnaður við radióstöðvar	12
2.1.2.2 Kostnaður við viðbótareiningar	13
2.1.2.3 Kostnaður við uppsetningu	14
2.1.3 Hlutfallslegur sparnaður við Valkost 1	14
2.2 Kostnaður við Valkost 2 (svæðiskerfi)	14
2.2.1 Inngangur	14
2.2.2 Kostnaður miðað við Valkost 1	14
2.2.3 Eftirmáli að Valkosti 2	16
2.3 Kostnaður við Valkost 3 (ný tækni)	16
2.3.1 Inngangur	16
2.3.2 Kostnaður	17
2.3.2.1 Grunnstöðvarkostnaður	17
2.3.2.2 Kostnaður við annan búnað á sendistað	17
2.3.2.3 Kostnaður við uppsetningu	17
2.3.3 Hlutfallslegur sparnaður miðað við Valkost 2	18
2.4 Samantekt og helstu niðurstöður (Hluta I)	18
Hluti II (október 2004)	
Samantekt helstu atriða í hluta II	19
3 Ítarleg umfjöllun, almenns og tæknilegs eðlis	
3.1 Uppbygging og innihald skýrslunnar	20
3.1.1 Inngangur	21
3.1.2 Forsendur	21
3.2 Valkostir við uppbyggingu farsímakerfa	22
3.2.1 Fyrirhuguð leið	22
3.2.2 Færanlegt kerfi (Valkostur 1)	22
3.2.3 Undirkerfi með svæðissímstöð (Valkostur 2)	23
3.2.4 Innviðir samkvæmt 3. kynslóðinni (Valkostur 3)	24
3.3 Svæðiskerfi með nýrri útfærslu tækninnar	27
3.3.1 Kerfislýsing – Einstakir kerfishlutar	27
3.3.2 Miðlægur kjarni fjarskiptakerfis - IPS-svæðissímstöð (INS)	28

3.3.3	Net til bakfæðingar	30
3.3.3.1	IP-baknet	30
3.3.3.2	Ný grannfræði bakneta - hagkvæm bakfæðing	31
3.3.3.3	Athyglisverð nýjung í bakfæðingu - þarf prófana við	32
3.3.4	Radíóstöðvar	34
3.3.4.1	IP-bakfæddar radíóstöðvar	34
3.3.4.2	Tilraunir með orkusparandi radíóstöðvar og lágmarks aflþörf	34
3.3.4.3	„Sjálfbærar“ grunnstöðvar	34
3.3.4.4	Breytt hönnunarviðhorf - smáar sjálfbærar IP-radíóstöðvar	35
3.3.5	Tilraunir og kerfisprófanir á „vettvangi“	36
3.3.5.1	Prófanir með IP-símstöð	36
3.3.5.2	Prófanir með IP-bakfæðingu	36
3.3.5.3	Prófanir með IP-tengdar sjálfbærar sendistöðvar	37
3.3.5.4	Kerfisprófanir á valkosti 3 í heild	38
3.4	Ýmis hagkvæmnisatriði í hefðbundinni uppbyggingu	38
3.4.1	Endurskoðun sírstöðvarinnar í hefðbundinni uppbyggingu.	38
3.4.2	Endurskoðun á hefðbundinni bakfæðingu	38
3.4.2.1	Um hefðbundna bakfæðingu radíóstöðva	38
3.4.2.2	Bakfæðing radíóstöðva með IP-örbylgjusamböndum	39
3.4.2.3	Langlínubakfæðing og fæðing innan svæða	39
3.4.3	Atriði varðandi radíóstöðvar	40
3.4.3.1	Kröfur	40
3.4.3.2	Stærð radíóstöðva	40
3.4.3.3	Radíóendurvakar	41
3.4.3.4	Radíóstöðvar með IP-bakfæðingu í hefðbundinni uppbyggingu	42
3.5	Viðaukar	43
3.5.1	Æskileg fjarskiptáþjónusta á heiðum og hálendinu sem fengist með GPRS/EDGE og svæðis-IMS.	43
3.5.2	Bakfæðing símakerfa á heiðum og hálendinu yfir gervitungl.	44
3.5.3	Um æskilegt tíðnisvið fyrir heiðavegakerfi – GSM450 fyrir heiða- og hálendisvegi?	45
3.5.4	Hvert er farsíminn að þróast?	46
3.5.5	Um frekari beitingu „sjálfaðlagandi möskvaneta“ til bakfæðingar í öðrum vegafarsímakerfum en heiðarvegakerfum	49
3.6	Samantekt helstu atriða í Hluta II	50
3.7	Skammstafanir og skýringar.	52

Könnun á hagkvæmum leiðum til uppbyggingar farsímakerfa á heiðarvegum

Formáli

Rannsóknarhlutinn í þessu verkefni var unninn frá miðju ári 2003 til haustmánaða 2004 og skýrslu um hann skilað í október það ár. Mestur hluti þeirra tilrauna og mælinga sem gerður var snertir framtíðartækni, því að hefðbundna tæknin er vel þekkt og reynsla fyrir hendi hér á landi. Þessi umfjöllun um niðurstöður prófana og mælinga er **Hluti II** í skýrslunni í núverandi mynd, og er upprunalegur kjarni hennar.

Að beiðni Vegagerðarinnar var í byrjun þessa árs unnin viðbót um kostnaðarsamanburð mismunandi valkosta sem komu fram í upprunalegri skýrslu og honum bætt við í mars 2005 ásamt mati höfundar á þessum valkostum. Þetta er **Hluti I** af skýrslunni í núverandi mynd. Nauðsynlegt var því að kynna valkostina á ný í upphafi hans (Hluta I), en þeir höfðu orðið til sem rökrétt afleiðing af niðurstöðum rannsóknarvinnunnar í Hluta II (kjarna skýrslunnar) sem unnin hafði verið áður.

Eitt af markmiðum sem verkinu var sett var að vinna að niðurstöðum sem gætu orðið ráðgefandi varðandi kröfur í útboði á heiðarvegaverkefninu. Útboð af hálfu hins opinbera var þá talin líklegasta og eðlilegasta leiðin til að hrinda málinu í framkvæmd. Útboðsleiðin var því tekin sem forsenda í upprunalegu verki og valkostirnir hugsaðir sem ráðgefandi þættir varðandi útboðskröfur.

En á vormánuðum 2005 þegar kostnaðarsamanburðurinn er unninn (Hluti I), er því lýst yfir af hálfu hins opinbera, að hluti af sölufé Símans hf., en sala hans stóð þá fyrir dyrum, muni veittur til Fjarskiptasjóðs sem stofnaður verður og fé úr honum skuli veita til uppbyggingar stofnkerfa fjarskipta. En þar á meðal eru farsímakerfi á heiðarvegum.

Á þeirri stundu sem þetta er skrifað er höfundi ekki kunnugt um hvort starfshættir þessa fyrirhugaða sjóðs muni leyfa fjármögnun úr honum til heiðarvegaverkefnisins ef stofnað væri til útboðs um það. Eða hvort Fjarskiptasjóður verði eingöngu styrktarsjóður sem fyrirtæki á þessu sviði geti sótt í, hyggist þau sinna uppbyggingu stofnkerfa, sem þau hafa hingað til talið óarðbært að gera á eigin spýtur. Í seinna tilfelli yrði um breyttar forsendur að ræða frá því sem lengst var gengið út frá í þessu verki.

Það ber því að hafa í huga við lestur skýrslunnar að Hluti II er unninn sem ráðgefandi verk fyrir Vegagerðina, væri stofnað til farsímakerfa á heiðarvegum með útboði, og valkostirnir sem fjallað er um miðast við það. Að leiðarljósi var höfð hagkvæmasta ráðstöfun (þ.e. nýting) þessa opinbera fjár og stuðlað að sem mestum varanleika í því sem stofnað er til (þ.e. að fjárfest sé í framtíðarbúnaði).

Hins vegar var yfirlýsingin um Fjarskiptasjóð komin fram áður en gengið var frá Hluta I, þ.e. kostnaðarsamanburði valkosta, svo að reynt er í þeim hluta að fjalla um málið út frá báðum forsendum, styrkja-leiðinni og útboðsleiðinni. Augljóslega yrði um aðrar áherslur að ræða ef fyrirtæki sækja í Fjarskiptasjóð um styrki til fyrirætlana sinna en ef um almennt útboð væri að ræða.

Um þætti skýrslunnar

Hluti I: Valkostir og kostnaðarmat (apríl 2005)

Þessi skýrsla byrjar á yfirliti um þrjá mismunandi valkosti, sem eru veigamikill hluti þeirra niðurstaðna sem fengust í Hluta II. Þessir valkostir koma ekki síst til vegna þess að aðstæður hafa breyst frá því að fyrri áætlanir voru gerðar, en þá var það farsímakerfi sem fyrir var í dreifbýli og reiknað var með að byggt yrði við í ríkiseigu. Hluti I fjallar síðan um afstætt kostnaðarmat á þessum valkostum miðað við fyrri kostnaðaráætlanir.

Í þessum hluta var unnt að taka afstöðu til breyttra forsendna sem áttu sér stað eftir að Hluta II lauk en áður en gengið var frá þessum hluta. Hið opinbera lýsti því yfir á vormánuðum 2005 að fyrirhugað væri að stofna til Fjarskiptasjóðs sem úthlutað yrði úr til uppbyggingar stofnkerfa fjarskipta. Áður hafði verið gengið út frá því að útboðsleiðin yrði farin. Hvort tilkoma væntanlegs Fjarskiptasjóðs breyti því, veit höfundur ekki á þessari stundu. Hvor leiðin sem farin verður, úboðsleiðin eða styrkjaleiðin, breytir engu um meginniðurstöður verksins, viðhorf til beggja eru tekin til greina í þessum hluta.

Hluti II: Ítarleg umfjöllun, almenns og tæknilegs eðlis (október 2004)

Í Hluta II er fjallað ítarlega um rannsóknaverkefnið, þ.e. aðdraganda þess, forsendur, einstaka verkþætti og niðurstöður. Þessi hluti er unninn á þeim tíma sem gengið var út frá því sem líklegustu leið til framkvæmda, að stofnað yrði til útboðs af hálfu hins opinbera.

Höfuðmarkmiðið var annars vegar að leita leiða til að draga úr kostnaði (sem skv. fyrri áætlunum þótti hár) og hins vegar að miða að niðurstöðum sem verið gætu ráðgefandi í almennu útboði.

Í lok þessa hluta er að finna ítarlegri samantekt en í inngangi um þá verkþætti sem unnir voru í Hluta II.

Hluti I

Könnun á hagkvæmum leiðum til uppbyggingar farsímakerfa á heiðarvegum

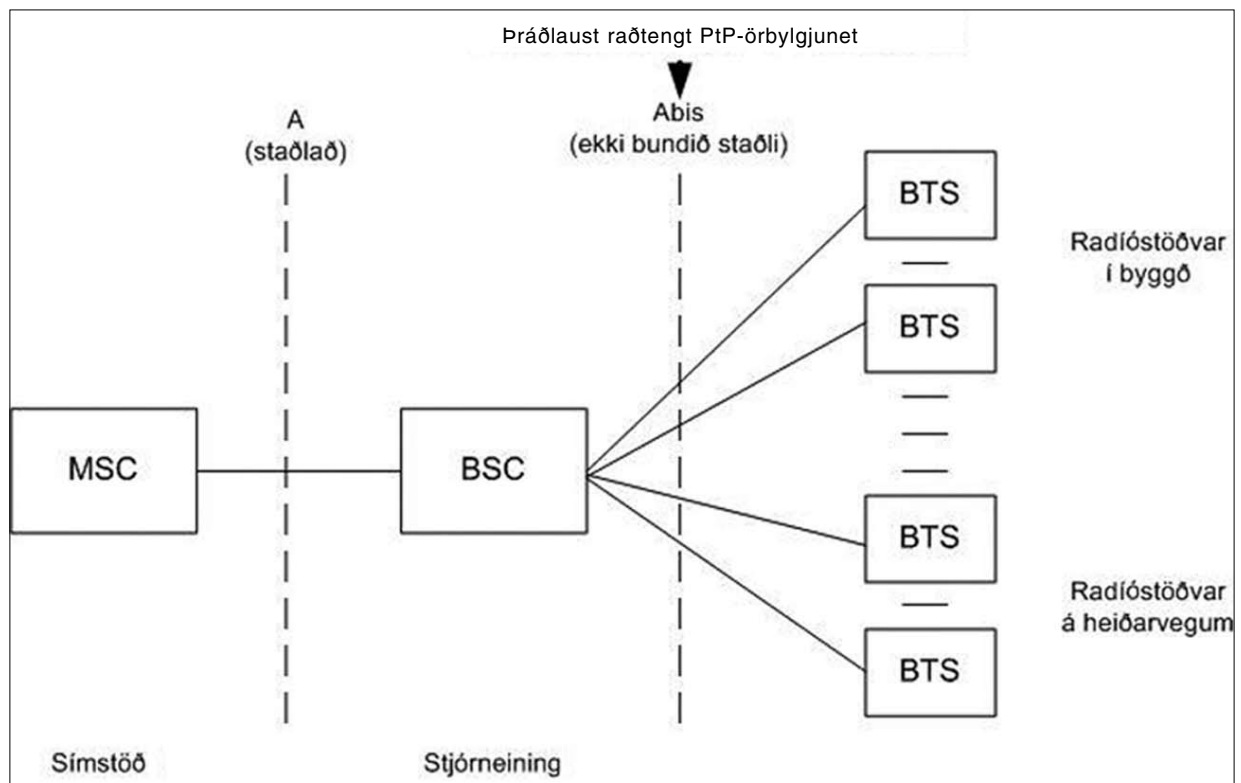
1 Valkostir

Eitt af markmiðum sem verkinu var sett í upphafi var að vinna að niðurstöðum sem gætu orðið ráðgefandi hvað varðar kröfur í útboði á farsímakerfum fyrir heiðarvegi. Annað markmið var að leita leiða til niðurskurðar á kostnaði miðað við fyrri kostnaðaráætlanir og til aukinnar hagkvæmni. Verkið er unnið að beiðni Vegagerðarinnar sem taldi ekki ólíklegt að hún kæmi að málinu, þar eð öryggi vegfarenda á heiðarvegum varðaði hana.

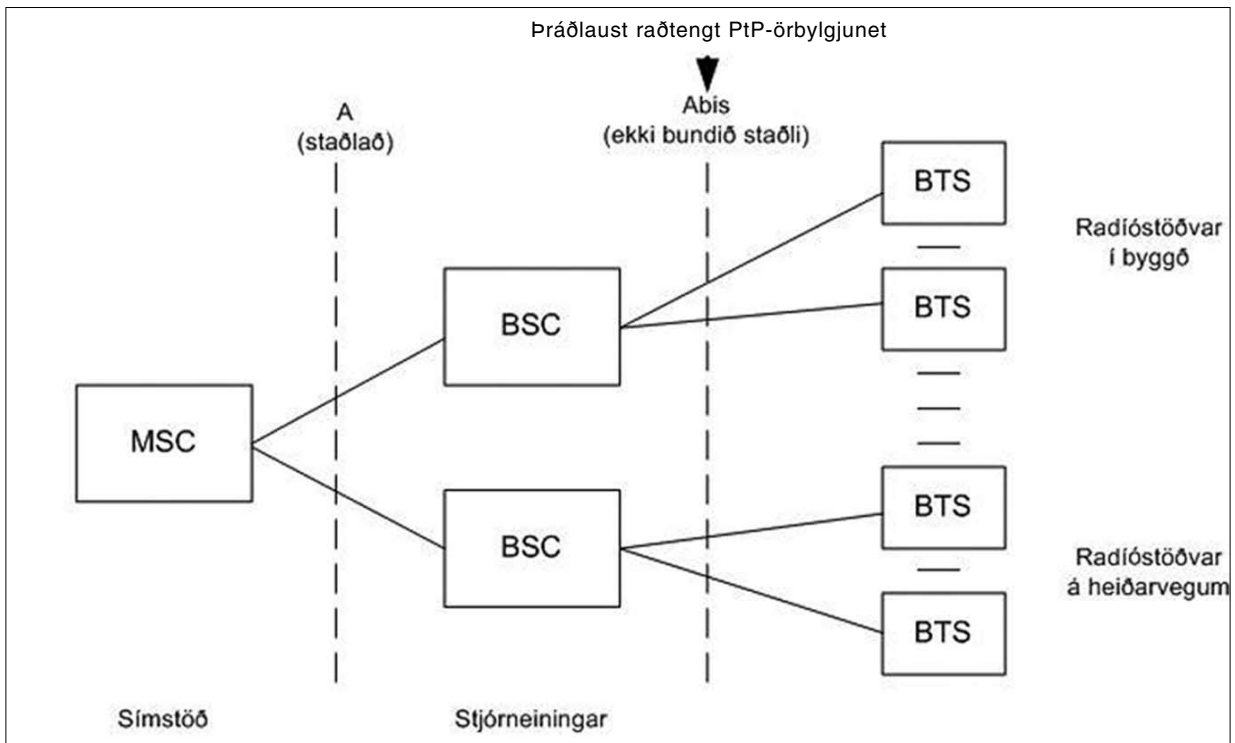
Á þeim tíma var útboðsleiðin talin líklegasti og eðlilegasti framgangsmátinn til að hrinda málinu í framkvæmd og hún var því tekin sem forsenda í verkefninu. Valkostirnir sem greint er frá að neðan eru hugsaðir sem ráðgefandi þættir varðandi útboðskröfur.

Með yfirlýsingu hins opinbera um stofnun fyrirhugaðs Fjarkiptasjóðs, um það leyti sem verið er að ganga frá viðbótinni um kostnaðarmat, þ.e. Hluta I í þessari skýrslu, kemur nýtt viðhorf fram í málinu. Engu að síður, ef styrkjaleiðin er farin, ættu niðurstöður skýrslunnar og rökfærslan að baki valkostunum að koma að gagni við mat og ákvarðanatöku varðandi styrki.

Hér eru þrír valkostir dregnir fram sem koma til greina við uppbyggingu farsímakerfa á heiðarvegum, og rökstutt að allir geti leitt til aukinnar hagkvæmni miðað við það sem áætlað hefur verið. Þeir hafa mismunandi kosti í för með sér sem ber að vega og meta. Frá hefðbundnu sjónarmiði eru þeir mismunandi róttækir, segja má að fyrirhöfnin aukist með róttækinni, en um leið hagkvæmnin og varanleiki fjárfestingarinnar.



Mynd 1.1 Hefðbundin uppbygging 2. kynslóðar GSM farsímakerfis.



Mynd 1.2 Heiðarvegakerfin með sér stjórneiningu, færánlegt kerfi (Valkostur 1).

1.1 Valkostur 1: Hefðbundin uppbygging skv. fyrri áætlunum, með breytingu sem uppfyllir kröfur opinbers útboðs

Mynd 1.1 sýnir hefðbundna uppbyggingu farsímakerfa skematískt. Valkostur 1 felur í sér að byggja kerfið upp á þeim nótum sem gert hefur verið ráð fyrir í áætlunum fram til þessa, þ.e. hann byggir á hefðbundinni farsímataækni eins og við höfum þekkt hana, en með þeirri breytingu, sbr. mynd 1.2, að bæta við radióstöðvar (BTS) heiðarveganna eigin stjórnstöð (BSC).

Breytingin er æskileg ef útboðsleiðin er farin. Hún gerir kleift að fara út í almennt útboð á dýrasta þætti þessara kerfa, þ.e. radióstöðvunum, auk þess sem hún stuðlar að aukinni rekstrarhagkvæmni og fjárfestingin verður ekki bundin varanlega kerfi neins eins rekstraraðila, ef breytinga er þörf.

Ef styrkjaleiðin er farin myndi þessi uppbyggingarmáti, með eða án eigin stjórnstöðvar fyrir heiðarvegina, höfðar til umsækjenda sem þegar eiga 2. kynslóðar farsímakerfi. En viðbótin tryggir hinu opinbera möguleika á endurúthlutun þess búnaðar sem styrkþegi hefur fjárfest í fyrir opinbert fé, ef breytt viðhorf koma upp, t.d. ef styrkþegi telur heiðarvegajónustu enn óarðbæra fyrir sinn rekstur og vill falla frá henni síðar.

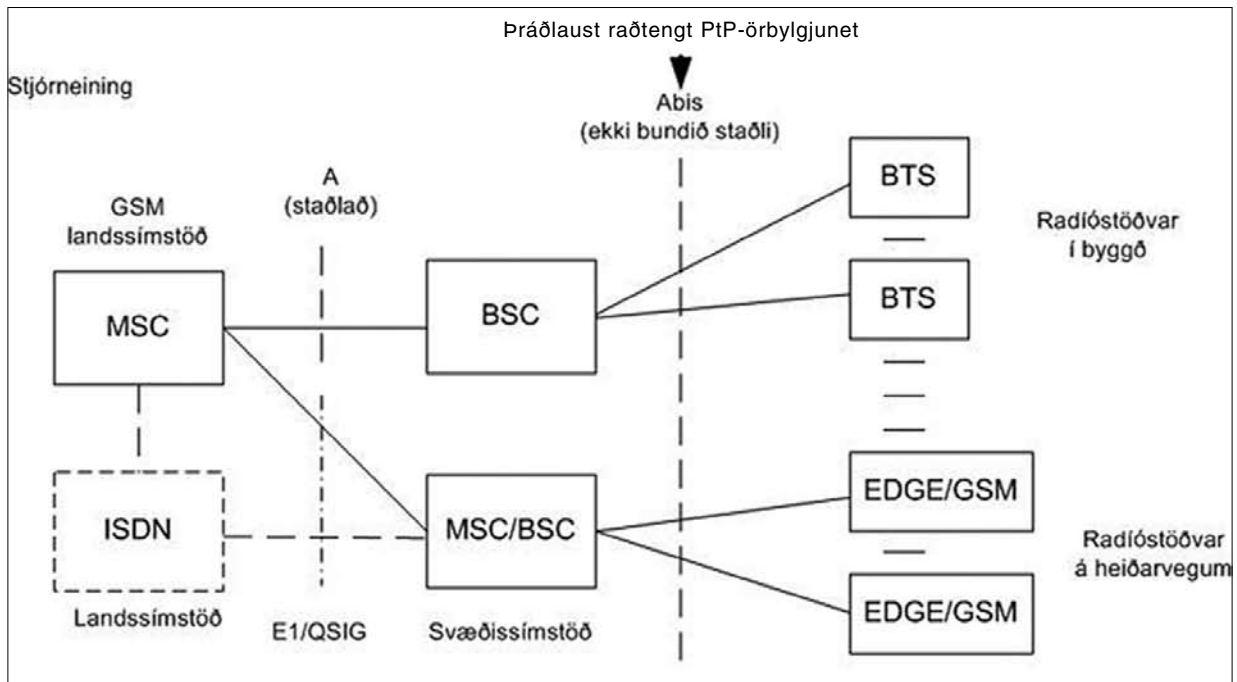
1.2 Valkostur 2: Heiðarvegakerfin sem sjálfstætt undirkerfi

Hann byggir einnig á hefðbundnum tæknigrunni. Hér kemur inn kerfisbreyting sem felst í því að byggja heiðarvegakerfin upp sem sjálfstætt undirkerfi í landkerfi með eigin svæðissímstöð, sbr. MSC/BS á mynd 1.3. Af fenginni reynslu í einu slíku tilfelli hér á landi, sem byggt er upp með hefðbundinni farsímataækni, þarf þessi valkostur, „ef stakkur er sniðinn eftir vexti“, ekki að vera kostnaðarmeiri en sá fyrri.

Frá sjónarhóli almanna heilla felst hagurinn í þessum valkosti í því að hann hefur alla kosti þess fyrsta, en er rekstrarhagkvæmari og eykur til muna á rekstraröryggi. Auk þess býður hann upp á betri aðlögun og sérþjónustu í öryggisskyni fyrir vegfarendur á þessum afskekktu svæðum.

Hvort sem útboðsleiðin eða styrkjaleiðin er farin, þá ætti þessi valkostur að höfða frekar til þeirra verkþjóðenda eða styrkumsækjenda sem eiga ekki radiókerfi á landsbyggðinni nú þegar.

En stærsti kosturinn við undirkerfi með sjálfstæðri svæðissímstöð er að útfærslan er ekki bundin 2. kynslóðar farsímataækni (nema að hluta til hvað radióstöðvarnar snertir), þó svo að landkerfið sem það tengist sé enn af 2. kynslóðinni. Þessi kostur er tekinn sem 3. valkosturinn hér að neðan. Unnt er að byggja kerfið upp með nútímatækni, sem ætti að höfða sérstaklega til þeirra sem byrja hér með hreint borð.



Mynd 1.3 Heiðarvegakerfin sem sjálfstætt undirkerfi (Valkostur 2).

1.3 Valkostur 3: Valkostur 2 byggður upp til aukins varanleika með nýjustu tækni, aukinni aðlögunarhæfni og þjónustumöguleikum

Valkostur 3 gerir ráð fyrir heiðarvegakerfum sem sjálfstæðum undirkerfum eins og Valkostur 2., og hefur því alla kosti hans, en er byggður upp með tækni netsímans sem ryður sér til rúms um þessar mundir. Mynd 1.4 sýnir þetta. En tveir fyrri valkostirnir byggja á tækni sem er að víkja.

Þó að innviðirnir séu samkvæmt „nýju kynslóðinni“, þjónar þessi uppbygging engu að síður þeim notendabúnaði sem er ríkjandi í dag, þ.e. óbreyttum GSM-farsímum. Þessi valkostur gerir þessa opinberu fjárfestingu varanlegri og samræmist miklu betur þeirri tækni sem er líklegust til að leysa fjarskiptaþjónustu til einstaklinga á hálandinu og miðunum í framtíðinni, sem verður yfir gervitungl. Margt er skylt í þeim kröfum sem þessi óbyggðu svæði setja fjarskiptatækninni og því æskilegt að þessi viðfangsefni þróist hjá okkur eftir skyldum tæknileiðum. Þannig geta þau helst runnið saman í eitt í framtíðinni.

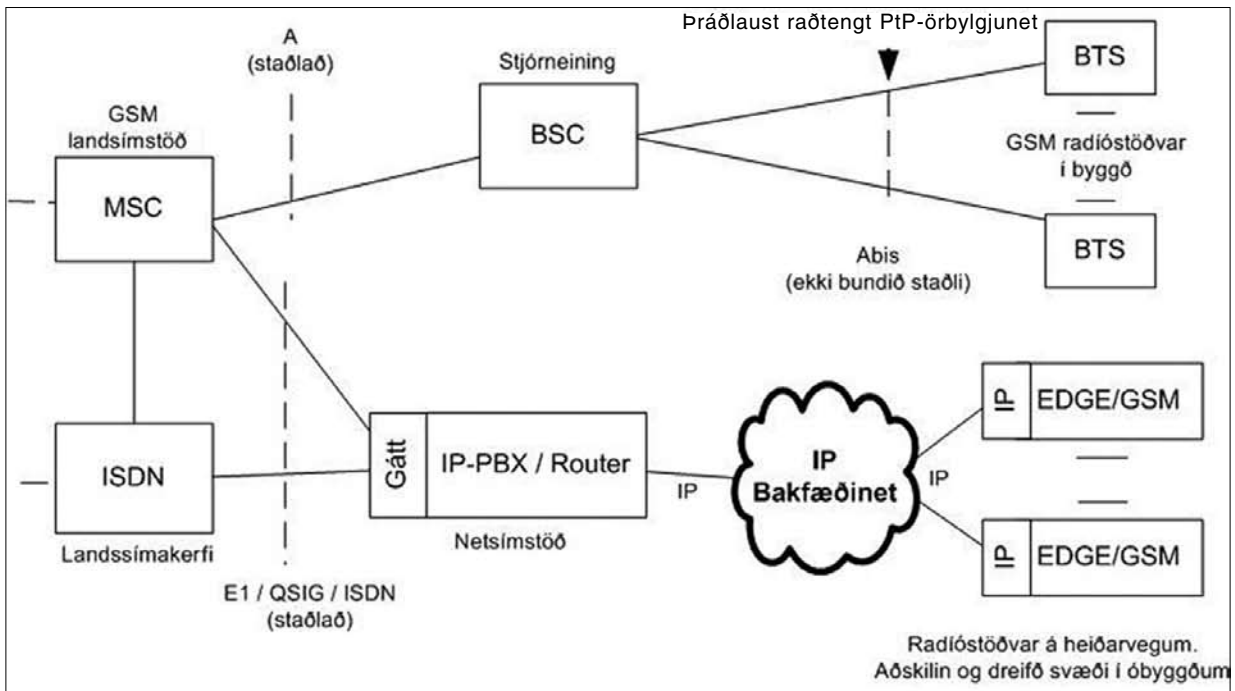
Sú IP-nettækni sem beitt var í „baknetinu“ í Valkosti 3 í þessu verkefni er sú sama og er að sanna hagkvæmni sína um þessar mundir í jarðstöðugum GEO-gervitunglum („geostationary satellites“). Almenn fjarskiptaþjónusta um gervitungl hefur verið erfið og seinfarin þróun eins og kunnugt er, en úr henni er loksins að rætast.

Valkostur 3 með jarðbundnu bakfæðineti, sem gera þyrfti ráð fyrir fyrst um sinn, yrði síst kostnaðarmeiri en hinir valkostirnir, því að hann byggir á útbreiddri hagkvæmri tölvutækni. Stærstum hluta þessa rannsóknarverkefnis var varið til að kanna stöðuna og prófa tækni hans við heiðarvegaaðstæður. Árangurinn var mjög góður. En hann treður nýjar slóðir og er því ekki auðveldasta leiðin, en hann gæfi okkur stærsta vinninginn.

2 Kostnaðarmat og samanburður

2.1 Inngangur

Höfuðmarkmið verkefnisins var að kanna hagkvæmar leiðir til uppbyggingar farsímakerfa á heiðarvegum. Tilefnið var m.a. mjög hár stofnkostnaður sem metinn hefur verið við að væða heiðarvegi og aðra vegi í strjálbýli almennri farsímaþjónustu þar sem hana er ekki að finna. Slíkt mat hefur þó aðeins verið gert fyrir viss svæði sem talin eru brýnust, t.d. á Þjóðvegi 1 (Hringveginum), þar sem enn skortir farsímaþjónustu. Augljóslega er kostnaðurinn í heild háður því hversu langt skal farið, en þau mörk hafa ekki verið sett.



Mynd 1.4 Heiðarvegakerfin sem sjálfstætt undirkerfi en skv. nútímatækni (Valkostur 3).

Ef allt vegakerfið sem ekki nýtur farsímabjónustu í dag væri tekið fyrir, og sú matsregla notuð sem beitt hefur verið, myndi heildarkostnaðurinn hlaupa á milljörðum. Þetta þótti hátt og gaf tilefni til að rýna nánar í málið.

Kostnaðarmat er fengið með því að áætla fjölda radióstöðva sem talin er þörf á meðfram vegum á þessum svæðum (í Fjarskiptaáætlun er slegið á 1.500 km) og margfalda hann með meðalkostnaði á uppsettri radióstöð, eins og hann hefur reynst í dreifbýli hjá símafélögnum undanfarin ár. Þetta er að sumu leyti vanmat að öðru leyti ofmat.

Vanmatið felst í því, að í þeirri reiknireglu sem beitt er, er ekki að sjá, að tekið sé mikið tillit til séraðstæðna á fjöllum. Þar er ekkert rafmagn að hafa. Engin nálæg tenging er við grunnkerfið svo að „bakfæða“ þarf yfir langar vegalengdir úr byggð. Veður eru verri svo að mannvirki (hús, möstur, orkuöflunar-einingar) verða að vera rammgerari. Og dýrara er að standa í mannvirkjagerð á fjöllum uppi. Vanmat felst einnig í því að ekkert tillit er tekið til þess að kerfið þarf að vera öruggara en í byggð og veita sérhæfða þjónustu við vegfarendur í óbyggðum ef vel á að vera, því að opinber fjárfesting er réttlætt í því skyni að heiðarvegakerfin auki á öryggi vegfarenda á þessum svæðum.

Ofmat felst í því að gengið er út frá meðalkostnaði við einstakar radióstöðvar og fylgibúnað í byggð, sem yfirleitt eru miklu afkastameiri og að því leyti dýrari en þörf er á í heiðarvegakerfi, og uppsetningarkostnaði þeirra í einstökum tilfellum. Hér skortir hagkvæmnina sem falist getur í stærð verkefnisins ef það er unnið sem heild, þ.e. magninnkaupum, verkútboðum, og sérhönnun og fjöldaframleiðslu á grunnstöðvarmsamstæðum sem auðveldar eru í uppsetningu. Í farsímakerfum eru radióstöðvarnar og uppsetning þeirra kostnaðarsamasti þátturinn sökum fjölda þeirra, og þar er mesti ávinningurinn ef unnt er að spara.

Í stuttu máli, hvoru tveggja má laga, vanmatið og ofmatið. Og þar eð ofmatið vegur meira en vanmatið, samkvæmt þessari skýrslu, má finna leið til umtalsverðs sparnaðar, ef rétt er að staðið. Sú leið felst að mestu leyti í sérhönnun þessa kerfis (aðlögun og að sníða stakk eftir vexti) og nýta sér stærð þess sem heildarverkefni til magninnkaupa á útboðsgrundvelli. Hér skiptir líka miklu máli hvaða valkostur er tekinn, ekki síst varðandi öryggi og sérþjónustu við þessi svæði.

Hér er talið að **unnt sé að lækka áætlaðan kostnað** við uppbyggingu farsímasambanda á heiðarvegum og í afskekktum byggðum **um 30%-50%**, án þess að hæfni kerfisins til þjónustu skerðist. Með öðrum orðum, samkvæmt þessu væri unnt að fara allt að tvöfalt lengra fyrir gefna upphæð við að símaveða þessi svæði, ef þessum ráðum er fylgt. En þetta er háð þeim valkosti sem tekinn er og hvernig að honum er staðið.

2.1.1 Forsendur

Styrkjaleiðin

Með henni er átt við að fyrirhuguðum Fjarškiptasjóði sé ætlað að styrkja farsímastofnkerfi á heiðum á grundvelli umsókna.

Ef styrkjaleiðin er farin, fremur en útboðsleiðin (sjá næsta lið), og styrkumsækjandi á þegar 2. kynslóðar farsímanet, er líklegt að hann velji að byggja heiðarvegakerfi sitt upp á þann veg sem kerfismynd 1.1 sýnir. Hann nýtir þá stjórnstöðina (BSC) sem hann á fyrir. Sú leið er fyrirhafnarminnst og hagkvæmust fyrir hann.

Leiðin hefur hins vegar þann ókost, frá sjónarhóli almannaheilla, að ef til breytinga kemur seinna, t.d. ef rekstur heiðarvegþjónustunnar reynist óarðbær fyrir styrkþegann eftir sem áður og hann fellur frá honum, þá eru þær radíóstöðvar (BTS) sem hann hefur fjárfest í fyrir ríkisféð bundnar hans kerfi (hans tegund af BSC). Sú leið fer einnig á mis við aðra kosti sem taldir eru upp í Valkosti 1 að ofan og varða hagsmuni neytandans.

Valkostur 1 leysir þennan vanda (ef umsækjanda væri gerð sú krafa við styrkveitinguna að taka hann). Ef aðstæður breyttust gæti hið opinbera í slíku tilfelli ráðstafað þessum heiðarvegaradíóstöðvum á ný til annars rekstraraðila, óháð því hvaða tegund búnaðar sá byggji við. Sú krafa hefur kostnað í för með sér, en hann er léttvægur miðað við þann sparnað sem unnt er að ná í BTS-einingunum, ef stofnað er til almenns útboðs um þær meðal framleiðenda. En Valkostur 1 opnar þann möguleika.

Aðrir umsækjendur sem ekki eru bundnir af fyrri fjárfestingum í 2. kynslóðar GSM-tækni, hafa úr valkosti 2 og þá ekki síst Valkosti 3 að velja (sjá neðar).

Í tilfelli styrkjaleiðarinnar yrði það háð skilyrðum við styrkveitingu hvort þær hagkvæmnistillögur nýtast sem þessi skýrsla fjallar um. Þær byggja að miklu leyti á stærð og samræmingu heiða- og hálendiskerfa sem heildar, en það kæmi ekki til ef fjárveitingin í formi styrkja dreifist á mörg aðskilin smærri verk.

Í þessu tilfelli ber að minnast þess, að farsímaþjónusta á heiðarvegum er markaðsgeiri sem einkafyrirtæki töldu sér ekki fært að sinna, af samkeppnis- og markaðsástæðum, nema þá með tilkomu ríkisstyrkja. Og af sömu ástæðu verður ekkert þeirra þvingað til þess í framtíðinni, telji þau það enn óarðbært í ljósi reynslunnar, eftir að hafa notið ríkisstyrkja í viðleitni sinni við að reyna það.

Útboðsleiðin

Ef útboðsleiðin er farin, má reikna með að sá sem verkið hlýtur fái rekstrarleyfið einnig, þó tímabundið sé. Ef útboðið á að leiða til hagkvæmnisauka í innkaupum, og öll símafélög eiga að sitja við sama borð í verkútboði, þarf að gera kröfu til þess að heiðarvegakerfunum fylgi eigin stjórnstöð fyrir radíóstöðvar, líkt og sýnt er á mynd 1.2.

Á þann hátt er unnt að fara með dýrasta þáttinn, radíóstöðvarnar (ásamt stjórnstöðinni), í alþjóðlegt útboð og taka lægsta boði, óháð framleiðslutegund þessa búnaðar. Og á þann hátt sitja allir bjóðendur í verkið við sama borð, og heiðarvegakerfið myndi ekki bindast órjúfanlega neinum einum heldur vera „færanlegt“ á milli rekstraraðila seinna, ef þörf krefur. Þetta er mikilvægt atriði varðandi tryggingu fyrir því að þetta opinbera fé nýtist almanna heill áfram ef breytingar verða á. Ef þessi háttur er hafður á, sitja auk þess allir tilboðsaðilar við sama borð þegar kemur að endurnýjun rekstrarleyfisins.

Stjórnstöðinni fylgir kostnaður, en sá kostnaður er lítilvægur á móti þeim kostnaðarsparnaði sem fengist með alþjóðlegu útboði á radíóstöðvunum. En hann er langstærsti kostnaðarþátturinn. Án þess að taka stjórnstöðina með er ekki unnt að fara út í almennt útboð. Auk þess eykur eigin stjórneining fyrir heiðarvegakerfin rekstraröryggi þeirra og lækkar kostnað við bakfæðingu.

Krafan um stjórnstöðina stafar af tækniástæðum. Tengistaðallinn milli radíóstöðva og stjórnstöðva í þeim farsímakerfum sem við búum við þessa stundina, er svo laus í reipunum, að hver framleiðandi útfærir þessa tengingu eftir eigin hentugleikum. Ef sér stjórnstöðin fylgir heiðarvegakerfunum, má tengja þau við símsstöð hvaða farsímafélags sem er, því að tengistaðallinn þar í milli er alþjóðlegur og mjög stífur. Hver sem verkið hlýtur, óháð þeirri tegund af farsímastöð sem hann kann að eiga fyrir, getur tengt sig heiðarvegakerfinu.

2.1.2 Kostnaður við Valkost 1 (hefðbundin en „færanleg“ uppbygging)

Miðað við fyrri áætlanir er talið í þessu verki að unnt sé að ná 30% niðurskurði í kostnaði, þó haldið sé í hefðbundna uppbyggingu, og að viðbættri sjálfstæðri radíóstjórnstöð fyrir heiðarvegakerfið (Valkostur 1).

Að hluta til næst hann á þann hátt að hagnýta sér stærð verkefnisins til magninnkaupa í almennu útboði, verkútboðs á fjöldaframleiðslu „sjálfbærra“ radióstöðva sem auðveldar eru í uppsetningu og viðhaldi, og verkútboði á uppsetningu þeirra í heiðarvegakerfinu í heild.

Til að meta sparnað var „sjálfbær“ radiósamstæða hönnuð (sbr. forsíðu skýrslunnar). Þessi hönnun gæti nýst í fjöldaframleiðslu. En í þessu verkefni var samstæðan smíðuð í nokkrum eintökum til eigin þarfa við tilraunir og mælingar. Hún er sjálfbær í þeim skilningi að aðeins þarf að koma henni fyrir. Að svo komnu máli sér hún um sig sjálf hvað orkuöflun snertir, engra tenginga er þörf varðandi bakfæðingu. Í samstæðunni felst mastur, radióstöð, örbylgjubakfæðing, loftnet og búnaður til orkuframleiðslu (sól-sella og vindrafstöð). Þessi búnaður var festur á mastrið áður en það var reist, sem hraðaði allri uppsetningu. Hún er því mjög hagkvæm í rekstri og auðveld í uppsetningu á fjöllum.

En veigamesti sparnaðarþátturinn í stofnkostnaði felst í útboði radióstöðva. Ef sjálfstæð stjórnseining fyrir þær er tekin með er unnt að stofna til alþjóðlegs útboðs um radióstöðvarnar. Sjálfstæð stjórnstöð lækkar einnig rekstrarkostnað og eykur rekstraröryggi, sem eru ekki síður veigamiklir þættir.

Þessu til viðbótar kæmi aukin hagkvæmni, ef hönnun þessara neta er sniðin að þeim aðstæðum sem ríkja á þessum svæðum og öðrum sérstökum kröfum sem þetta viðfangsefni gerir. Veigamikið atriði til sparnaðar er að sníða stakk eftir vexti varðandi afköst og aflþörf. Umferð á þessum vegum er mjög lítil miðað við í byggð, en miklu erfiðara að tryggja öryggi. Þéttbýlistækni (sem er almenn hilluvara hjá símafélögunum) er því í flestum tilfellum óhagkvæm. Sérniðin nethönnun (sem er tíðrædd í Hluta II) leiðir einnig af sér minni stofnkostnað, minni rekstrarkostnað og ekki síst aukið rekstraröryggi. Sá valkostur sem býður upp á mesta möguleika í þessum efnunum er Valkostur 3 (sjá síðar), en hann hefur aðlögunarmöguleika umfram hina og er byggður upp með ódýrari tækni en þekkt hefur í símakerfum fram til þessa.

Heildarkostnaður við uppsetta grunnstöð hefur reynt um 8 – 10 m.kr. Hann er sundurliðaður sem hér segir:

- Radióstöð, um 3,5 m.kr.
- Viðbótareiningar (loftnet, mastur, örbylgju-bakfæðing, orkuöflun, o.fl.), um 4 m.kr.
- Uppsetning, um 2,5 m.kr. að jafnaði

Með hagræðingu má lækka kostnað við alla þessa liði, og verða þeir þvínæst skoðaðir í því skyni hver fyrir sig.

2.1.2.1 Kostnaður við radióstöðvar

Að fenginni reynslu í þessu verkefni og öðrum héraendis, sem undirritaður hefur unnið að, er mat hans að unnt sé að ná radióstöðvum í heiðarvegadæminu niður a.m.k. um þriðjung með útboði og magninnkaupum, og sníða stærð þeirra að sérsniðnu kerfi þar sem reynt er að lágmarka aflþörf.

Varðandi innkaupsverð, ræðst ofangreint viðmiðunarverð af gangverði frá „stóru og dýru“ framleiðendunum (stærstu nöfnunum) á markaðnum, sem við höfum yfirleitt skipt við. Gildi þeirra (sem kostar sitt) er ótvírætt í mjög stórum viðfangsefnum, sem minni fyrirtæki ráða einfaldlega ekki við sökum umfangs. Hér á þetta ekki við.

Hér á landi er að finna radióstöðvar frá aðila sem er í hópi minni framleiðenda, sem þó er fjárhagslega traustur og þekktur fyrir gæði. Þær radióstöðvar hafa reynt rekstraröruggar (bilanafríar) í hálfan áratug. Þær kostuðu í þá daga þriðjungi minna en tilboðsverðin frá „þeim stóru“.

Þó að heiðarvegakerfin séu stórt viðfangsefni á okkar mælikvarða, er það lítið á mælikvarða „þeirra stóru“. Margir minni framleiðendur koma því til greina í heiðarvegadæminu (sbr. umfjöllun á valkosti 3), og raunar er miklu betra að eiga við þá ef um sérkröfur er að ræða. Auk þess eru þeir í mörgum tilfellum framleiðendur eininga fyrir þá stóru, sem ætti að vera nægur gæðastimpill.

Þessu til viðbótar, má geta þess, að á síðustu árum hafa komið inn á þennan markað nýir aðilar frá Asíu (einkum Kína) með umtalsvert lægra verð en gilt hefur fyrir þessa vöru á Vesturlöndum.

Varðandi það að „sníða stakk eftir vexti“, þá gerir takmörkuð sjónlína meðfram vegum í fjalllendi það að verkum að oftar er smærri og ódýrari radióstöðva þörf en stórra. Og allar viðbótareiningar í kringum radióstöðvar á heildum uppi eru ódýrari ef radióstöðvarnar eru minni og grunnstöðin í heild rekstraröruggari við þessar erfiðu aðstæður. Aflmeiri grunnstöð dregur jú að öllu jöfnu lengra, ef sjónlína leyfir, og sellurnar getu því orðið stærri og til sparnaðar færri. Á flatlendi í byggð, þar sem nóg er rafmagn og veður skaplegra, á þetta við. En stórar grunnstöðvar í óbyggðum eru óhagstæð lausn, nema ef væri á söndum á hálendinu, þar sem ávinningurinn yrði í mjög löngum sellum meðfram veginum. Í fjalllendi eru þær óhagkvæmari

rekstrareiningar og síst kostnaðarminni í stofni en fleiri smærri sem þekja sömu vegalengd. Því aflmeiri sem radióstöðvar eru þeim mun meiri orku þarf að framleiða á staðnum. Það gerir kröfu til stærri vindrafstöðva, sem er fljótt að segja til sín í kostnaði og rekstraröryggi. Til að langdrægni þeirra skili sér þarf hátt mastur, en það tekur á sig meira vindálag. Ef standa á veðraham í óbyggðum verður hátt mastur mikið og dýrt mannvirki. Og ef langdræg grunnstöð fellur út (radíó, bakfæðing eða vindrafstöðin bilar), kemur stærð sellunnar (langdrægnin) kerfinu í koll, því að þeim mun lengri kafla af fjallveginum missir alla þjónustu. Og þegar slíkt gerist stendur oftast verst á veðurfarslega, færðin verst og þörfin fyrir farsímaþjónustu á heiðum brýnust.

Gagnstætt hönnunarsjónarmið er að hanna „línunet“ meðfram vegum með litlum ódýrum en fleiri grunnstöðvum. Framfarir í bakfæðinetum að undanfögnu gera þetta ekki síst hagkvæmt og öruggt í dag (sjá myndir 2.2 og 2.3). Í tilraunum á Öxnadalsheiði var þessi netuppbygging könnuð bæði frá tækni- og kostnaðarsjónarmiði.

Öxnadalsheiði er dæmi um heiðarveg með mjög takmarkaðar sjónlínur eftir vegi. Á um 24 km dauðum kafla, er hvergi að hafa meira en 7- 8 km sjónlínu, þegar best lætur. Ávinningurinn af litlum en fleiri radióstöðvum á svæði sem þessu er orkusparnaður á hverjum stað, ódýrari radióstöðvar í heild og rekstraröryggara net, fremur en að hanna netið með lágmarks fjölda grunnstöðva í huga. Með því að beita stefnuvirkari loftnetum með meiri loftnetsmögnum en yfirleitt gerist, reyndust 2W sendar nægja í öllum tilfellum. Þetta er einn tíundi af því afl sem yfirleitt er beitt í radióstöðvum í byggð. Með 5W sendum, sem gáfu umframafli sem er æskilegt að hafa til öryggis við slæm skilyrði, reyndist heildaraflþörfin á hverja radiósamstæðu vera rúmlega 60W. Orkuöflunareiningin sem sniðin var að þessu afkastaði að jafnaði tvöfalt meira afl en þessu nam. Með 50% skörun milli sella, hefði hvergi myndast dautt svæði þó stök grunnstöð dytti út.

Aðlögun búnaðar og sérhönnun netsins er mjög mikilvægur þáttur. Það er augljóst, að sérhönnun netsins og aðlögun búnaðar að þessu sérstæða umhverfi kemur ekki aðeins til lækkunar á kostnaði radióstöðva heldur einnig annars búnaðar á sendistað og uppsetningar hans. Og þá eru áhrif þessa liðar á rekstrarkostnað og rekstraröryggi ekki síður mikilvæg. Sérhönnun til sparnaðar snertir dæmið víða og er því tekin fram sem sérstakur sparnaðarliður að neðan.

Á grundvelli ofangreindrar reynslu og innkaupa, er kostnaður á grunnstöð metinn hér um 2,3 m.kr. Það er niðurskurður um 1/3 frá þeirri viðmiðun sem hefur gilt. Þetta getur ekki talist vanmat, því að þá á eftir að taka tillit til ávinnings sem fengist með magninnkaupum í útboði. Grunnstöðvar gætu því að líkindum orði ódýrari en þetta. Það er mikilvægt að halda einingarkostnaði þeirra niðri. Sökum fjölda grunnstöðva, safnast heildarkostnaður við þær fljótt upp. En þær eru skv. ofangreindri sundurliðun aðeins þriðjungur af heildarkostnaði grunnstöðvarinnar (radiósamstæðunnar) í heild svo að þetta á ekki síður við um tvo næstu liði.

2.1.2.2 Kostnaður við viðbótareiningar

Helstu kostnaðarliðirnir í þessum þætti eru mastrið, loftnet, örbylgjubakfæðing og orkuöflunareining. Hann er upphaflega metinn á 4 m.kr. og er hér skorinn niður um fjórðung eða í 3 m.kr., og byggist það mat á eftirfarandi:

Þrjú síðarnefndu liðirnir, loftnet, örbylgjubakfæðing og orkuöflunareiningin, njóta ávinnings af innkaupum í miklu magni. Auk þess felst aukinn sparnaður í minni orkuöflunareiningu, ef afl senda er sniðið að þörfum. Í heild sparast mest í þessum lið með sérhönnun á „sjálfbæru“ radiósamtæðunni sem fjallað var um að ofan, sem bjóða ætti út til fjöldaframleiðslu. Hún felur í sér þessar viðbótareiningar.

Slík samstæða var hönnuð og smíðuð eins og áður sagði í nokkrum eintökum til eigin þarfa í þessu verkefni (sbr. forsíðumynd) og að þessu sinni úr léttmálmi til að gefa henni meðfærileika. Haft var í huga að þessi tilraunasmíð gæti nýst sem fyrirmynd til fjöldaframleiðslu. Ofangreint endurmetið kostnaðarmat byggist á þessari reynslu.

Í þriðja valkosti mun þessi liður verða skorinn niður frekar, því að þar er unnt að beita nýrri og hagkvæmari tegund bakfæðingar (sbr. skýringar með myndum 2.1 – 2.3). Í Valkosti 1 er enn byggt á hefðbundinni örbylgjubakfæðingu, svonefndum taktbundnum örbylgju-fastasamböndum, sem er að vísu vel reynd og traust arfleifð gömlu símataækninnar, en í dag úrelt. Hún lagar sig illa, bæði að sérþörfum heiðarvegadæmisins og því sem morgundagurinn ber í skauti sínu í farsímataækninni. Hún er t.d. bundin við sambönd „punkt í punkt“ sem leiðir til óþarfa raðtenginga í heiðarvegadæminu (sbr. mynd 2.1), en slík netuppbygging rýrir öryggi miðað við aðra valkosti (myndir 2.1 og 2.2), auk þess sem hún er of dýr.

Þetta atriði sem og hefðbundna farsímakerfið í heild er tekið til gagnarrar endurskoðunar í Valkosti 3.

2.1.2.3 Kostnaður við uppsetningu

Þessi liður nemur í upprunalegu mati 2,5 m.kr. Yfirleitt felur hann í sér vinnu við að reisa mastur og uppsetningu á radióstöðinni, örbylgjueiningunni og loftnetum, og vinnu við kaplagnir á mastri sem tengja þessar einingar.

Auk þess er tenging við rafmagn sem gert er ráð fyrir að sé fyrir hendi í byggð (metin á um 300 þ.kr).

Kostnaður við þetta er hér skorinn niður um helming, þ.e. í 1,3 m.kr., því að flest af þessu fellur inn í samsetningarkostnað á radiósamstæðunni í liðnum á undan, er reiknað þar, en er ekki vinna sem unnin er við erfiðar aðstæður á fjöllum uppi.

Uppsetningarkostnaður felur því að mestu í sér að reisa samstæðuna (mastið) og staga það. Af fenginni reynslu er talið raunhæft að áætla kostnað við það að jafnaði 1 m.kr. á sendistað. Í tilraunum á Öxnadalshéið voru GSM-farsímastöðvar reistar af þremur mönnum á um tveimur tímum, þó að frágangur hafi ekki verið varanlegur, en hálfur dagur hefði dugað til þess.

2.1.3 Hlutfallslegur sparnaður við Valkost 1

Sundurliðaður kostnaður á hverja grunnstöð yrði því sem hér segir:

- Radióstöð, um 2,3 m.kr.
- Viðbótareiningar (loftnet, mastur, örbylgjubakfæðing, orkuöflun, o.fl.), um 3 m.kr.
- Uppsetning, um 1,3 m.kr. að jafnaði

Á þessu stigi næmi áætlaður niðurskurður miðað við upprunalegt mat um þriðjungi (33%), og heildarkostnaður við uppsetta grunnstöð myndi vera um 6 m.kr. En hér á eftir að reikna með viðbótarkostnaði sem hlýst af stjórnstöð fyrir radióstöðvarnar sem tekin er með í Valkosti 1. Hluti af þeim sparnaði, sem hér er reiknað með, fengist með útboði og magninnkaupum á radióstöðvum, en það gerir kröfu til þess að radióstjórnstöðin sé tekin með. Þó að hefðbundnar radióstjórnstöðvar séu enn hlutfallslega dýrar, færi þessi liður aldrei yfir 2–3 % af heildarupphæð radióstöðva í sæmilega stóru kerfi.

Hlutfallslegur sparnaður við hefðbundna uppbyggingu farsímakerfa á heiðarvegum (Valkostur 1), miðað við fyrra mat, næmi því um 30%.

2.2 Kostnaður við Valkost 2 (svæðiskerfi)

2.2.1 Inngangur

Í Valkosti 2 er gengið skrefi lengra en með radióstjórnstöðinni í Valkosti 1, en í sömu átt. Heiðarvegakerfið er byggt upp sem sjálfstætt svæðiskerfi með eigin svæðissímstöð og innbyggðri radióstjórneiningu. Svæðisfarsímakerfið getur tengst hvaða símakerfi á landsvísu, farsímastöð móðurfélags eða ISDN þráðarsímakerfinu.

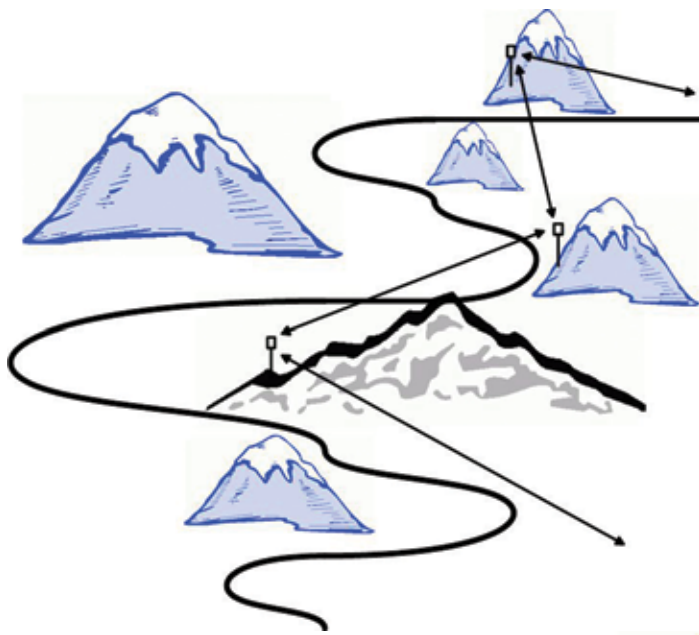
Valkostur 2 hefur alla kosti þess fyrri en eykur til muna á rekstraröryggi og rekstrarhagkvæmni fyrir kerfið, auk þess að bjóða upp á möguleika á betri aðlögun og sérþjónustu í öryggisskyni fyrir vegfarendur á þessum afskekktu svæðum.

2.2.2 Kostnaður miðað við Valkost 1

Til eru fyrirtæki sem sérhæfa sig í svæðisfarsímakerfum. Þessi kerfi eru stundum nefnd NIB-kerfi (Network In a Box), þar eð símstöðin og radióstjórneiningin eru sambyggðar í einni einingu (kassa). Þetta er gert til hagræðis og hagkvæmnisauka. NIB-kerfin eru hönnuð sem undirkerfi, eru minni í sniðum en landkerfin og mun ódýrari. Þetta er staðfest í einu slíku tilfelli hér á landi. Þetta er það farsímakerfi sem áður var getið varðandi kostnað við radióstöðvar. Tilboð framleiðandans í NIB-stöð, sem hann er sérhæfður í, reyndist ódýrara en hefðbundin radióstjórnstöð frá „þeim stóru“ ein og sér. Skýring á því felst að hluta til í því, að þær síðarnefndu eru stjórnstöðvar sem hannaðar eru fyrir landkerfi og miklu meiri afköst en þörf er á í þessu tilfelli; þetta eru ekki sambærilegar einingar að þessu leyti.

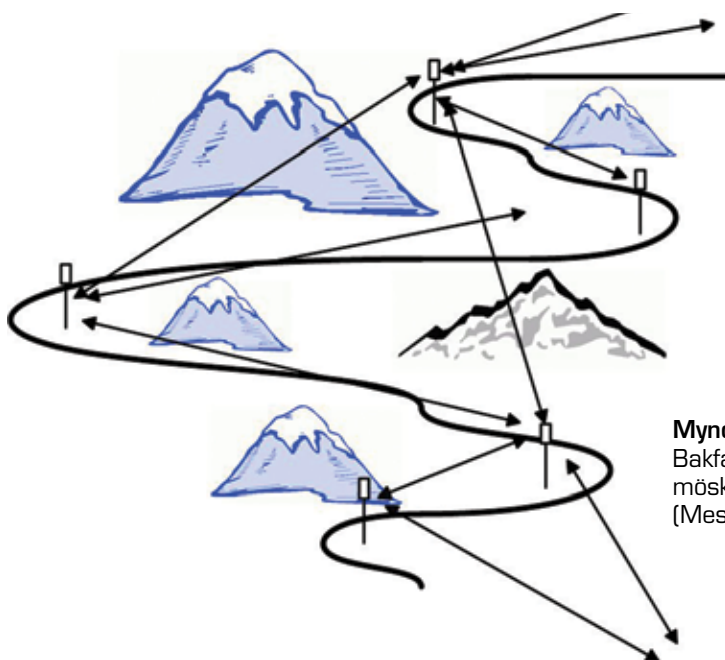
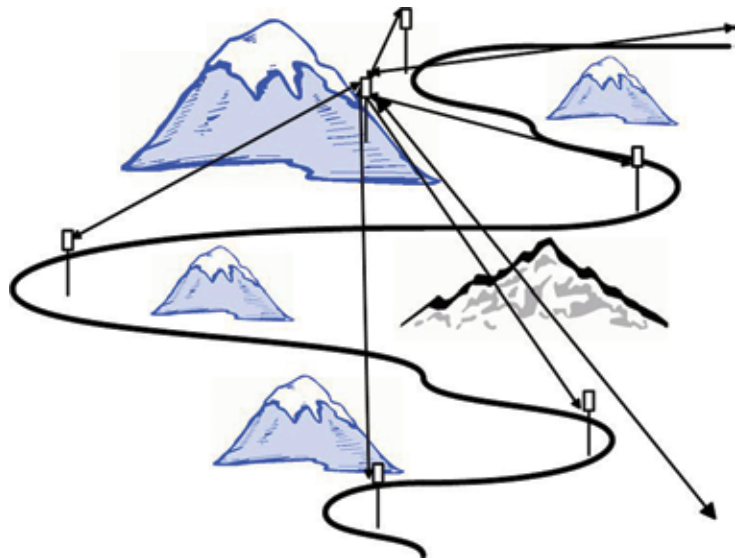
Þetta er mjög hliðstætt því sem kemur í ljós þegar kostnaður við einkasímstöðvar fyrirtækja er skoðaður í samanburði við landsímakerfi, en einkasímstöðvar fyrirtækja eru sjálfstæð sérhæfð undirkerfi sem geta orðið mjög stór hjá stórum fyrirtækjum. Heiða- og hálendissímakerfi á Íslandi fara aldrei fram úr þeirri stærð sem þekkist hjá stórfyrirtækjum í heiminum. En sérhæfingin í þeirri þjónustu sem einkasímstöðvar þurfa að veita er allt önnur.

Að fenginni reynslu er Valkostur 2 ekki talinn vera dýrari en Valkostur 1, ef rétt er að staðið.



Mynd 2.1
PTP-bakfæðing (Point-To-Point).
Keðjutengd bakfæðing punkt í punkt,
fastasamband.

Mynd 2.2
PMP bakfæðing (Point to Multi-Point).
Stjörnu-bakfæðing frá einum punkti í
marga, aðlögunarhæft (dýnamískt) sam-
band.



Mynd 2.3
Bakfæðing með sjálfaðlagandi
móskvaneti og sjálfvirk álagsjöfnun
(Mesh Networking).

2.2.3 Eftirmáli að Valkosti 2 –

Takmarkanir hefðbundinnar símatækni í dreifðum stafrænum netum: Heiðarvegasvæðin eru dreifð og með hefðbundinni uppbyggingu farsímaneta (mynd 1.1) þarf að stjórna radióstöðvum á hverju þessara svæða með stjórnstöð sem er fjarri þeim. Í tilfelli farsímafélaganna fram til þessa eru radióstjórnstöðvarnar yfirleitt staðsettar í Reykjavík, þar sem fjöldi radióstöðva í landsneti þeirra er mestur. Í tilfallinu á mynd 1.1 þyrfti að tengja hverja og eina radióstöð á öllum þessum svæðum við stjórnstöðina. Þessi sambönd svara til Abis tenginganna á mynd 1.1. Þetta er gert mest af leiðinni með langlínufastasamböndum í grunnneti símans, fjölrásuðum að vísu, en þau eru hlutfallslega kostnaðarsöm í rekstri fyrir farsímafélag og taxti þeirra háður vegalengd. Í okkar tilfelli enda svo þessi sambönd í keðjutengdum örbylgjulínusamböndum þegar á heiðar er komið. Í viðbót við stofn- og rekstrarkostnað, er vart hægt að segja að þessi uppbyggingarmáti, með dreifðum samböndum um allt land, stuðli að auknu resktraröryggi, nema síður sé.

En þó að 2. kynslóðar farsímatæknin flokkist undir stafræn kerfi (digital), erfði hún baknet hvað byggingarform (nettópólógíu) snertir, sem ættað er úr aldargömlum þráðarsíma hliðræna tímabilsins.

Nokkur bót er í máli í Valkosti 1 (mynd 1.2) við það að heiðarvegasvæðin fá sína eigin stjórnstöð, sem staðsetja má miðsvæðis nærri þeim og stytta þá þessar bakfæðivegalengdir. En síðan kemur ein tenging frá henni í móðursímstöðina sem er í fjarlægð.

Valkostur 2 (mynd 1.3) gerir úr heiðarvegakerfinu sjálfstætt undirkerfi og hvert svæði gæti hugsast með sinni svæðissímstöð og eina langlínu þarf til að tengja hvert svæði við landkerfið. En með þeim fjölda svæðissímstöðva sem þarf, er kostnaður farinn að aukast miðað við Valkost 1. Reynsla okkar á Öxnadalshéið sýnir að þetta gæti verið raunhæfur kostur í tilfelli afskekktustu (þ.e. fjarlægustu) og minnstu svæðanna, því að lítil farsímasvæðisstöð er ódýr og óþarfi er að tengja hana með langlínu við móðurstöð farsímans suður í Reykjavík, hana má tengja við ISDN-landsímakerfið, og það er komið um land allt og því stutt að fara, hvar sem er.

Staðileg NIB-stöð gæti annast ein öll helstu heiðarvegasvæðin, en þá þarf langlínufastasambönd frá henni til radióstöðva á þessum svæðum, líkt og í Valkosti 1 og lítill munur fer að verða á þessum valkostum, varðandi sparnað og öryggi í bakfæðingu. Valkostur 2 erfrir því ókosti hefðbundinnar símatækni að þessu leyti. En Valkostur 2 hefur þó enn alla sérhæfðu þjónustumöguleikana (t.d. eftirlit og öryggisgæslu) umfram Valkost 1.

En ef kerfið væri byggt upp sem netsímakerfi (Valkostur 3), færi bakfæðingin yfir IP-tölvunet, og dreifð vinnsla yki ekki á kostnaðinn, allir kostir í Valkosti 2 héldust, og fleiri kæmu til. Valkostur 3 er því mjög athyglisverð leið til uppbyggingar svæðiskerfis sem þjóna skyldi dreifðum afskekktum svæðum líkt og í heiðarvegum og hálendinu. Undirkerfi sem veitt geta sérþjónustu við afskekkt svæði í öryggisskyni er í raun ekkert nýtt hjá okkur, það var hugsunin á bak við Tetra hér á landi, og það var ekki sú hugsun sem varð því að fjörtjóni sem almannakerfis. Það verður að halda sig við tækni sem passar við þann notendabúnað sem hinn almenni vegfarandi á þessum afskekktu svæðum er með.

2.3 Kostnaður við Valkost 3 (ný tækni)

2.3.1 Inngangur

- Valkostur 3 er í raun Valkostur 2 byggður upp með þeirri nútíma tækni sem ryður sér rúms í nýju farsímakerfunum. Mynd 1.4 sýnir uppbygginguna og er rétt að bera hana saman við Valkost 2 á mynd 1.3.
- Í stað rofaskiptrar símtöðvar (MSC) og stjórneiningar (BSC) fyrir radióstöðvar kemur netsímstöð (IP-PBX) með tölvubeini (IP-router). Hver radióstöð fær sína IP-tölu, og netsímstöðin sem veitandi (server) skiptir við radióstöðvarnar sem neytendur (clients), eins og við þekkjum í tölvunetum í dag. Netsímstöðin er „opið kerfi“ frá sjónarhóli forritunar og því miklu hagkvæmari varðandi aðlögun nýrrar þjónustu að heiðarvegakerfum en „lokuðu“ hefðbundnu símtöðvarnar. Valkostur 3 býður upp á möguleika til sérhæfðrar þjónustu og sjálfvirkar öryggisgæslu við heiðarvegasvæðin í miklu meiri mæli en í Valkosti 2.
- Í stað langlínufastasambandanna á mynd 1.3 kemur IP-bakfæðinet á mynd 1.4. Sem IP-örbylgjunet getur það fært sér í nyt framfarir síðustu ára í netfræðum, eins og PMP-fæðingu (point-to multipoint) og sjálfaðlagandi möskvanet (Self-adapting Mesh Networks), til hagkvæmari lausna en áður þekktist. Myndir 2.1, 2.2 og 2.3 endurspeglar þessa þróun, en nánar er fjallað um hana í Hluta II þessarar skýrslu. Mynd 2.1 sýnir hefðbundið fyrirkomulag. Fremur stærra og langdrægari radióstöðvum en minni er komið fyrir í fjallshlíðum. Staðirnir eru valdir þannig að reynt er að sjá sem mest af veginum svo að radíó-

stöðvarnar geti þjónað umferð á þeim og að sjónlína sé á milli þeirra þannig að unnt sé að bakfæða frá einni stöð til annarrar. Hefðbundin bakfæðingin er framkvæmd með „fastasamböndum“ sem er raðtenging frá einum punkti í annan (PtP-bakfæðing), koll af kolli, yfir heiðina. Uppbyggingarformið er keðjutenging, sem er einfalt fyrirkomulag, en hefur þann ókost að ef einn leggur rofnar, fellur sá hluti netsins sem er handan hans dauður niður.

Á mynd 2.2 er breytt viðhorf uppi. Farið er yfir í smærri radióstöðvar meðfram veginum, sem verða fleiri en í fyrri tilfellinu, en þær og allt í kringum þær mun ódýrara (þ.e. mannvirki, uppsetning og viðhald, sbr. sjálfbæru grunnstöðvarsamstæðurnar). Það sem eykur enn frekar á hagkvæmnina er bakfæðingin. Hún er framkvæmd með PMP IP-örbylgjuneti frá „einum punkti í marga“. Miðeiningin, sem tengd er með PTP-sambandi úr byggð, verður að vera sérstaklega traust, því á henni mæðir. En hún ein bakfæðir margar grunnstöðvar. Ef þjónustusvið aðliggjandi radióstöðva meðfram veginum er látið skarast er unnt að hanna kerfið til frekara öryggis þannig að hvergi komi eyða á þjónustusvæðið þó einstök radióstöð detti tímabundið út. Tilraunir með þessa tækni voru gerðar með góðum árangri á Öxnadalshéiði þar sem þetta byggingarform virðist henta.

Á mynd 2.3 er netuppbygging sem hefur kosti beggja hinna. Hún leyfir okkur uppbyggingu lítilla radióstöðva meðfram veginum sem hlaupið geta í skarðið fyrir nágretta sína ef þeir bila. Það er auk þess auðvelt að ná til þeirra með viðhaldsþjónustu, því að þær eru við veginn. Miðfæðing eins og á mynd 2.2 er óþörf. Bakfæðingin „plantar“ sér meðfram veginum beggja vegna úr byggð yfir heiðina svo að heiðin má vera löng og fjöllótt. Ólíkt keðjutengingunni á mynd 2.1 gerir hún það á þann hátt að sambandið yfir heiðina rofnar ekki þó að einstaka leggur hér og þar bili. Á MFS hafa verið gerðar tilraunir með þessa tækni á öðrum sviðum undanfarin tvö ár. Hún ryður sér rúms í breiðbandsnetum í borgum og mun segja til sín innan tíðar í farsímanetum. Hún höfðar sérstaklega til heiðarvega- og hálendiskerfa að mati höfundar.

- Þessi lausn þarf að brúa bilið yfir í gamla tímanna, sökum þess að notendabúnaður sem flestir búa við í dag, þ.e. GSM-farsímenn, er af gömlu kynslóðinni. Það gerir hún með IP-bakfæddum GSM-radióstöðvum, en fellur auk þess að þeim radióstöðvum sem eru framundan í farsímatækninni, þ.e. GERA (EDGE) og UTRA (UMTS).
- Lausnin tryggir varanleika fjárfestingarinnar svo langt sem auðið er, ekki síður en að halda stofnkostnaði í skefjum. Þessi nýja tækni er þegar orðin hagkvæmari, auk þess sem hún er miklu aðlögunarhæfari. Það er sérstakur kostur þegar kröfur eru eins sérhæfðar og í heiðarvegakerfum.

2.3.2 Kostnaður

2.3.2.1 Grunnstöðvarkostnaður

Kostnaður við IP-bakfæddar radióstöðvar er metinn á 2 m.kr. að jafnaði. Hann reyndist lægri en það á þeim búnaði sem við unnum með í tilraunum, sem keyptur var sem einingar og það frá fleiri en einum aðila. Hins vegar yrði kerfi með þessari tækni keypt frá einum aðila með ábyrgð og uppsetningarráðgjöf (þjónustu), og kostnaður yrði því hærri en í okkar tilfalli. Annað mikilvægt atriði sem kemur næsta lið til góðs, er að aflþörf þessara radióstöðva yrði að jafnaði minni en almennt er í hefðbundinni uppbyggingu, og ræður sérsniðin nethönnun og betri aðlögun að lágmarks aflþörf þar mestu.

2.3.2.2 Kostnaður við annan búnað á sendistað

Eins og í fyrri valkostum eru helstu kostnaðarliðirnir í þessum þætti mastrið, loftnet, örbylgjubakfæðing og orkuöflunareining. Með hagræðingu, magninnkaupum og fjöldaframleiðslu sendissamstæðunnar var hann metinn á 3 m.kr. í hefðbundinni uppbyggingu. IP-örbylgjubakfæðingin sem beitt er í þessum valkosti er umtalsvert ódýrari en taktbundnu örbylgju-fastasamböndin, þau eru jöfnum höndum „punkt í punkt“ og „frá einum stað í marga“ sem getur haft mikla hagkvæmni í för með sér í nethönnun. Auk þess er betra að laga afköst þeirra að þörfum, sem sparar bæði stofnkostnað og aflþörf. Orkusparnaðurinn af IP-bakfæðingu og IP-radióstöðvunum í liðnum á undan, sker umtalsvert niður stærð orkuframleiðslueiningarinnar miðað við fyrri valkosti. Í ljósi reynslunnar (innkaupa, smíði og prófana) sem fékkst í þessu verkefni teljum við að raunhæft kostnaðarmat á þessum lið sé um 2 m.kr. á sendistað.

2.3.2.3 Kostnaður við uppsetningu

Þessi kostnaðarliður er óbreyttur frá fyrri valkostum eða um 1 m.kr. að jafnaði á hverjum sendistað.

2.3.3 Kostnaður miðað við Valkost 2

Sundurliðaður kostnaður á hverja grunnstöð yrði því sem hér segir:

- Radíóstöð, um 2 m.kr.
- Viðbótareiningar (loftnet, mastur, örbylgjubakfæðing, orkuöflun, o.fl.), um 2 m.kr.
- Uppsetning, um 1 m.kr. að jafnaði

Með þessum rökstudda niðurskurði í Valkosti 3 yrði meðalkostnaður á sendistað um 5 m.kr. En hér er um nýja tækni að ræða sem ekki er eins reynd og sú gamla, en hún er ódýrari, rekstrarhagkvæmari og miklu varanlegri fjárfesting í stöðunni í dag.

Meðalkostnaður á sendistað í Valkosti 3 reiknaðist vera um 25% minni en í hinum tveimur valkostunum. Miðlægur kostnaður (svæðissímstöðin) er á móta og í Valkosti 2.

2.4 Samantekt og helstu niðurstöður

Auk þeirrar hefðbundnu leiðar sem fyrirhuguð hefur verið og kostnaðarmat fram til þessa hefur byggst á, eru þrír valkostir að auki kannaðir í þessu verki, sem allir hafa sína kosti, og rökstutt að allir geti leitt til aukinnar hagkvæmni miðað við það sem áætlað hefur verið.

Hlutfallslegur kostnaðarmunur er gerður á þeim miðað við það kostnaðarmat sem byggt er á hefðbundnu leiðinni.

Hlutfallslegur sparnaður við hefðbundna uppbyggingu farsímakerfa á heiðarvegum (Valkostur 1), miðað við fyrra mat, er talinn geta numið um 30% ef farið er að eins og hér er lagt til.

Að fenginni reynslu er Valkostur 2 ekki talinn vera dýrari en Valkostur 1, en hefur umtalsverða kosti. Ef rétt er að staðið er kostnaður við að byggja heiðarvegakerfin upp sem undirkerfi með svæðissímstöð ekki talinn vera meiri en kostnaður við stjórnstöðvar landskerfa hefur verið. Svæðiskerfi hefur marga góða kosti umfram Valkost 1.

Meðalkostnaður á sendistað í Valkosti 3 reyndist vera um 25% minni en áætlaður kostnaður í hinum tveimur valkostunum. Búnaður og verð byggist á stöðu tækninnar í árslok 2002, þegar stofnað var til kaupa í þessu verkefni. Staðan varðandi Valkost 3 hefur breyst mikið til hins betra síðan (þ.e. fyrri hluta árs 2005). Miðlægur kostnaður (svæðissímstöðin) er talinn á móta og í Valkosti 2 að svo stöddu, en verður minni með hverju árinu. En hér er um nýja tækni að ræða og óvissan í kostnaðarmati meiri en í hinum tilfellunum. Hún er ekki eins reynd og sú gamla, en hún er rekstrarhagkvæmari og varanlegri fjárfesting í stöðunni í dag.

Hluti II (október 2004)

Könnun á hagkvæmum leiðum til uppbyggingar farsímakerfa á heiðarvegum

Samantekt helstu atriða í Hluta II

Valkostir kannaðir

- Fyrirhuguð hefðbundin uppbygging farsímakerfa á heiðarvegum endurskoðuð með sparnað og rekstrarhagkvæmni í huga. Gengið er út frá því að stofnað sé til útboðs á uppbyggingu og rekstri kerfisins.
- „Færanleiki“ innleiddur, sem leiðir af sér minni stofnkostnað, stuðlar að betri rekstri og þjónustu, allir tilboðsaðilar sitja við sama borð, sá búnaður sem stofnað er til með opinberu fé bindst ekki varanlega kerfi neins eins símafélags, rekstrarleyfið ekki bundið varanlega neinum einum rekstraraðila.
- Samanburðar gerður á fyrri valkostum og að heiðarvegakerfin séu sjálfstæð undirkerfi með svæðissímstöð, sem eykur á öryggi, gerir rekstur hagkvæmari og býður upp á möguleika á margvíslegri sérþjónustu við vegfarendur á heiðarvegum. Byggingarmátinn hefðbundinn eins og í fyrri valkostunum.
- Heiðarvegakerfi sem undirkerfi byggð upp með nútímataækni. Einn stærsti kosturinn við sjálfstætt undirkerfi er sá að það landkerfi sem heiðarvegakerfin tengjast, bindur þau ekki í tækni gærdagsins. Þessi kostur leiddi til mestra prófana og tilrauna. Niðurstaðan varð betri möguleikar til aðlögunar að sérkröfum, auknir þjónustumöguleikar, varanlegri fjárfesting, og tæknilega betri brúun inn í framtíðina, t.d. samræmi við hliðstæð fjarskiptakerfi á hálendinu og miðunum í framtíðinni.

Kerfiseiningar kannaðar

- Hefðbundnar svæðissímstöðvar endurskoðaðar. Netsímstöðvar kannaðar og prófanir gerðar.
- Hefðbundin bakfæðing í farsímakerfum endurskoðuð. IP-örbylgjunet til bakfæðingar ítarlega könnuð, prófanir og tilraunir gerðar með nýja tegund netuppbyggingar sem hefur ýmsa kosti í heiðarvegakerfum umfram hefðbundna bakfæðingu.
- Tilraunir gerðar með orkusparandi radióstöðvar, sem leiddu af sér minni aflþörf og minni og hagkvæmari orkuöflunareiningar á hverjum sendistað.
- Hönnuð var „sjálfbær“ radiósamstæða (grunnstöð), þ.e. mastur, radióstöð, loftnet, bakfæðing og orkuöflunareining, þar sem gætt var að einfaldri uppsetingu við erfiðar aðstæður á fjöllum. Hún var framleidd til nota í tilraunum, en jafnframt hugsuð sem frumsmíð til fjöldaframleiðslu. Sá háttur myndi lækka efnis- og uppsetingarkostnað í kerfum sem þessum umtalsvert.

Kerfisprófun

- GSM-svæðiskerfi hannað á grunni IP-tækni og prófað í heild. Tilraunir gerðar við heiðarvegaaðstæður.

Viðaukar

Í viðaukum er fjallað um eftirfarandi atriði sem tengjast viðfangsefninu óbeint en eru utan þess ramma sem settur var verkefninu í upphafi:

- Æskileg fjarskiptaþjónusta á heiðum og hálendinu sem fengist með GPRS/EDGE og svæðis-IMS.
- Bakfæðing símakerfa á heiðum- og hálendinu yfir gervitungl.
- Um æskilegt tíðnisvið fyrir heiðarvegakerfi – GSM450 fyrir heiða- og hálendisvegi?
- Hvert er farsíminn að þróast?
- Um frekari beitingu „sjálfaðlagandi möskvaneta“ til bakfæðingar í í öðrum vegafarsímakerfum en heiðarvegakerfum, t.d. jarðgöngum.

3 Ítarleg umfjöllun, almenns og tæknilegs eðlis

3.1 Uppbygging og innihald skýrslunnar

Kafla 3.2, að loknum inngangi og forsendum, er lýsing á verkþáttum og þeim valkostum sem verkið leiddi af sér. Stór þáttur þess snertir hefðbundna uppbyggingu farsímakerfa. Fyrir henni er mikil reynsla hér á landi, svo að ekki var talin þörf á prófunum eða tilraunum með hefðbundna tækni. Kaflinn fjallar því um greiningu á hefðbundinni uppbyggingu, með leiðir til sparnaðar og hagkvæmnisauka í huga.

Þessi greining leiddi af sér ýmsa valkosti. Einn valkostanna sem kemur fram í kafla 3.2, Valkostur 2, felur í sér kerfisbreytingu sem hefur kosti umfram Valkost 1, þó að gert sé ráð fyrir því að valkostur 2 sé byggður upp að öðru leyti með 2. kynslóðar tækni líkt og sá fyrri. En hann opnar einnig fyrir þann möguleika að byggja farsímakerfi á heiða- og hálendisvegum upp með tækni morgundagsins, óháð tæknistöðu þeirra farsímakerfa á landsvísu sem eru fyrir og heiðarvegakerfin koma til með að tengjast. Þetta er nefnt Valkostur 3. Þessi nýja tækni er lítið þekkt hér á landi enn, svo að prófanir og tilraunir í þessu verki snérust nær eingöngu um hana. Þetta var gert í tvenns konar tilgangi. Annars vegar að kanna uppbyggingu kerfisins með tækni 3. kynslóðarinnar samkvæmt Valkosti 3, og er skýrt frá niðurstöðum þess í kafla 3.3. Hins vegar að kanna hvort einstakir kerfishlutar gætu til sparnaðar og hagkvæmnisauka byggst upp með nýju tækninni, þó að kerfið væri að öðru leyti byggt með hefðbundinni 2. kynslóðartækni samkvæmt Valkosti 1 og Valkosti 2, og er skýrt frá því í kafla 3.4.

Kafla 3.3 fjallar því um uppbyggingu heiðarvegakerfanna með 3. kynslóðartækni. Fjárfesting í nýju kerfi sem þessu yrði á þann veg miklu varanlegri og möguleikar til aðlögunar að aðstæðum í óbyggðum og til sérþjónustu við þessi svæði stóruaknir. En það er róttæk viðhorfsbreyting sem liggur að baki 3. kynslóðinni og komandi kynslóðum. Hugsunin á bak við miðlæga hlutann (kjarnann) og grunnkerfið (bakfæðinetið) í komandi kerfum er miklu víðtækari en frá sjónarhóli 2. kynslóðarinnar, sem lítið er á sem sérhæft sérstætt kerfi sniðið eingöngu að farsímaþjónstu. Þetta nýja viðhorf er nauðsynlegt til að sjá þýðingu þeirrar nýbreytni sem er í vændum fyrir farsímaþjónustu á heiða- og hálendisvegum og það í víðu samhengi. Það er æskilegt í heiðarvegadæminu að hafa hliðsjón af þörfum fyrir fjarskiptaþjónustu við einstaklinga á öðrum óbyggðum svæðum á hálendinu. Þessum sjónarhóli er ger gerð skil í upphafi kaflans, sem að öðru leyti er kerfislýsing á farsímakerfi morgundagsins sniðið að heiðarvegadæminu, með skírskotun til niðurstaðna tilrauna og reynslu sem fékkst í þessu verkefni með litlu tilraunakerfi þessarar ættar sem prófað var við aðstæður á heiðarvegum.

Í Kafla 3.4 er fjallað um niðurstöðurnar sem fengust í einstökum ofangreindum prófunum og tilraunum sem gætu leitt til sparnaðar og hakvæmisauka þó hefðbundin leið sé farin.

Kafla 3.4 er yfirlit og samantekt á niðurstöðum fyrir verkið í heild. Þó að markmiðið sé annað en í fyrri kaflanum, fjallar hann um beitingu einstakra þátta sem koma fyrir í fyrri kaflanum. Þar var umfjöllunin frá kerfissjónarmiði, hér er farið meira í tæknileg smáatriði. Kafla 3.4 er því í eðli sínu meiri upptalning á niðurstöðum verkþátta með nýja tækni og endurbætur á 2. kynslóðarkerfi í huga. Það má líta svo á, að hér sé horft á 3. kynslóðina frá sjónarhóli 2. kynslóðarinnar með endurskoðun á þeirri síðari í huga. Þetta er af sjálfsögðu mjög praktískt viðhorf fyrir þann sem nú þegar hefur lagt mikið undir í 2. kynslóðartækni. Það á hins vegar ekki við þegar stofnað er til nýs sjálfstæðs undirkerfis eins og í Valkoti 2 og Valkosti 3. Af þessum sökum var viðhorf frá sjónarhóli 2. kynslóðarinnar tekið fyrir á eftir 3. kynslóðarviðhorfinu í kafla 3.3.

Kafla 3.5 er viðauki sem fjallar um mismunandi atriði sem borin hafa verið upp við undirritaðann á meðan á verkinu hefur staðið og falla ekki beint innan þess ramma sem verkefninu var sett í upphafi. Þau snerta farsímaþjónustu á heiðum og hálendinu óbeint og tengjast títt umræðunni um hana.

Í kafla 3.6 er samantekt og helstu niðurstaðna getið.

3.1.1 Inngangur

Í nóvember 2003 fól Vegagerðin Merkja- og fjarskiptaverkfræðistofu Verkfræðistofnunar Háskólans (MFS) að kanna fyrir sig hagkvæmar tæknileiðir fyrir farsímakerfi á heiðarvegum og meta hugsanlegan sparnað þeim samfara. Markmið verkefnisins er að veita ráðgjöf um hugsanlegt útboð Vegagerðarinnar eða annarra opinberra aðila.

Verkið fól í sér samanburð á hefðbundinni leið og nýrri valkostum og nokkrar prófanir á lausnarleiðum (tækni) sem talin er henta þessu sértílfelli til hagkvæmnisauka. Þessu verki lauk með skýrslu í lok október 2004. Í ljósi inngangs að kynningu skýrslunnar sem Vegagerðin skifaði í des. 2004 voru áherslur í fyrri hluta hennar („helstu niðurstöður“) færðar í samræmi við það.

Erfitt er á þessu stigi að meta heildarkostnað við GSM-væðingu allra heiðarvega í landinu að nokkru áreiðanlegu marki. Til þess þyrfti að setja mörkin hve langt á að fara í þessum efnunum, sem ekki hefur verið gert, og hanna þyrfti kerfin a.m.k. gróflega fyrst. Þessu verkefni var ekki ætlað að hanna farsímakerfi fyrir gefin svæði, heldur kanna valkosti og draga fram hlutfallslegan kostnaðarmun þeirra valkosta sem koma til greina.

3.1.2 Forsendur

Samkvæmt áætlunum sem gerðar hafa verið fram til þessa um uppbyggingu radiókerfis fyrir farsíma á heiðarvegum er stofnkostnaður talinn mjög hár. Fyrir háum kostnaði eru skiljanlegar ástæður, en rétt þótti að skoða verkið í heild og frá sjónarhóli sérstæðra aðstæðna á heiðarvegum ef leiðir kynnu að finnast sem drægju úr kostnaði.

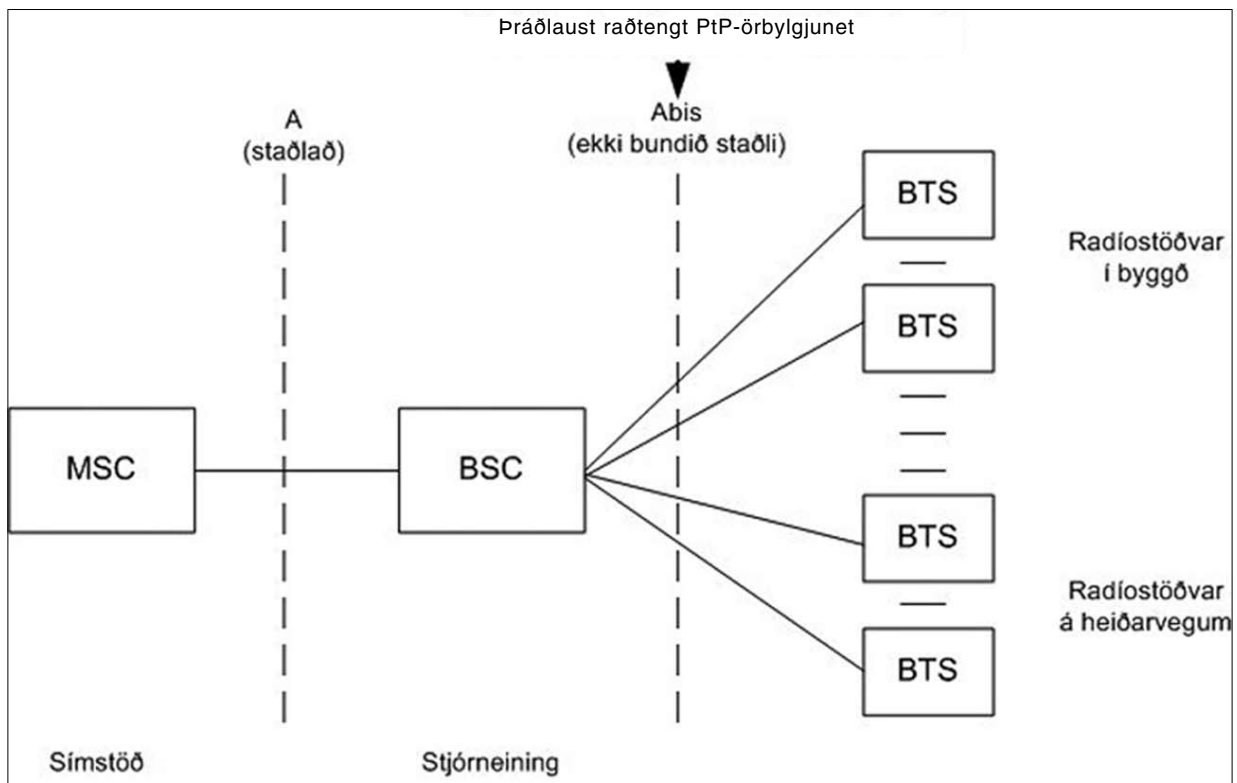
Stofnkostnaður mannvirkja í óbyggðum er af skiljanlegum ástæðum hærri en í byggð og rekstrarkostnaður mannvirkja sömuleiðis. Auk þess sem uppbygging og rekstur öryggiskerfis er dýrari. Til að reka farsímanet á heiðarvegum þarf rafmagn á hverjum sendistað og tengja verður radióstöðvar á einn eða annan hátt við grunnnet símans, en hvorugt er fyrir hendi á þessum svæðum. Á móti kemur að símaumferð þar yrði hlutfallslega mjög lítil. Frá sjónarmiði stofnkostnaðar, rekstrarkostnaðar og öryggis getur því skipt miklu máli að sníða stakk eftir vexti. Þetta varðar afkastaþörf, örkuþörf og stærð mannvirkja á hverjum sendistað. Auk orkuframleiðslu með vindrafstöðvum og sólarcellum á hverjum sendistað, sem hafa takmörkuð afköst, skiptir vindálag á möstur miklu máli í því veðri sem ríkir stundum á heiðum uppi.

Í heiðarvegadæminu í heild er um mikinn fjölda sendistaða að ræða þar sem uppfylla þarf ofangreind skilyrði. Kemur því sterklega til greina að forhanna sendistöðvarnar sem sjálfstæðar sjálfbærar einingar og fjöldaframleiða þær. Gæta þyrfti í þessari hönnun að þær væru auðveldar í uppsetningu við erfiðar aðstæður á fjöllum. Viðfangsefnið hafði lítið verið kannað út frá sérþörfum þess. Verkið er það stórt í heild sinni og aðstæður sérstæðar, að ástæða er til að kanna sérlausn fyrir það fremur en að fara að eins og í byggð. Í upphafi verks var samhugur um þetta.

Einnig var að sjálfsögðu samhugur um að fjárfestingin yrði sem varanlegust í ljósi tímans. Góða hliðsjón þyrfti að hafa af stöðu farsímatækninnar framundan, en hún er í örri þróun.

Ef Vegagerðin tengdist þessu verki, var talið líklegt að það yrði á útboðsgrundvelli. Hið opinbera myndi standa straum af stofnkostnaði og styrkja rekstur þessara kerfa og í upphafi yrði uppbygging og rekstur þeirra að öllum líkindum falin símafélagi á grundvelli útboðs. Þeirri spurningu var því varpað fram við Vegagerðina, hvort ekki væri nauðsynlegt af samkeppnisástæðum að hanna farsímakerfið sem „færanlegt“ í þeim skilningi, að það yrði ekki byggt upp sem órjúfanlegur hluti af kerfi neins eins símafélags. En af tæknilegum ástæðum yrði það í reynd svo, ef sá framgangsmáti er hafður á sem liggur að baki kostnaðarmatinu sem gert hefur verið. Ef „færanleika“ yrði gætt, eru stjórnvöld ekki bundin gefnum rekstraráðila til framtíðar, ef hann fellur frá eða ef þörf er talin á að breyta um.

Vegagerðin taldi frá sínum sjónarhóli eðlilegt að miða við „færanleika“ en setti það ekki fram sem kröfu. Í þessu verki er gengið út frá „færanleika“ sem forsendu og málið leyst án kostnaðarauka miðað við hefðbundna leið. Kostnaðaraukinn sem hlýst af færanleika, sparast með hagkvæmnisaukanum sem hlýst af valkostunum og ríflega það. Auk þess sem þeir veita möguleika á sérþjónustu við þessi svæði sem eykur á öryggi vegfarenda. Ef ekki kemur til útboðs er gamla leiðin opin. Símafélögin færu sennilegast þá leið ef þau leggðu út í þetta á eigin vegum og ættu farsímakerfi fyrir, því að hún er einfaldasta leiðin fyrir þau.



Mynd 3.1 Hefðbundin uppbygging 2. kynslóðar GSM farsímakerfis.

3.2 Valkostir við uppbyggingu farsímakerfa

3.2.1 Fyrirhuguð leið

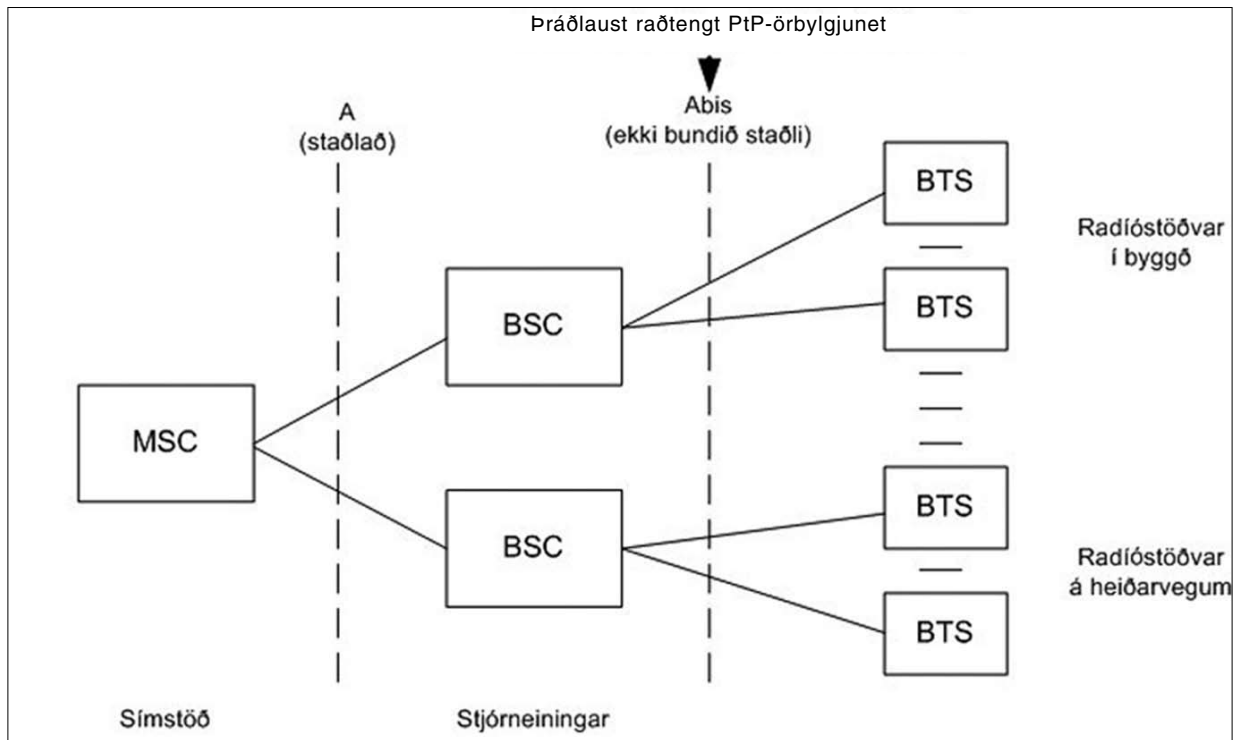
Í upphafi verkefnisins var hefðbundin uppbygging GSM-farsímakerfa endurskoðuð. Hefðbundin leið felur í sér að bæta grunnstöðvum á heiðum við það kerfi sem finnst í byggð. Mynd 3.1 sýnir uppbyggingu GSM-kerfa af 2. kynslóðinni. Frá vinstri á myndinni er símsstöð farsímakerfisins (MSC). Henni tengist stjórnstöð fyrir radióstöðvarnar (BSC) á miðri mynd, og er það gert með tengiforskrift sem nefnd er A. Þessi tenging lýtur alþjóðlegum staðli. Í stórum kerfum eru BSC-stjórnneiningar fleiri en ein. Til hægri eru GSM-radióstöðvarnar (BTS) sem tengjast svo BSC-stjórnstöðinni, og eru yfirleitt margar BTS-einingar á hverja stjórnstöð. Tengingin þar í milli er nefnd Abis og er skilgreind í GSM-staðlinum, en er ekki nákvæmari en svo að framleiðendur hafa útfært hana hver eftir sínu höfði. Það leiðir af sér að radióstöðvar hvers og eins eru bundnar stjórnneiningu frá sama aðila. Ef heiðarvegakerfin eru byggð upp þannig að radióstöðvum þeirra sé stjórnað af sömu stjórnstöð og stjórnar landsneti viðkomandi rekstraraðila, verða þær að vera af sömu gerð og eru bundnar honum. Radiókerfið verður ekki „færanlegt“ í þeim skilningi sem sagt var áður.

Áætlanir um þetta voru gerðar á þeim tíma þegar Landsíminn er ríkisfyrirtæki og eðlileg forsenda að ætla sér að fara þannig að þá. En heiðarvegastöðvarnar yrðu í því tilfelli órjúfanlegur hluti af því farsímakerfi sem það er tengt við. Í almennu útboði til símafélaga í einkaeigu hefði þessi framgangsmáti verulega ókosti, þessi opinbera fjárfesting yrði órjúfanlega bundin kerfi rekstraraðilans. Af þeim sökum voru aðrir valkostir teknir til samanburðar.

3.2.2 Færanlegt kerfi (Valkostur 1)

Æskilegt er af ýmsum ástæðum að byggja heiðarvegakerfin upp með sér stjórnstöð fyrir radiókerfið, þó hefðbundin leið sé að öðru leyti farin (Valkostur 1).

Mynd 3.2 sýnir þetta. Þar er haldið í hefðbundna uppbyggingu að því viðbættu að heiðarvegakerfin eru útbúin með eigin stjórnstöð fyrir radióstöðvar. Sökum þess að tengistaðallinn A milli BSC og MSC er alþjóðlegur og nákvæmur, getur BSC-stjórnstöðin og radióstöðvarnar sem tilheyra henni verið af hvaða gerð sem er, óháð þeirri tegund farsímakerfis sem viðkomandi rekstraraðili kann að hafa átt fyrir. Hér er



Mynd 3.2 Heiðarvegakerfin með sér stjórneiningu, færanlegt kerfi (Valkostur 1).

henni bætt við svo að heiðarvegakerfin öðlist „færanleika“ og að unnt sé að fara með kostnaðarsamasta þátt þessa dæmis, radióstöðvarnar, ásamt stjórneiningunni, í alþjóðlegt útboð.

Stjórnstöðvar af þessu tagi eru vel þekktar hér á landi og ekki ástæða til að kanna þær frekar hér. Hins vegar eru þær eins og áður sagði bundnar þeim framleiðanda sem skipt er við varðandi radióstöðvarnar. Hér á landi hefur fram til þessa verið skipt við aðila sem leggur áherslu á stór landkerfi í vöruþróun sinni, en þar er stærsti markaðurinn, og þessar stjórneiningar reynst hlutfallslega mjög dýrar. Hannaðar fyrir landkerfi eru þær of stórar í sniðum fyrir þau litlu afköst sem heiðarvegakerfin gera kröfu til. En til eru stjórnstöðvar fyrir sérhönnuð undirkerfi og þá oft sambyggðar svæðissímsstöðvum (sbr. næsta lið). Við þekkjum eitt slíkt tilfelli hér á landi. Kostnaðarlega kom stjórnstöð fyrir slík undirkerfi sem og sambyggð svæðissímsstöð með stjórnstöð mun betur út í tilboðum á þeim tíma en niðurskorin stjórneining frá „stóru framleiðendum“ og ætti ekki síður að gera það í dag. Reynslan af rekstraröryggi þessa kerfis, sem starfrækt hefur verið hér á landi sl. 5 ár, er mjög góð.

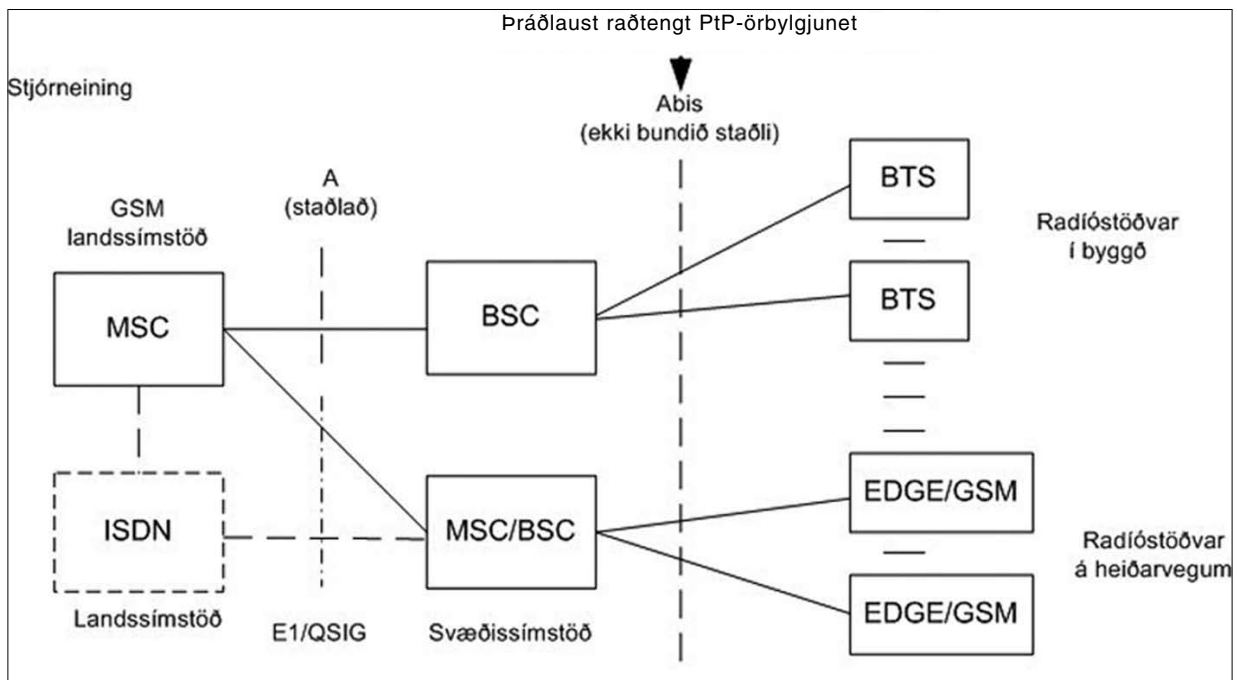
BSC-stjórnstöðin er nokkurs konar sérhæfð undirsímsstöð fyrir radióstöðvarnar einar, sem tengist síðan lánssímsstöð símafélagsins; hún stjórnar ekki þjónustunni við símnótandann innan svæðis eins og venjuleg símsstöð. Ef stæði til að fara þessa leið „færanleikans“, kemur að mati skýrsluhöfundar sterklega til greina að stíga skrefið lengra og gera úr henni símsstöð fyrir talsímanotendur líka. Þetta getur haft mikilvæga kosti í för með sér og án teljandi kostnaðarauka ef rétt er að staðið. Það myndi opna fyrir möguleika á sérþjónustu við vegfarendur á heiðarvegum og hálendinu og auka rekstraröryggi kerfisins til muna.

3.3.3 Undirkerfi með svæðissímsstöð (Valkostur 2):

Þegar kostnaður við kröfuna um „færanleika“ var skoðaður í samanburði við að fara skrefi lengra í átt að sjálfstæðu kerfi, kom til greina nýr valkostur sem ekki virtist þurfa að hafa meiri kostnað í för með sér, hann er sá að gera heiðarvegakerfin að sjálfstæðum undirkerfum með eigin svæðissímsstöð.

Þessi valkostur felur í sér kerfisbreytingu, sem hefur í för með sér marga góða kosti:

- Aukin hagkvæmni í rekstri og rekstraröryggi. Umferð á langlínunum sparast mikið. Heiðarvegakerfin gætu „staðið uppi“ gangfær, þó að langlínutengingar við landkerfið t.d. í náttúruhamförum brystu.
- Möguleiki til ýmissar sérsniðinnar þjónustu við þessi svæði sem ykju á daglegt öryggi vegfarenda á afskekktum óbyggðum svæðum. Það væri mjög örðugt að koma þessu við í landsímsstöð sem ætti



Mynd 3.3 Heiðarvegakerfin sem sjálfstætt undirkerfi (Valkostur 2).

auk þess að annast sérþjónustu við óbyggðir. Í Valkosti 1 í slíku tilfelli myndi það verulega draga úr „færanleikanum“.

- Kröfunni um „færanleika“ er gerð enn betri skil í Valkosti 2 en í Valkosti 1. Valkostur 2 gerir hann enn auðveldari og virkari; allt sem sérsniðið væri að heiðarvegþjónustu flyst með.
- Stærsti kosturinn er það stór, að úr honum varð nýr valkostur (sbr. næsta lið). Sjálfstætt undirkerfi losar okkur úr viðjum gærdagsins tæknilega; það er unnt að byggja heiðarvegakerfin upp með tækni morgundagsins, óháð tæknistöðu móðurkerfisins. Það erfiða við að fylgja þróuninni í endurnýjun símakerfa er hversu bundin þau eru arfleifð sinni; þau eru of stór í sniðum og teygja sig of langt inn í daglegt líf samfélagsins til að unnt sé að skipta þeim í heilu lagi út þegar þau eldast.

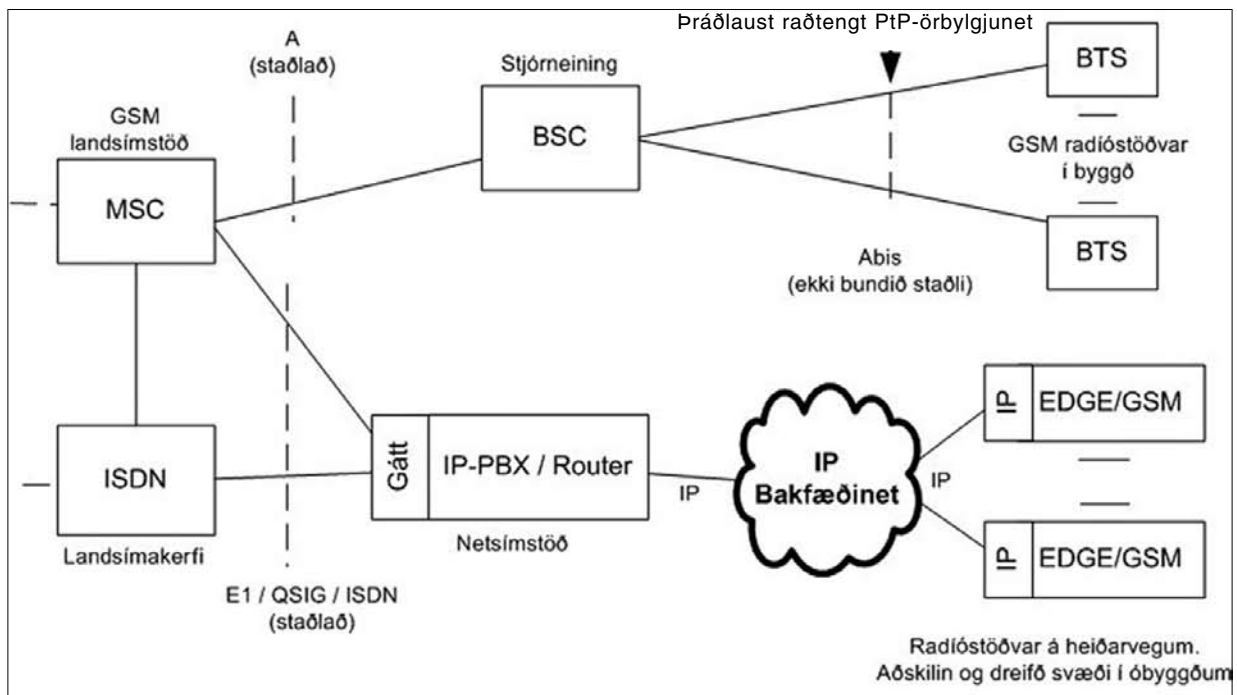
En spurningin er um kostnað varðandi Valkost 2. Þær BSC-stjórnstöðvar sem kæmu til greina í okkar tilfelli í Valkosti 1 hafa reynst mjög dýrar, enda eru þær að grunni til ætlaðar landkerfum, þ.e. stærri og afkastameiri kerfum en heiðarvegakerfin verða. Til eru á markaðnum lítil sjálfstæð GSM-kerfi (NIB: “Network in a Box”), sérsniðin að minni svæðum (færri notendum), þar sem GSM-símstöðin (MSC) og BSC-stjórneiningin eru samtvinnaðar í einni stöð. Þessi NIB-kerfi eru hlutfallslega hagkvæm þó að þau séu byggð upp með sömu tækninni og landkerfin.

Reynsla í einu tilfelli hér á landi sýnir, að ef stakkur er sniðinn eftir vexti, þarf hún ekki að vera dýrari en þekkt hefur varðandi stjórneingar í Valkosti 1. Heiðarvegakerfin, og þó allt hálendið væri tekið með, verða aldrei stór hvað afköst snertir.

Á mynd 3.3 er þetta kerfi skissað upp. Í viðbót við svæðissímstöðina með innifalinni stjórnstöð, felst breyting í tengistaðlinum á milli hennar og farsímstöðvar móðurkerfisins (landkerfisins), þ.e. E1/QSIG. Hér er um vel þekkta staðlaða tengingu á milli símstöðva að ræða sem er algeng hér. Uppbygging þessa undirkerfis eins og það er sett fram í Valkosti 2 er að öðru leyti hefðbundin 2. kynslóðar GSM-tækni. Líkt og í Valkosti 1 er lítil ástæða til að tíunda frekar tæknilegar hliðar hennar. Reynsla af þessum valkosti er fyrir hendi í einu tilfelli hér á landi. Í honum leynist þó eitt frávik frá hefðinni, símstöðin er svonefnd „mjúk“-símstöð (soft switch) eða IP-símstöð, þó svo að kostirnir sem felast í þessari nýju tækni hafi enn ekki verið nýttir í þessu tilfelli. En að þeim verður vikið síðar.

3.2.4 Innviðir samkvæmt 3. kynslóðinni (Valkostur 3)

Auk fjölmargra kosta fyrir sérhæfða þjónustu, þá hafa sjálfstæð undirkerfi þann stóra kost að skoða má dæmið frá sjónarhóli nýrrar tækni. Maður er ekki bundinn þeirri stöðu tækninnar sem er í móðurkerfinu.



Mynd 3.4 Heiðarvegakerfin sem sjálfstætt undirkerfi en skv. nútímatækni (Valkostur 3).

Þetta gæfi ótvírætt betri brúun inn í framtíðina tæknilega, varanlegri fjárfestingu og hefur allt útlit fyrir að vera hagkvæmari lausn í dag.

Að svo komnu máli, lá því nærri að kanna til samanburðar hvort ekki væri rétt í ljósi tæknistöðunnar í dag að byggja valkost 2 upp samkvæmt tækni morgundagsins, úr því að kerfisbreytingin í Valkosti 2 (sjálfstætt undirkerfi) gefur kost á því.

Í upphafi þessa verks var þessi valkostur alls ekki fyrir séður. Hann varð smám saman til í ljósi góðra niðurstaðna í verkþáttum með nútímatækni sem miðuðu að endurbótum 2. kynslóðar kerfa (sbr. kafli 4 í þessari skýrslu), og varð raunhæfari, því lengra sem leið á verkið.

Þessi könnun byrjaði með athugun á að nýta sér IP-símstöð í Valkosti 2 með þeim kostum sem í henni felast. Þetta lá okkur nærri því að reynsla af netsímstöðvum var fyrir hendi á MFS úr öðrum verkefnum, þó þær hafi ekki verið farsímastöðvar. Netsímstöðvar ryðja sér rúms á fyrirtækjamarkaðinum, en sökum kjöldragans í almennum símakerfum ber lítið á þeim enn í farsímakerfum, þær eiga þó ekki síður erindi þar. Í þessu verkefni voru gerðar tilraunir með net-farsímastöð sem studdu þetta í einu og öllu.

Annað svið sem ástæða var til að endurskoða er sú tækni sem beitt er við baktengingu radióstöðva í 2. kynslóðar kerfum. Það er nokkuð útbreidd skoðun meðal fagmanna nú orðið er að auka megi hagkvæmni 2. kynslóðar kerfa með IP-bakfæðingu verulega (allt að 50% sparnaður að mati sumra!). Og um leið búa í haginn fyrir komandi kynslóðir farsímatækninnar, en þar verður IP-bakfætt. Þetta svið var því kannað niður í kjölinn.

Í bakfæðingu er róttæk breyting framundan í farsímatækninni samfara 3. kynslóð farsímans og viðleitni til samræmingar við bakfæðingu eldri GSM-kerfa viðhöfð, þar sem henni er komið við. Að byggja heiðarvegakerfin upp með 3. kynslóðar tækni eykur endingartíma fjárfestingarinnar, og gefur marga viðbótarkosti umfram hina valkostina. Það opnar líka fyrir möguleikann á því að heiðarvegakerfin geti samrýmt þeirri tækni sem beitt verður í hálendissímakerfum sem líklegt er að verði á döfnni í framtíðinni.

Nedri hluti myndar 3.4 sýnir þær nýju einingar sem um er að ræða í heiðarvegakerfinu. Gengið er út frá sjálfstæðu undirkerfi með svæðissímstöð líkt og í Valkosti 2, en netið byggt upp með 3. og 4. kynslóðar tækni. Breytingin í Valkosti 3 felst í því að svæðissímstöðin er orðin að netsímstöð (IP-PBX) sem tengist radióstöðvunum (til hægri) yfir örbylgju-tölvunet (IP bakfæðinet). Þetta krefst þess að radióstöðvarnar taki við IP-bakfæðingu, eins og gert er ráð fyrir í komandi kynslóðum farsímans, í stað bakfæðingar á TDM-formi yfir Abis sem er hin hefðbundna leið GSM-kerfanna. Þessar radióstöðvar eru þegar fyrir hendi.

Á teikningunni er gert ráð fyrir EDGE-viðbótinni á radióstöðvarnar, sem tvímælalaust verður tímabært í nýju kerfi þegar gengið verður til framkvæmda í heidarvegakerfum (2006 eða síðar). Á þeim tíma má gera ráð fyrir að farsímar í sölu séu „EDGE-væddir“. En EDGE felur í sér þrefalt afkastameiri mótunartækni en í gömlu GSM-tækninni. Í heidarvegakerfunum myndi það þýða minna kerfi fyrir sömu afköst í símaþjónustu, þ.e. minni orkuþörf sem minnkar stofnkostnað í kerfinu í heild (t.d. varðandi orkuöflun) og eykur jafnframt rekstraröryggi. EDGE orkar því ekki tvímælis í heidarvegakerfum. EDGE gefur janframt þrefalt meiri flutningshraða fyrir GPRS-þjónustu en á GSM, sem gerir gæfumuninn fyrir GPRS. Það opnar möguleikann fyrir nýjar tegundir þjónustu (Presence, Push-to-talk, o.fl.) sem gætu verið mjög mikilvægar í öryggiskerfum eins og heidarvegakerfunum, að því gefnu að sér svæðissímstöð geti séð um þjónustuna og fylgst með þeirri umferð sem inn á þessi svæði koma. Eina símstöðin sem kemur hér til greina er netsímstöðin.

Á vinstri hlið myndar 3.4 er um töluverða breytingu til bóta að ræða. Netsímstöðin tengist hefðbundna símakerfinu yfir gátt sem breytir talsímaboðunum frá IP-forminu yfir í TDM-formið sem hefðbundnu síma-kerfin skilja og öfugt. Hún getur jöfnum höndum tengst við símstöð farsímakerfis (MSC) eða símstöðvar almenna ISDN-fastlínukerfisins, eins og sýnt er á myndinni. MSC og ISDN tengjast svo sín á milli yfir baknet símans, sem og aðrar símstöðvar á fasta símanetinu.

Búnaður á þessum nótum er allur til í dag og færast í aukana með hverju árinu, og var að miklu leyti prófaður og reyndur í þessu verkefni. Í tveimur öðrum rannsóknaverkefnum við Merkja- og fjarskiptaverkfræðistofnu (MFS) í Verkfræðistofnun Háskólans var fengist nýlega við talsamskipti (VoIP) með netsímstöðvum á þráðlausum staðar- og borgarnetum. Í þessu verkefni bættist hins vegar við netsímstöðina farsímatengdi hlutinn. Mynd 3.6 í kafla 3.3 sýnir í heild hvert þessi þróun stefnir varðandi kjarnann (netsímstöðvar) í komandi fjarskiptakerfum, en þar er fjallað um hana.

Valkostur 3 var prófaður í tilraunastöð Verkfræðistofnunar að Vatnsenda og síðan voru gerðar tilraunir með hann á Öxnadalshéiði sem skiluðu góðum árangri. Kerfið var samkvæmt uppbyggingunni á mynd 3.4. Á Öxnadalshéiði var netsímstöðin tengd ISDN-landkerfinu ýmist á Engimýri í Öxnadal eða í Fremri kotum í Norðurárdal. Þannig var í fyrsta sinn unnt að hringja í farsíma af miðri Öxnadalshéiði í hvaða númer sem óskað var á fastlínukerfum eða farsímakerfum, innan lands sem utan! Einingakostnaður í þessu kerfi reyndist tæpur helmingur á við hliðstæðar einingar í Valkosti 2, sem þó er mjög hagkvæmur. En þess ber þó að geta að þetta var tilraunabúnaður keyptur að þessu sinni án ábyrgðar og uppsetningar.

Sá búnaður sem prófaður var endurspeglar stöðu tækninnar í lok ársins 2002, en vegna nokkuð langs afgreiðslutíma varð að stofna til kaupa á honum áður en verkefnið gat hafist. Og á þeim tíma varð að kaupa hann sem einingar frá fleiri en einum aðila. Þegar kemur nú að afgreiðslu þessarar skýrslu tveimur árum síðar hefur staðan í þessum efnum tekið miklum framförum. Kerfi með þessari tækni eru þegar fáanleg sem heild, og reikna má með að þau fái í nokkru úrvali þegar að framkvæmdum í heidarvegakerfum kemur (2006 eða síðar).

Á síðustu tveimur árum eða svo hafa komið fram á sjónarsviðið nýir framleiðendur farsímakerfa frá Asíu (einkum Kína) sem ryðja sér ört rúm á vesturlöndum með ódýrari vöru. Það sem er athyglisvert, er að margir þeirra hafa þróað kerfi sín eftir að 3. kynslóðar staðlarnir höfðu tekið á sig fasta mynd. Þeir byrja með hreint borð og taka mið af 3. kynslóðinni í upphafi við hönnun sína, óbundnir af fyrri kynslóðum. Þeir nálgast viðfangsefnið óbundnir fortíðinni, m.ö.o. á svipaðan hátt og þróunin varð hjá okkur í Valkosti 3, þar sem við vorum óbundnir tækni gærdagsins. Í ljósi viðræðna við þá virðist búnaður frá þeim falla vel að Valkosti 3 og er hagkvæmur. Ég lýsi hins vegar efasemdum um að þeir sýni þessu verkefni áhuga vegna smæðar; þeirra snið eru stór. Hins vegar, millistór fyrirtæki á vesturlöndum sem framleiða einingar fyrir 3. kynslóð farsímakerfa (þau sem mest var rætt við í þessu verkefni) hefðu áhuga á heidarvegadæminu og eru reiðubúin til að afhenda símstöðvarbúnað og baknet með EDGE/GSM-grunnstöðvum skv. Valkosti 3. Mikilvægt yrði í slíku tilfelli að einhver einn þeirra afhenti kerfið í heild með uppsetningu og ábyrgð, þó að innviðirnir kæmu frá fleiri en einum aðila. Ef framkvæmdir í heidarvegakerfum eiga sér ekki stað fyrir en 2006 (ef að líkum lætur) þá er staðan í þessum efnum orðin önnur og betri en í lok 2002 þegar leitað var á hófana hjá þessum aðilum varðandi 3. kynslóðar búnað.

Í dag bendir því flest til að Valkostur 3 sé þegar orðinn hagkvæmari en Valkostur 2, ef rétt er að staðið, auk þess sem hann er varanlegri fjárfesting. IP-nettæknin er ekki aðeins ódýrari en hefðbundin símataekni, heldur er einnig unnt að sníða hana betur að sérstökum aðstæðum í þessu viðfangsefni. Það sem vissulega skortir varðandi Valkost 3 er meiri reynsla. En það á ekki að standa í vegi, úr því má einfaldlega bæta með umfangsmeira pilot-verkefni en komið var við innan þessa verkefnis.

3.3 Svæðiskerfi með nýrri útfærslu tækninnar

Nýja tæknin lýtur allt öðru viðhorfi en var á döfinni fyrir rúmum tveimur áratugum þegar grunnurinn að 2. kynslóðinni var lagður. Þessi viðhorfsbreyting endurspeglast glögg í stöðlum 3. – 4. kynslóðanna, sem auðkenndir eru með R5, R6 og R7 (R stendur fyrir „release“) og samþykktir hafa verið á undanförunum árum. Viðhorfsbreytingin er í fyrsta lagi áhrif frá þróun alhliða tölvuneta og í öðru lagi afleiðing reynslunnar af 2. kynslóðarkerfum. Þó að skrefið frá 1. kynslóðinni yfir í 2. kynslóðina hafi verið frá hliðrænu yfir í stafrænt, þá voru þau síðarnefndu svo bundin uppbyggingu hefðbundinna símakerfa að þau nutu ekki þróunarinnar sem var að eiga sér stað í stafrænum tölvunetum almennt. Í kafla 3.2 sáum við afleiðinguna af þessu í heiðarvegadæminu. Mörkin á milli sjónstöðvarinnar í GSM-kerfum (sem er hluti af kjarnanum, sbr. mynd 3.5) og radióstöðvanna (sem eru aðgangskerfi, sjá sömu mynd) eru svo illa stöðluð, að hver framleiðandi getur útfært þau eftir sínu höfði. Og afleiðingin þar var sú að sökum ósamstæðis eru kerfin ekki „færanleg“. Og dreifikerfið sem þarna er í milli er bundið þessari sérleið í báða enda. Þessi stafræni búnaður er ekki aðeins sérsniðinn að GSM farsímanotkun (kjarninn og baknetið) heldur einnig bundinn hverjum og einum framleiðanda. Það er því til mikils að vinna að komast út úr svona öfugþróun. Og alls ekki að dragast inn í hana í nýstofnuðu kerfi. Í alhliða stafrænum tölvukerfum þarf að fara 30 ár aftur í tímann til að rekast á þetta stig; á árdögum stafrænu tækninnar voru til tölvur sem voru sérsniðnar að ákveðnum verkum, t.d. bókhaldsvélar, og gátu ekkert annað.

Í þriðju kynslóðinni er lögð mikil áhersla á að staðla mörkin á milli þessara sviða (sbr. mynd 3.5), þ.e. kjarnans, baknetsins og aðgangskerfisins. Þetta hefur þá þýðingu, t.d. í heiðarvegadæminu, að ef radióstöðvarnar eru óháðar baknetinu og þá kjarnanum, er maður ekki bundinn einum framleiðanda og unnt að skipta eldri stöðvum út þegar nýjar gerðir koma á markað án þess að það hafi áhrif á baknetið og kjarnann. Ef baknetið hefur stöðluð tengsl annars vegar við radióstöðvarnar og hins vegar við kjarnann, mætti byrja með jarðbundið baknet í heiðarvegakerfinu og skipta því út fyrir gervitunglabaknet síðar án þess að gera þurfi nokkra breytingu í radióstöðvunum, þ.e. aðgangskerfinu, né í kjarnanum, þ.e. símstöðinni. Ef símstöðin (kjarninn) er IMS, sá sami og nýtir almenna tölvutækni, verður hún hagkvæmari.

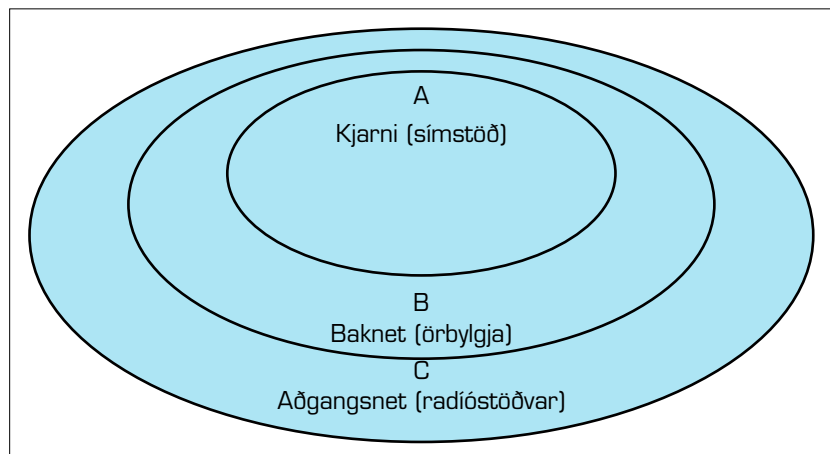
Áður en vikið er að niðurstöðum prófana og tilrauna með 3. kynslóðartækni í þessu verkefni fylgir kerfis lýsing út frá því viðhorfi sem nauðsynlegt er að ríki ef byggt er upp með 3. kynslóðar tækni. Þetta hefur praktíska þýðingu við uppbyggingu nýs kerfis.

3.3.1 Kerfislýsing – Einstakir kerfishlutar

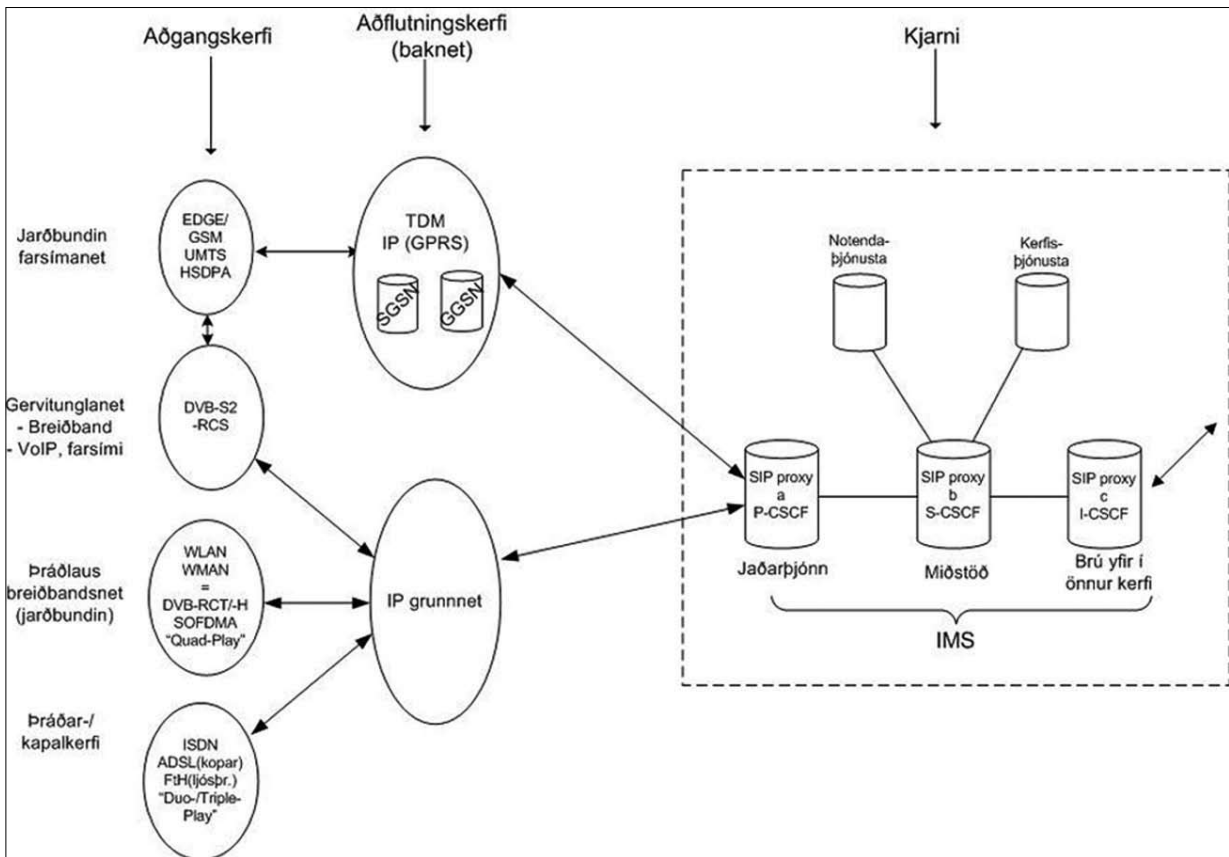
Á mynd 3.5 hér að neðan, höfum við í stórum dráttum kerfislýsingu sem skilgreinir þrjá höfuðþætti fjar-skiptakerfis, þ.e. kjarna, baknet og aðgangskerfi, og kjarninn er umlukinn bakneti sem flytur samskipti hans við jaðarinn, en þar er notendum veittur aðgangur að fjar-skiptanetinu. Þetta gæti átt við hvaða fjar-skiptakerfi sem er, en með innihaldi sviganna er hún að þessu sinni heimfærð upp á þráðlaust kerfi eins og farsímakerfin.

Mynd 3.6 (sem fengin er að láni úr annarri MFS skýrslu) er nánari kerfislýsing í sama dúr. Hún sýnir að þetta á við um öll helstu aðgangskerfi sem eru á döfinni um þessar mundir, m.a. um fastlínusímann og kapalkerfi (gler sem kopar), þráðlaus fjölþjónustunet í staðarumhverfi (WLAN), þráðlaus breiðbandsnet í borgum (WMAN), gervitunglanet, auk farsímaneta.

Hún sýnir að öll þessi kerfi koma til með að búa við eina tegund af kjarna, sem nefndur er IMS (Integrated Multimedia Subsystem). Við gætum komist af með eitt grunnnet fyrir öll þessi aðgangskerfi, en þá er átt við flutningsformið, ekki eðlismiðilinn, sem gæti verið þráðlaus eða þráður í einni eða annarri mynd. En við gerum undantekningu á því vegna umfjöllunar í þessari skýrslu



Mynd 3.5



Mynd 3.6 Uppbygging dreifikerfa til einstaklingsbundinnar þjónustu.

síðar og aðskiljum baknet farsímans frá almenna IP-baknetinu, því að farsíminn er enn ekki að öllu leyti IP-bakfæddur.

Varðandi aðgangskerfin eru gervitunglanetin ekki á dagskrá enn sem aðgangskerfi fyrir heiðarvegi og hálendið, en ég mun víkja að þeim sem baknetum fyrir heiðarvegadæmið síðar. WLAN og WMAN snerta okkur ekki sem aðgangskerfi í heiðarvegakerfum, en þau munu hafa óbeint áhrif (t.d. á þjónustuframboð) í gegnum sameiginlegan kjarna sem þau munu hafa áhrif á. WLAN og WMAN eru þráðlaus breiðbandskerfi sem eru á döfinni og ekki er ólíklegt að flytji farsímaumferðina í staðar- og borgarumhverfi í náninni framtíð, fremur en að sérsniðin farsímakerfi geri það til frambúðar, innan húss og í margmenni. Ásamt öðru margmiðlunarefni munu WLAN/WMAN-kerfin geta flutt farsímaumferð (VoIP) á hagkvæmari hátt en sérsniðnu farsímakerfin gera, og með minna sendiafli og með jafnari styrk um borgina (sem er ekki síður mikilvægt).

Hvað snertir miðlæga hlutann þá er þróun mála á þann veg (t.d. í nýju farsímastöðlunum), að þessi þráðlausu kerfi munu innan tíðar (og sennilega þráðarkerfin líka) öðlast einn og sama kjarnann, sem nefndur er IMS. Í R3 og R4, þar sem fyrstu drög að 3. kynslóðinni er að finna, er af sögulegum ástæðum enn gert ráð fyrir rofasímstöð. En í R5 – R7, sem farið er að nefna 3.5 kynslóðina, er að öllu leyti byggt á IP-flutningsforminu og öll VoIP-símkerfi byggja á „mjúkum“ IP-símstöðvum..

Eins og áður sagði er mikilvægt að tengslin (mörkin) á milli svæðanna á mynd 3.5 lúti alþjóðlegum stöðlum. En það sem er enn mikilvægara í dag, og mætt hefur skilningi lengi á öðrum sviðum netfræða en hefur nú einnig verið tekið upp í stöðlun og þróun farsímakerfa, er sú stefna að blanda ekki verkaskiptingu (hlutverkum) þessara svæða saman, heldur gera þau þannig úr garði, að þau séu óháð hvert öðru. Það þýðir að baknetið er byggt upp óháð því hvaða tegund þjónustu kjarninn á að veita, megi það t.d. vera Internetið, síma- eða sjónvarpsþjónusta. Og aðgangsnetin, þráðlaus eða þráðarnet, eru byggð upp óháð því efnislega hvað á að flytja og hvaða baknet þjónar þeim. Og baknetið óháð því hvaða tegund þjónustu (efni) kjarninn er að veita. Á þennan hátt getur einn og sami kjarninn dugað og allar tegundir þjónustu verið óbreyttar, þó að breytingar verði í burðarnetinu eða aðgangsnetinu. Og það sem er ekki síður mikilvægt kostnaðarlega

séð, er að öll notkunarforritun er unninn fyrir eina tegund af kjarna, þ.e. fyrir ein og sömu forritatengslin (API). Það má í þessu sambandi minna á hvert verðið var á notkunarhugbúnaði og hver kostnaðurinn var við að laga þennan hugbúnað að hverju nýju tölvukerfi sem tekið var í notkun, áður en komið var á alþjóðlegri stöðlun á stýrikerfum tölva. Stafrænu farsímakerfin eru almennt ekki komin af því stigi enn. Og við færum á mis við mikilvæga þjónustumöguleika í heiðarvegakerfunum ef við tækjum þann kostinn í dag.

Í umfjöllun á valkostunum hér að framan höfum við stuðst við netuppbyggingu kerfisins. En verkþættirnir snerust um prófanir og mælingar með einstökum kerfishlutum.

Fyrsta skrefið í endurskoðun á Valkosti 2 leiddi til könnunar á því hvort IP-svæðissímstöð kæmi hugsanlega betur út en hefðbundin rofasímstöð. Þetta var upphafið af þeirri þróun mála sem leiddi okkur að Valkosti 3.

Í öðrum verkþætti, ekki síst vegna jákvæðrar niðurstöðu í verkþættinum að ofan, var hefðbundna baknetið endurskoðað með það í huga að skipta því út fyrir IP-baknet. Þetta reyndist mjög fýsilegt í framkvæmd. Þessi breyting yfir í IP-tækni í baknetinu og í kjarnanum hefði engin áhrif á að kerfið út á við, hvorki hvað GSM-móðurnetið á landsvísu snertir né neytandann með hefðbundna farsímamann. Netsímstöðin talar við hefðbundna símakerfið yfir gátt sem þýðir IP-málið yfir á hefðbundna símatækni. Og til neytandans talar það eftir sem áður mál GSM-farsímataekis sem notandinn hefur.

Í þriðja verkþætti, ekkis síst út af IP-baknetinu, var leitað lausna í IP-bakfæddum GSM-radíóstöðvum, eins og gert er ráð fyrir í 3. kynslóðinni, og prófanir og tilraunir gerðar með slíkum. Í tilfalli heiðarvegakerfa, sem þjóna verða GSM-farsímum, má því byggja kerfið allt upp sem IP-kerfi, að fráteknum talhluta radióstöðvanna. Hann verður að vera hefðbundinn svo lengi sem algengasti farsímabúnaðurinn byggir á TDM-flutningsformi símatækninnar en ekki á netsímaforminu (VoIP).

Það sem á eftir fer í þessum kafla er umfjöllun um niðurstöður sem fengust varðandi þessa þrjá höfuðþætti kerfisins, kjarnann, baknetið og aðgangskerfi, sem einstaka kerfishluta. Kafla 3.4 byggir einnig á þessum niðurstöðum, en út frá því sjónarmiði að nýta sér þessa nýju tækni sem einstaka kerfishluta í hefðbundinni uppbyggingu.

3.3.2 Miðlægur kjarni fjarskiptakerfis – IP-svæðissímstöð (IMS)

IP-svæðissímstöðvar hafa marga kosti umfram hefðbundnar símstöðvar. Þær hafa þegar reynst góður kostur sem fyrirtækjasímstöðvar og eru á þeim vettvangi óðum að ryðja hefðbundnum símstöðvum úr vegi. IP-símstöðvar geta boðið upp á ýmsa sérþjónustu innan fyrirtækja sem er miklu auðveldara að koma við í IP-símstöð, sem er „opið kerfi“ forritunarlega séð, en í hefðbuninni „lokaðri“ símstöð. Netsímstöð er töfluuppflattir (flettir upp netfangi viðtakanda) og vegabeinir (router) fyrir IP-pakka, þ.e. sérhæft tölvukerfi sem byggir á vel þekktum tölvutækni grunni. Þær eru því miklu aðgengilegri öllum þeim sem hafa alhliða menntun á tölvusviði en gamla tæknin.

Þetta er ólíkt því ástandi sem ríkir enn á sviði hefðbundinna símkerfa sem ætti við varðandi alla valkosti í heiðarvegadæminu nema Valkost 3. Afleiðing „lokaðs kerfis“ er sú að rekstraráðilar þurfa að leita að miklu leyti til framleiðenda með forritun fyrir þjónustu sem þeir hyggjast veita eða breytingar á henni. IP-símstöðin og notkunarþjónar hennar eru „opin tölvukerfi“. Verð á vélbúnaði og hugbúnaði er því miklu lægra, bæði að stofni til og í rekstri. Þau tímamót sem við stöndum frammi fyrir í símatækninni, endurspeglast glögg í þessum verðmuni á nýju tækninni miðað við þá hefðbundnu.

Það hefur hins vegar ekki þekkt mikið fram til þessa að netsímstöðvar hafi verið aðlagðar að farsímanetum, en það er að breytast. Í farsímastöðlunum 3. kynslóðarinnar er gert ráð fyrir þeim. Og með 3.5 kynslóðinni („all IP“), er gert ráð fyrir því að IP-símstöðvar muni ryðja hefðbundnu rofasímstöðinni með öllu úr vegi.

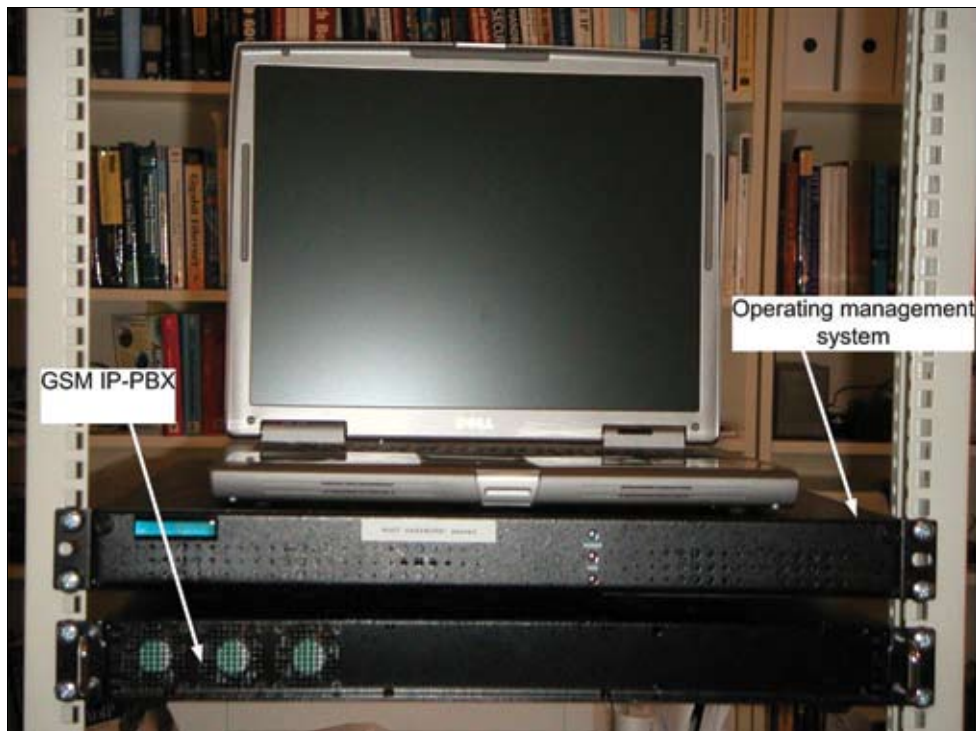
Á mynd 3.6 sést að IMS felur í sér þrjá sérhæfða tölvuþjóna:

Í fyrsta lagi er að finna þjón (SIP Proxy a) sem annast samskiptin við radióstöðvarnar yfir IP-hluta farsímabaknetsins (þ.e. felur m.a. í sér hlutverk radióstjórnsstöðvarinnar í 2. kynslóðarkerfum) og hann annast einnig samskiptin við notendur

Í öðru lagi er gátt (SIP Proxy c) sem brúar þetta kerfi yfir á önnur kerfi og myndi í tilfalli undirkerfis eins og í Valkosti 3 annast samskiptin við móðurstöðina og fasta símakerfið.

Í þriðja lagi höfum við miðlægt stjórnerfi (SIP Proxy b), sem er miðstöð kjarnans. Hún annast samskipti tveggja fyrri þjónanna við miðlæga kefisþjónustu (HLR, VLR, viðvist, staðsetningu, reikningshald) og notendabjóna.

Þessi kjarni er óháður burðarkerfunum, eins og undirstrikað var í inngangi að þessum kafla. Á mynd 3.6 sést að hann getur þjónað WLAN/WMAN staðar- og borgarnetum líkt og 3 kynslóð farsímakerfanna og er þegar búið að staðla þau samskipti (UMA: Unlicensed Mobile Access).



Mynd 3.7: IP- netfarsímastöð.

Í tilraunum í þessu verkefni var beitt IP-símstöð samkvæmt þessari uppbyggingu. Hún var að hluta til fyrir hendi úr WLAN og WMAN verkefnum sem unnin hafa verið á MFS. Keypt var nauðsynleg viðbót sem flokkast að hluta til undir þjón a og að hluta undir þjón b, sem gerði hana að net-farsímastöð. Sem slík hafði hún alla nauðsynlega grunnþætti farsímasvæðissímstöðvar fyrir marktækar tilraunir í okkar tilgangi, þ.e. miðlægan þjónn (proxy b) sem tengdi okkur við kerfisþjónustu (Registry, HLR, VLR, ..), „net-proxy a“ sem annaðist GSM-radíóstöðvarnar, og gátt (proxy c) sem tengdi kerfið yfir í landkerfið.

Svæðissímstöðin gat tengst öðrum símstöðvum í gegnum hefðbundið E1 tengi, sem og almenna símalínur ISDN símakerfisins (þ.e. BRI- og PRI-línur). Og var það síðarnefnda notað í okkar tilraunum á Vaðlaheiði. Ekki voru tök á að setja upp að þessu sinni notkunarþjóna sem myndu veita sérhæfða þjónustu við vegfarendur eins og viðvistar- og staðsetningarþjónustu (Presence, Location). Sú tækni IP-símstöðva hefur verið könnuð í öðrum verkefnum á MFS. Að því er vikið í nánar í grein 3.5.1 um sérþjónustu sem æskilegt væri að veita á heiðarvegum síðar.

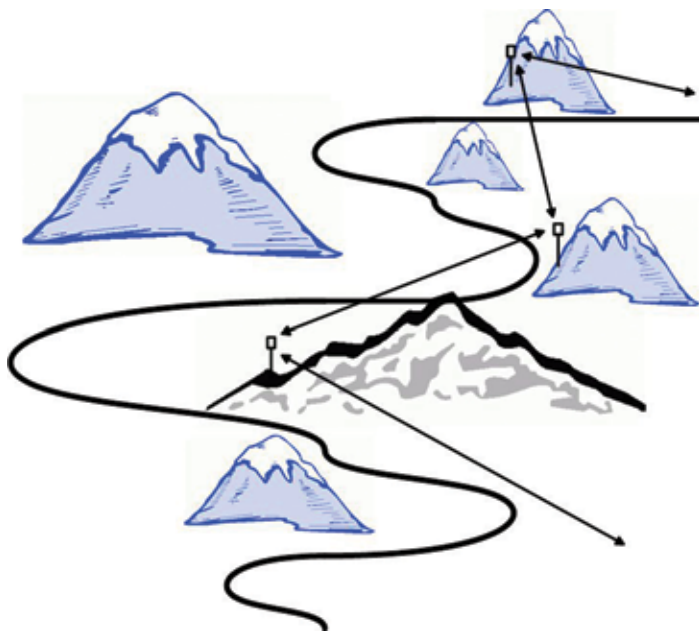
Mynd 3.7 er ljósmynd af þessari IP-netsímstöð. Þar sést að þessi nýja tækni er ekki fyrirferðarmikil, stöðin er í neðri skúffunni af þeim tveimur sem fartölvan situr á. Í efri skúffunni er stjórnkerfi netsins. Í báðum tilfellum er um almennar Linux-tölvur að ræða sem eru algengar sem þjónar í netkerfum hér á landi. Stjórnstöð kerfisins er almenn fartölva keypt í verslun í Reykjavík.

3.3.3 Net til bakfæðingar

3.3.3.1 IP-baknet

Snemma í þessu verki var tekið til við endurskoðun á hefðbundinni bakfæðingu GSM-farsímakerfa með sparnað og aukna rekstrarhagkvæmni í huga. Í þessu fólst einnig viðleitni til að draga úr aflþörf í þessum kerfum á fjöllum þar sem framleiða verður orkuna til að drífa þau á staðnum. Sú skoðun er orðin nokkuð almenn að hefðbundin örbylgjubakfæðing GSM-kerfa sé óhagkvæm að öllu þessu leyti, enda er róttæk breyting framundan í bakfæðingu komandi kynslóða farsímans. Þetta leiddi til tilrauna og prófana með örbylgjubakfæðingu GSM-radíóstöðva á svonefndu IP-formi og síðar GSM-radíóstöðva sem samræmast IP-bakfæðingu.

Slíkt baknet eru ódýrari og aðlögunarhæfari fyrir heiðarvegakerfi, auk þess sem kostir IP-símtöðvarinnar nýttust þá miklu betur. Með þessu tvennu væri stórt skref stigið í átt að hreinu IP-kerfi, eins og gert er ráð fyrir í 3. nýrri kynslóðum farsímans. Aðeins væri endurskoðun á radíóstöðvunum eftir.

**Mynd 3.8**

PTP-bakfæðing (Point-To-Point).
Keðjutengd bakfæðing punkt í punkt,
fastasamband.

Þær prófanir og tilraunir sem hér voru gerðar snérust um bakfæðingu með IP-örbylgjunetunum, sem í eðli sínu eru tölvunet. Sú tækni er ódýrari og aðlögunarhæfari en taktbundnu fastasamböndin sem hafa þekkt og getur hún nýst sem endurbót til sparnaðar þó svo að radíóstöðvarnar og símsstöðin sé samkvæmt hefðbundinni uppbyggingu. Sama gildir um öruggari og hagkvæmari byggingarform (topólógíu) fyrir baknetið sem ekki voru þekkt fyrir rúmum tuttugu árum síðan þegar grunnur var lagður að GSM-kerfunum.

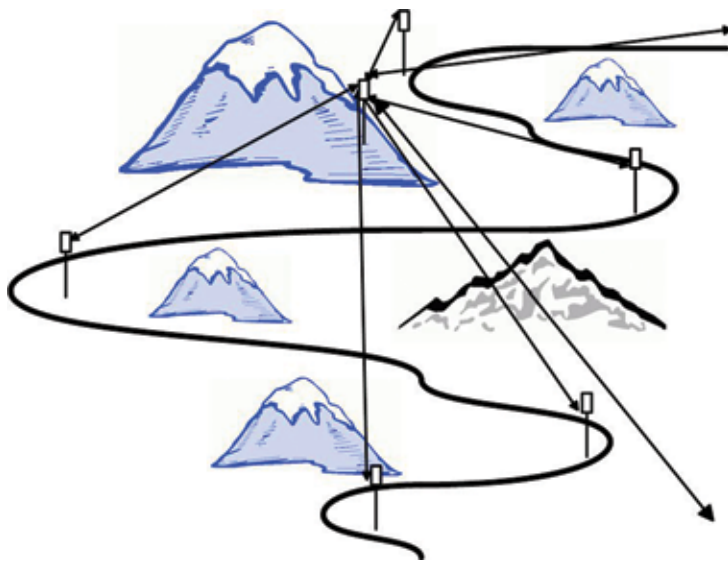
Í ljósi mjög góðar útkoma sem við fengum í prófunum og tilraunum með IP-örbylgjubakfæðingu, bæði á tilraunasvæði Verkfræðistofnunar og á heiðum, reynist IP-bakfæðing ekki einungis raunhæfur heldur mjög æskilegur kostur í dag, óháð því hvaða kerfisvalkostur yrði ofan á í heild. Hann verður því á ný til umræðu í Kafla 3.4 þar sem einstakir hlutar hefðbundinna leiða eru endurskoðaðir. Þar er farið ítarlegar í tækni þessarar IP-bakfæðingar, þ.e. afköst og drægni sem ræðst af þeirri mótunartækni sem beitt er. Hér er lýsingunni haldið við kerfisatriði og netuppbygginguna.

Kostir IP-formsins felast m.a. í því að hver IP-pakki felur í sér einstaklingsbundna áritun til viðtakanda. Á samnýttum flutningsmiðli, í líkingu við gatnakerfi borga, getur hver IP-pakki fundið sína leið án þess að setja þurfi upp sérstaka flutningsleið fyrir hann eins og í þráðarkerfi símans og án afskipta miðlægrar yfirstjórnar. Þetta væri æskilegt að nýta sér í þráðlausum baknetum, en fastasamböndin í hefðbundinni bakfæðingu leyfa það ekki, þau vinna frá „punkti í punkt“ líkt og járnbrautateinar. Ef IP-flutningsformið er sett á burðarkerfi í líkingu við pípulagnir eða járnbrautarteina fara stærstu kostir þess forgörðum. Þess vegna er þörf á betra byggingarformi (topólógíu) en keðjutengdum „brautarteinum“ í líkingu við hefðbundnu bakfæðinguna í farsímakerfum.

3.3.3.2 Ný grannfræði bakneta – hagkvæmari bakfæðing

Hefðbundið baknet GSM-kerfa í fjallendi felst í raðtengingu taktbundinna örbylgjufastasambanda frá „punkti í punkt“. Mynd 3.8 sýnir þetta. Í ljósi stöðunnar í dag felst veikleiki þess konar örbylgjusambanda í „keðjutengingunni“, ekki síst ef öryggissímakerfi byggir á þessu. Þessu má líkja við járnbrautarteina (eða ljósþráð), sem liggur frá einni stöð til annarrar, koll af kalli. Þegar einu sinni er búið að leggja teinana er járnbrautin (eins og ljósþráðurinn) óneitanlega afkastamikil flutninstæki þegar flytja þarf mikið magn milli tveggja staða yfir langar vegalengdir. En ef teinarnir rofna á leggnum liggur flutingurinn niðri alla þá vegalengd og til allra staða handan hans. Flutningsmátinn er bundinn einum sendanda og einum viðtakanda á hverjum legg (PtP: Point-to-Point). Þetta á við um taktbundnu fastasamböndin í GSM-kerfinu.

Auk þess er byggt á flutningsrömmum á burðarlagi sem er gömul arfleifð frá baknetum þráðarsímans, en þau skalast illa niður eins og sagt er, það er erfitt að sníða þau að lítilli afkastapörf heiðarvegakerfa á hagkvæman hátt. Og í hefðbundnu GSM kemur til viðbótar að TDM flutningsformið samræmist ekki IP-forminu sem nýju staðlarnir boða.



Mynd 3.9
PMP bakfæðing (Point to Multi-Point).
Stjörnu-bakfæðing frá einum punkti í
marga, aðlögunarhæft (dýnamískt) sam-
band.

Mynd 3.9 sýnir aðra uppbyggingu („topólógíu“) bakfæðinets sem fylgir þróun tímans og fellur vel að IP-netum. Hún hefur kosti í „sellukerfum“, þá ekki síst „línusellukerfum“ meðfram vegum í fjallelndi þar sem sjónlínur meðfram veginum eru takmarkaðar eins og títt er í heiðarvegadæminu. Hún byggir á sendingum frá „einum punkti í marga“ (PMP: Point to MultiPoint) og öfugt, í stað þess að raðtengja bakfæðinguna meðfram veginum frá einni radióstöð til þeirrar næstu, frá „punkti í punkt“ (PtP). Miðstöðin samnýtir sendinn sinn til að fjölvarpa (útvarpa) til allra radióstöðva og samnýtir viðtæki sitt til að taka við frá öllum. Staðsetning þessa „eina“ miðfæðipunktur er valinn þannig að sjónlína sé til sem flestra radióstöðva meðfram veginum.

PMP-bakfæðing hefur ýmsa kosti umfram hefðbundna PtP raðtengingu. Hún hefur þann augljósa öryggiskost, að bilun í einum legg hefur ekki áhrif á bakfæðinguna í öðrum leggjum. Ef 50% skörun er í þekningu á milli radióstöðva, sem í dag er hagkvæmur byggingarmáti og réttlætanagerður í öryggiskerfum, fellur ekkert svæði með öllu dauft niður þó að ein radióstöð (eða jafnvel önnur hver) bili. Í raðtengingu fellur allt niður í báðar áttir út frá þeim legg sem bilar.

PMP hefur annan augljósan kost umfram PtP. Auðvelt er að breyta álagsdreifingu (staðbundinni afkastagetu) í baknetinu eftir þörfum og það sjálfvirk („dynamískt“). Ef tímabundin þörf umfram eðlilegt álag myndast á einum stað, t.d. slys eða leit á sér stað á ákveðnu svæði, getur miðfæðipunkturinn beint aukinni afkastagetu sinni til radióstöðva á því svæði og fengið hana að láni frá þjónustugetu sinni (dregið úr þjónustu sinni) við radióstöðvar á öðrum svæðum.

PMP-bakfæðingin er hagkvæmari í stofnkostnaði en PtP því að hún notar 1 radió til að bakfæða N radióstöðvar á gefnu svæði, þ.e. N+1 alls. Keðjutengingin krefst hins vegar $2(N-1)$ radióstöðva sem eru því sem næst tvöfalt fleiri, sem segir til sín einnig í aflþörf á hverjum stað miðað við PMP. Hins vegar kemur viðbótarkostnaður við miðfæðipunktinn í PMP, sem verður að vera traustur. Bakfæðing hans er framkvæmd með langlínuörbylgju PtP inn á svæðið og má í öryggisskyni leiða hana að úr fleiri en einni átt.

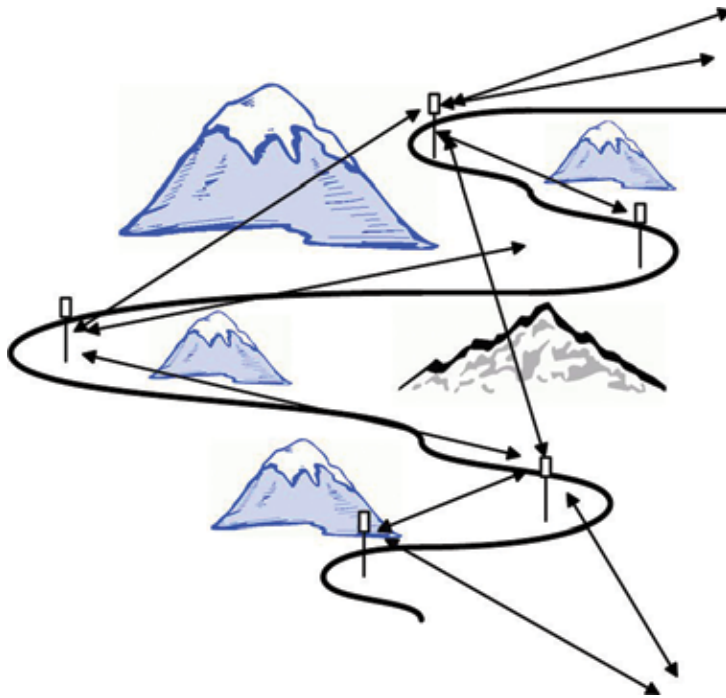
PMP-bakfæðingu var beitt var í tilraunum á Öxnadalshéiði. Mynd 3.11 sýnir miðfæðipunkt einnar slíkrar á Öxnadalshéiði. Þar var bakfætt í senn bæði frá efsta bæ í Norðurárdal og Öxnadal. Parabólloftnetið sá um langlínusambandið inn á heiði, í þessu tilfalli frá Fremri kotum í Norðurárdal, panel-loftnetin sjá um PMP fæðingu til radióstöðva.



Mynd 3.11 PMP uppsetning.

3.3.3.3 Athyglisverð nýjung í bakfæðingu - Þarf prófana við
Mynd 3.10 á næstu síðu sýnir annað nýtt byggingarform bakneta sem nefnist „sjálftengjandi sjálfaðlagandi möskvanet“ (Self-Configuring Self-Adapting Mesh Network), sem er mjög athyglisvert fyrir okkar þarfir.

Í möskvanetum er bakfæðing radióstöðvanna þannig háttáð að hver radióstöð kemur sér sjálfvirk í bakfæðisamband við allar nágrenna-



Mynd 3.10
Bakfæðing með sjálfaðlagandi
möskvaneti og sjálfvirk álagsjöfnun
(Load-balancing Mesh Network).

radíóstöðvar sem hún nær til og þetta á sér stað yfir allt netið. Ef ný stöð er sett upp er hún tekin á sjálfvirkann hátt í samfélagið, bakfædd af hinum, en látin axla þjónustuna umhverfis sig. Ef stöð dettur út, deila nágrannarnir með sér hlutverki hennar, þar til að úr er bætt.

Þetta er eins konar gagnkvæm MPM-keðjutenging með margfaldri keðju, sem sameinar kosti beggja fyrri leiða án ókosta þeirra. Ef leggur bílar beinir netið umferðinni yfir á aðra leggi. Engin þörf er á miðpunkts-fæðingunni í PMP, enn síður þörf á að fara hátt í hlíðar í leit að sjónlínu á sem flestar radíóstöðvar, því að bakfæðingin fer fram meðfram veginum á sömu möstrum og radíóstöðvarnar.

Í fljótu bragði virðist þetta flókið og dýrt, en það þarf ekki að vera svo þegar nánar er skoðað. Þetta er í eðli sínu mjög „samhverft“ dæmi (symmetric), unnt er að beita fjölföldun og fjöldaframleiðlu í ríkum mæli, sem gerir það raunhæft og hagkvæmt þar sem kostir þess nýtast. Uppsetning baknetsins verður mjög auðveld, því að netið byggir sig upp sjálft og lagar sig að aðstæðum. Og netuppbyggingin hefur ýmsa fleiri kosti í för með sér.

Voldugasti eiginleiki þessarar tækni felst í því að hún er sjálfstýringandi og sjálfaðlagandi. Bakfæðistöðvarnar, þegar þær eru settar í gang, kvaka sig saman, ef svo mætti að orði komast og byggja upp hjá sér netbeiningartöflu í samræmi við þá nágranna sem þær finna hverju sinni.

Hver ný bakfæðistöð (en þær eru staðsettar á mastri hverrar radíóstöðvar, líkt og í sjálfbæru sendistöðvareiningunum sem notaðar voru í þessu verkefni) tekur sjálfkrafa inn í sína netbeiningartöflu allar þær bakfæðistöðvar sem hún hefur sjónlínu til og þ.a.l. heyrir hún reglubundið kvak þeirra. Þannig gerir hún alla nágranna sína sjálfvirkt að samskiptaaðilum sínum. Með PMP-fjölvarpi framsendir hún síðan það sem hún hefur fengið á þær bakfæðistöðvar sem hún sér og tekur við frá þeim. Þetta á við um allar hinar bakfæðistöðvarnar hvar sem er í netinu. Ef ein dettur út, deila hinar með sér hlutverki hennar. Ef ein bætist við er hún sjálfkrafa tekin í hópinn og fær sitt hlutverk.

Þessi eiginleiki hefði í för með sér, að til að GSM-væða vegi væri ekki þörf á að gera annað en setja upp meðfram veginum þær fjöldaframleiddu sjálfbæru sendistöðvar sem lýst er síðar (sjá einnig forsíðu), engra tenginga væri þörf. Aldrei þyrfti að fara út fyrir vegastæðið (þó ekki sé minnst á að fara hátt í fjalls- hlíðar) og í stórum dráttum gæti þetta gengið fyrir sig óháð lengd fjallvegarins.

Í heiðarvegadæmi væri alltaf bakfæðingin yfir fleiri en einn legg í hverja stöð, og fæðipunktur inn á netið frá öllum stöðum þar sem netið tengist í byggð. Þetta gefur jafnt öryggi yfir allt netið („fjölkeðjan“ er mun sterkari en veikasti hlekkurinn). Sjálfvirka aðlögunarhæfnin í hverjum „hnúti“ möskvanetsins sér einnig um „bestu“ álagsdreifingu hverju sinni yfir netið, og lagar sig að breytilegu ástandi.

MPM-bakfæðingin var reynd með góðum árangri á Öxnadalshéiði og þar virðist hún henta vel. En bakfæðing með möskvanetum var ekki beitt í tilraunum í heiðarvegadæminu á Öxnadalshéiði sökum þess að

ekki vannst tími til. Möskvanetum hefur verið beitt með mjög góðum árangri árangri í verkefnum á MFS þar sem fengist hefur verið við baktengingu þráðlausra breiðbandsneta meðfram götum í borgum. Það er hliðstætt dæmi þess sem borið hefur verið upp við undirritaðann varðandi farsímavæðingu í vegajarðgöngum en það hefur verið mjög kostnaðarsamt dæmi. Í viðauka 3.5.4 er minnst á beitingu þessarar tækni við farsímavæðingu í vegajarðgöngum og þar er byggt á þeirri reynslu sem fékkst í ofangreindum tilfellum. Hversu vænleg þessi tækni er til bakfæðingar í heiðarvegadæminu verður að skera úr um með tilraunum.

Báðar ofangreindar aðferðir eru dæmi um framfarir í nettækni. Það ber að beita þeim í tilfellum þar sem ótvíræðir kostir þeirra nýttast og þeirra er þörf, sem er matsatriði hverju sinni.

3.3.4 Radióstöðvar

3.3.4.1 IP-bakfæddar radióstöðvar

Það markmið að byggja kerfið upp sem IP-kerfi, að fengnu IP-kjarna og IP-bakneti, leiddi til endurskoðunar á radióstöðvunum. Hins vegar er ekki hægt á þessu stigi að fara lengra í þeim efnum en að radióhlutanum sem snýr að farsímatækini. Hann verður að vera hefðbundinn svo lengi sem við búum við núverandi GSM-handtækni.

IP-baknet gerir kröfu til radióstöðva sem geta tekið við IP-bakfæðingunni í stað TDM-formsins sem ríkt hefur. Þetta er ekki vandamál í dag varðandi EDGE og UMTS radióstöðvar. Staðall þessara radióstöðva gerir ráð fyrir IP-bakfæðingu frá upphafi og þær eru þegar til sem slíkar á markaði. GSM-staðallinn gerir hins vegar ráð fyrir svonefndri TDM-bakfæðingu sem er sú hefðbundna.

Í lok árs 2002 þegar leitað var að einingum til prófana og tilraunamælingar í þessu verkefni, voru EDGE og UMTS radióstöðvar ekki komnar á markað og aðeins GSM-stöðvar að hafa. En þær voru undantekningarlítið TDM bakfæddar á þeim tíma. Þetta vandamál reyndist þó unnt að leysa og IP-bakfæddum GSM-radióstöðvum (tilraunaútgáfum) var beitt í þessu verkefni. Þær gáfu marktækar niðurstöður varðandi þessa framtíðartækni. Í dag, tveimur árum síðar eru allar þessar þrjár tegundir grunnstöðva komnar á markað með IP-bakfæðingu. Mynd 3.12 á er ljósmynd af tveggja rása IP-bakfæddri grunnstöð sem notuð var til tilrauna á Öxnadalshéiði.

3.3.4.2 Tilraunir með orkusparandi radióstöðvar og lágmarks aflþörf

Það sjónarmið sem ríkti varðandi kjarnann og baknetið, að laga tæknina að þeim séraðstæðum sem heiðarvegadæmið hefur og sníða stakk eftir vexti, ríkti einnig varðandi radióstöðvarnar.

Yfirleitt er sá búnaður sem er í boði og mestur er fyrir hendi hjá símafélögum atlaður fyrir afkastþörf í þéttbýli, en þar er enginn skortur á orku né baktengingum við grunnnetið. Að beita honum í heiðarvegadæminu gefur okkur augljóslega ekki hagkvæmustu lausn.

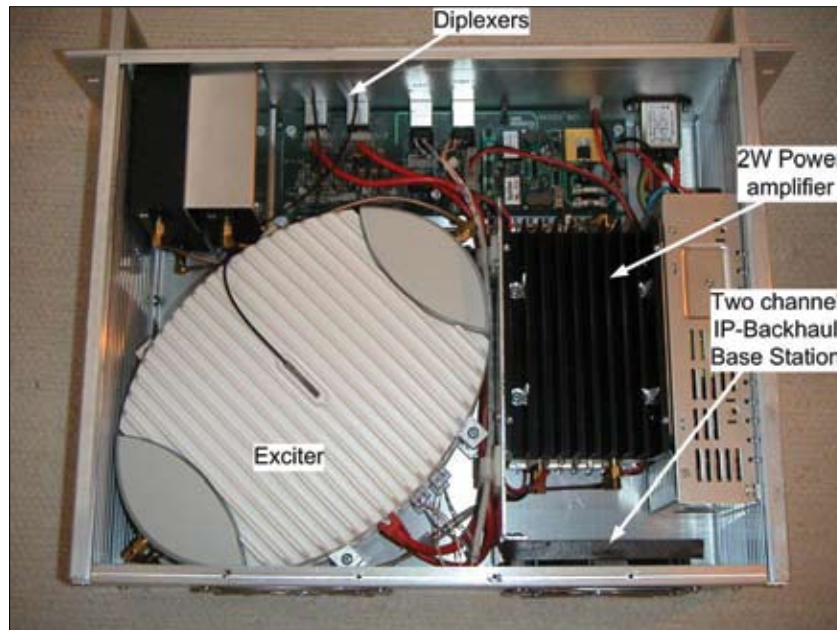
Gerðar voru prófanir með lágmarks aflþörf sem unnt var að komast af með við gefnar aðstæður. Þetta er mjög mikilvægt atriði, því að framleiða verður nauðsynlega orku á staðnum. Auk GSM-radióstöðvarinnar þarf að aflfæða örbylgjustöð á hverjum sendistað fyrir bakfæðingu. Orkueyðsla um of við þessar aðstæður dregur dilk á eftir sér í mannvirkjagerð á staðnum, sem getur reynst þungur í taumi bæði hvað stofn- og rekstrarkostnað (viðhald) snertir.

Hönnunarþátturinn varðandi radióstöðvarnar snýst yfirleitt um nauðsynlegan sendistyrk sem þarf til að ná gefinni vegalend. Í stórsellu í byggð er einfalda leiðin að skera sendiaflið ekki við nögl, því að nóg rafmagn er að hafa. Í fjalllendi, ef á að halda sig við radióstöðvar meðfram veginum sem hefur marga mikilvæga kosti í heiðarvegadæminu, er sjónlína takmörkuð við miklu styttri vegalengdir en hámarksstærð sella er. Það er því mjög eyðslusamt í viðkvæmum kerfishluta í þessu tilfelli að byggja radióstöðvarnar upp eins og í byggð. Auk þess ræðst sendistyrkur af tvennu. Afli sendisins og mögnunar í loftneti, og að auka það síðarnefnda kostar ekkert í orku.

Leiðin til orkusparnaðar í heiðarvegakerfum er því að nota sem minnst sendiafl og ná drægninni upp með sem mestri loftnetsmögnun. Því meiri loftnetsmögnun þeim mun þrengri geisla hafa stefnuvirku loftnetin sem beitt er. Línusellurnar meðfram vegum í heiðarvegadæminu bjóða þess konar hönnun heim.

Eins og staðan var varðandi nýju tæknina í lok árs 2002, þegar stofnað var til kaupa fyrir þetta verkefni, þurfti að setja saman IP-bakfæddar GSM-radióstöðvar úr einingum. Í dag er þetta fánleg hilluvara.

En þetta bauð heim tilraunum með mismunandi aflstig í ofangreindum tilgangi. Við beittum einni og sömu lágafllstöðinni (exciter) við öll skilyrði, en bætum við hana mismunandi sterkum aflstigum eftir því sem við átti. Myndir 3.13 og 3.15 sýna tilraunir með mismunandi aflstig. Flestar tilraunir á Öxnadalshéiði voru gerðar með 2W aflstigum sem í öllum tilfellum nægðu þó veðuraðstæður væru ekki alltaf upp á sitt



Mynd 3.12 Tveggja rása IP-bakfædd grunnstöð sem notuð var til tilrauna á Öxnadalshéiði.

besta, en 5W gáfu æskilegan umframstyrk sem kemur til góða í verstu tilfellum. Aflþörf á hverjum sendistað reyndist að jafnaði um 60 W og afkastaði orkuöflunareiningin á mynd 3.13 að jafnaði tvöfaldr þeirri þörf.

3.3.4.3 „Sjálfbærar“ grunnstöðvar

Af ofangreindri lýsingu á „sjálfbærum“ radióstöðvum sniðnum að heiðarvegadæminu er augljóst að tilraunir með orkusparandi radióstöðvar og lágmarks aflþörf sem unnt var að komast af með var miklivægur þáttur í heildardæminu. Æskilegt væri að komast að „bestri“ málamiðlun í þessu efni fyrir allar aðstæður í heiðarvegadæminu og fjöldaframleiða „sjálfbæra“ sendistöðvar samstæðu sem nota mætti fyrir öll tilfelli.

Þær niðurstöður sem fengust leiddu til grófhönnunar „sjálfbærrar“ sendistöðvar í einu mastri. Þetta er lágmarks mannvirki, með sem minnstu vindfangi og auðvelt í uppsetingu á fjöllum. Þessar radióstöðvar eru „sjálfbærar“ í þeim skilningi að þær sjá um sig sjálfar hvað snertir bakfæðingu og orku. Auk GSM-grunnstöðvanna og loftneta fela þær í sér örbylgjubakfæðingu og einingar til orkuöflur (vindrafstöð og sólarráflöður). Búnað sem þennan þurfti hvort sem var við tilraunir á Öxnadalshéiði.

Mynd 3.14 sýnir eina slíka á Öxnadalshéiði, sem hönnuð og notuð var til tilraunamælingar, enda færanleg og reisanleg með handaflí. Á innskotsmyndinni 3.14 sést orkuöflunarbúnaðurinn betur. Hann umlykur sjálfa radióstöðina á einu og sama mastrinu.

Þessar „sjálfbæru“ grunnstöðvar geta þjónað sem fyrirmynd að fjöldaframleiðslu slíkra sjálfbærra sendimiðstöðva sem boðnar yrðu út til fjöldaframleiðslu, og gætu skipt sköpum hvað sparnað í uppbyggingu farsímakerfa á heiðarvegum og hálendinu varðar.

Aðrar og ítarlegri niðurstöður í þessu verkþætti má finna síðar í þessari skýrslu.

3.3.4.4 Breytt hönnunarviðhorf - Smáar „sjálfbærar“ IP-radióstöðvar

Eftirfarandi niðurstöður leiða til þess að smásellunetin reynast hagkvæm.

Á heiðum og í fjalllendi er það takmörkuð sjónlína meðfram vegi sem ræður því að sellur geta yfirleitt ekki orðið stórar (langar) nema að beitt sé radióendurvökum en það er óæskileg leið í öryggissímakerfi. Reynslan af tilraunum á Öxnadalshéiði, en mynd 3.8 er í líkingu við þær aðstæður, benti til þess að hagkvæmari og öruggari lausn í því tilfelli væru smærri og fleiri radióstöðvar með PMP-bakfæðingu fremur en að byggja á stórum grunnstöðvum með hámarks drægni og „holufyllingum“ á skuggasvæðum með hefðbundnum radióendurvökum.

Í smáselluneti eru grunnstöðvarnar (sjálfbæru radiósamstæðurnar) staðsettar á möstrum meðfram veginum. Framfarir í uppbyggingu bakneta (mesh-net) gera kleift að bakfæðinetinu sé einnig komið fyrir í þessum radiósamstæðum á sömu möstrum, þ.e. bakfæðinetið er að öllu leyti einnig meðfram veginum og



Mynd 3.13 Færanleg tilraunagrunnstöð á Öxnadalshéiði.

á sömu stöðum, sem gerir óþarft að fara hátt í hlíðar eða á fjallatoppa með bakfæðinguna, eins og tíðkast hefur. Þetta auðveldar allt viðhald og viðgerðir, sem eykur rekstraröryggið og hagkvæmni í rekstri.

Fjöldaframleiddar grunnstöðvareiningar koma einingarverðinu niður, lágmarka uppsetningar- og viðhaldskostnað, og sjá sjálfvirkt um bakfæðingu sem eykur á áreiðanleika og rekstraröryggi.

Í hnotskurn er það þ.a.l. þrennt sem gerir sjálffæðandi smásellunet hagkvæmara:

- Smáar orkusparandi radióstöðvar sem eru lagðar meðfram veginum, í stað þess að fara hátt í fjöll og langt frá veginum sem þyrfti að gera í seinna tilfallinu.
- Fjöldaframleiddar sjálfbærar sendistöðvar sem auðveldar eru í uppsetningu og viðhaldi.
- Sjálfvirk bakfæðing sem fer fram í sendisamstæðunum.

3.3.5 Tilraunir og kerfisprófanir á „vettvangi“

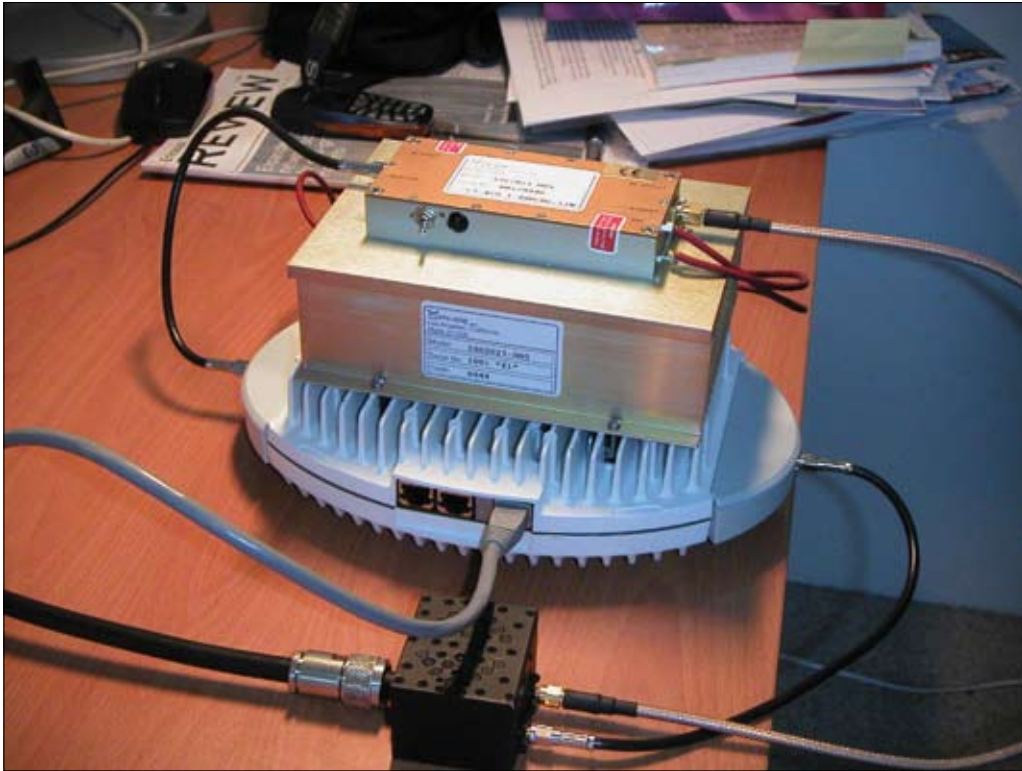
Að mestu leyti fóru tilraunir og prófanir innan þessa verkefnis fram á Merkja- og fjarskiptaverkfræðistofu Verkfræðistofnunar Háskólans (MFS) og í tilraunastöð hennar að Vatnsenda.

Eins og getið er áður, var ekki talin ástæða til að prófa hefðbundna tækni sem reynsla er fyrir hjá okkur. Þó að farið sé færri orðum um hana hér að neðan en þá nýju, má ekki túlka það sem einhliða áherslu á það nýja. Valkostir sem byggja á henni eru raunhæfir, en þá þarf að meta í samanburði við þá nýju.

Prófanir voru þ.a.l. ekki gerðar með TDM-bakfæddum radióstöðvum. Reynsla af einföldum endurvökum er einnig fyrir hér á landi og ekki talin þörf á að prófa þá frekar, að því undanteknu að einfaldur endurvaki var notaður sem aflstig (það aflmesta, 20 W) í tilraunum með IP-radióstöðvar. Að öðru leyti voru prófanir framkvæmdar á sviðum IP-símstöðvartækni, IP-örbylgjubakfæðinga og með IP-radióstöðvum. Auk þess var þessi IP-tækni pófuð sem GSM-farsímakerfi í heild.

3.3.5.1 Prófanir með IP-símstöð

Eins og fram kemur í umfjölluninni um miðlægan kjarna framtíðarkerfa hefur hann samkvæmt nýju stöðlunum þrjú veigamikla hluta. Gátt sem tengir kerfið við hefðbundna símakerfið, jaðarþjón sem annast viðskiptin við radióhlutann og farsímana og miðlægan þjón sem annast samskiptin við þetta tvennt og þjónustuna sem kerfið veitir. Símsstöðin sem beitt var hafði þessa þrjú þætti sem voru prófaðir áður en lengra var haldið, þó að minnst hafi verið lagt upp úr miðlæga þjóninum (þ.e. þann sem varðar notkunarþjónusturnar) í þessu tilfalli. IP-símstöðin var búin símagátt sem brúaði yfir á almenna símakerfið. Gáttin tengdist ISDN-símakerfinu með grunntengingu (BRI); tók hefðu verið á að tengja hana stofntengingu (PRI) hefði þörf verið á, eins og algengt er við fyrirtækjasímstöðvar. Jaðarþjóninn annaðist radióstöðvarnar sem biðlara í tölvuneti því þær voru IP-bakfæddar.



Mynd 3.14

3.3.5.2 Prófanir með IP-bakfæðingu

Prófanir með IP-örbylgjubakfæðingu sem slíka, umfram það sem kemur fram að ofan í prófun kerfisins í heild, fól m.a. í sér þýðingarmikla tilraun, þar sem GSM-símtöl voru flutt yfir tvo leggi í langlínubakfæðingu. Hér var notuð sú IP-örbylgjutækni sem valin var til langlínusambanda (sbr. lið 1.7.2). Þetta samband svarar til u.þ.b. 140 km vegalengdar, sem næði úr byggð upp á mitt hálendið. Það fékkst með því að keðjutengja tvö örbylgjusambönd sem svara til 70 km í drægni hvort fyrir sig. Að sjálfsögðu voru endapunktur þessarar keðjutengingar ekki í þessari fjarlægð í tilrauninni, heldur var farið fram og til baka yfir styttri vegalengdir. En það breytir engu, því að tafir í landföstum kerfum eru að nær öllu leyti í endabúnaði sambandanna, hverfandi lítið sökum útbreiðsluseinkunar örbylgjunnar á milli þeirra.

Önnur mikilsverð reynsla, sem þessar tilraunir höfðu í för með sér, var sú að þau örbylgjuloftnet sem beitt var, og duga fyrir þessar vegalengdir, eru mun léttari, minni um sig og hafa minna vindfang en örbylgjuloftnet sem beitt hefur verið á sambærilegum vegalengdum í hefðbundinni bakfæðingu. Þessi loftnet henta augljóslega fyrir viðáttumikil svæði eins og Mývatnsöræfi.

Í vettvangsmælingum á Öxnadalsheiði var þessum langlínuloftnetum beitt til bakfæðingar úr byggð inn á svæðið, með ágætum árangri, en vitað var fyrir, frá mælingum að Vatnsenda, að þeim væri ofaukið á ekki lengri vegalengdum en þar eru.

Í tilraunaskyni voru mun minni panel-loftnet prófuð til bakfæðingar inn á heiðina, sem reyndust fullnægjandi á ekki lengri vegalengdum en þarna eru (sjá neðar).

Prófanir á „point-to-multipoint“ bakfæðingu IP-radíóstöðva er nauðsynlegt að gera umfram það sem tók voru á í þessu verkefni, en búnaður til þess var af mjög skörum skammti í upphafi árs 2003. Á árinu 2005 er komið fjölbreytt úrval af MPM-bakfæðibúnaði á markað. Í ljósi reynslunnar af mælingum á Vatnsenda fyrri hluta sumars og útreikningum sem byggðust á þeim, voru einnig gerðar tilraunir á Öxnadalsheiði með mun minni panel-loftnet (þ.e. með minni mögnun en breiðari geisla), bæði fyrir bakfæðingu inn á heiðina úr nærliggjandi byggð að fæðistöð í hlíð Selfjalls (8 – 12 km) og þaðan innan heiðar á styttri vegalengdum. Með óbreytt sendiafl reyndust þessi loftnet mjög vel fyrir þessar vegalengdir og það jafnt við slæmar útbreiðsluáðstæður fyrir örbylgju (rigningu og snjókomu á köflum, því að farið var að hausta þegar þessar tilraunir voru gerðar).



Mynd 3.15 Orkuöflun fyrir grunnstöðvar.

3.3.5.3 Prófanir með IP-tengdar sjálfbærar sendistöðvar
Skýrt hefur verið frá umbreytingum radióstöðva fyrir IP-fæðingu, sem fólu í sér ýmsar prófanir áður en lagt var af stað með þær í kerfisprófanir. Þáttur IP-radióstöðva í kerfisprófunum í heild var einnig stór.

Áð öðru leyti beindust prófanir með radióstöðvar að því sem hér er nefnt „sjálfbærar sendistöðvar“, og er þá átt við einingar sem væru sjálfum sér nægar hvað snertir orkuöflun fyrir GSM-grunnstöðina og örbylgjusambandið sem bakfæddi hana. Þessar prófanir beindust því að finna lágmarks heildarþörf afls sem unnt væri að komast af með á hverjum stað. Og að þeirri spurningu, hvort hagkvæmar litlar og rekstraröruggar orkuöflunareiningar (úr vind- og sólarorku) sem finnast á markaði myndu nægja? Það síðarnefnda leiddi einnig til prófana sem þó hvergi nærri var unnt að leiða til lykta innan þröngs ramma þessa verkefnis.

3.3.5.4 Kerfisprófanir á Valkosti 3 í heild

Að undangengnum prófunum með einstaka hluta þessa kerfis var það prófað sem GSM-kerfi í heild. Að undangegnum ítarlegum könnunarleiðangri miðsumars, voru tveir leiðangrar gerðir út undir

haust norður á Öxnadalshéiði, til mælinga og prófana á kerfinu í heild við raunverulegar aðstæður. Við prófanir á Öxnadalshéiði tengdist GSM-farsímakerfið fastlínu-símakerfinu ýmist á efstu bæjum í Norðurárdal eða Öxnadal, með ágætum árangri.

Í báðum tilfellum, þegar talast var við á milli farsíma innan kerfis og þegar hringt var út úr kerfinu, í fastasíma landlínakerfisins eða farsíma í öðru kerfi, voru talgæðin þau sömu og gerist í öðrum farsíma-kerfum. Sömu talgæði fengust milli farsímataekja innan kerfis og við hringingar út úr því norður á miðri Öxnadalshéiði. Radiónetið var í því tilfelli bakfætt með IP-örbylgjusambandi við IP-símstöðina ofan af héiði, en IP-símstöðin tengd við IDSN-kerfið, ýmist að Fremri kotum í Norðurárdal eða á Engimýri í Öxnadal.

3.4 Ýmis hagkvæmnisatriði í hefðbundinni uppbyggingu

Í þessum kafla er horft á viðfangsefnið frá sjónarhóli 2. kynslóðarkerfa. Hann fjallar um niðurstöðurnar sem fengust í einstökum ofangreindum prófunum og tilraunum með það í huga hvort þær gætu leitt til endurbóta, sparnaðar og hakvæmisauka þó hefðbundin leið sé farin. Að fara hefðbundna leið kann að sjálf-sögðu að vera praktískt fyrir þann sem nú þegar hefur lagt mikið undir í 2. kynslóðartækni.

Í ljósi tækniframfara er svigrúm til umtalsverðra breytinga frá hefðbundnum leiðum, sem leitt gætu til sparnaðar og aukinnar rekstarhagkvæmni í heiðarvegakerfum. Þeir kostir sem þessu eru samfara geta að mestu leyti nýst óháð því hvaða valkostur með hefðbundnu tækninni yrði fyrir valinu.

3.4.1 Endurskoðun símsstöðvarinnar í hefðbundinni uppbyggingu

Í Valkosti 2 er gert ráð fyrir svæðissímstöð af hefðbundinni gerð, þ.e. rofa-símstöð. Það færast í aukana í dag að símsstöðvar í hefðbundnum símakerfum séu svonefndar „mjúk-símstöðvar“ innvortis (soft switches). Þetta er gert í einu tilfelli (mér vitanlega) hér á landi sem er ámóta við Valkost 2. Þessar „mjúk-símstöðvar“ eru IP-símstöðvar með einum eða öðrum hætti, og þær nýjustu eru í samræmi við nýju staðlana sem rætt er um í kafla 3.3 hér að framan. Ef Valkostur 2 væri á döfinni væri kostur að nota IP-símstöð, þó kerfið sé að öðru leyti byggt upp með 2. kynslóðartækni. Þær ættu ekki að vera dýrari í innkaupi og þær eru „opið“ kerfi frá sjónarhóli forritunar, og ættu því að vera hagkvæmari í rekstri og aðlögunarhæfari. Þetta hefur afgerandi áhrif á þjónustumöguleika. Tök væru á að bjóða margar af þeim tegundum þjónustu sem ræddar eru í 3.5.1 hér að aftan.

3.4.2 Endurskoðun á hefðbundinni bakfæðingu

Eitt það fyrsta sem tekið var til endurskoðunar með aukna hagkvæmni í huga var hefðbundin bakfæðing GSM-farsímakerfa. Í bakfæðingu farsímakerfa er róttæk breyting framundan samfara 3 kynslóð farsímans sem farið er að byggja upp víða og viðleitni til samræmingar við bakfæðingu eldri GSM-kerfa viðhöfð.

Við mælingar og prófanir með baknetstækni fengust ýmsar árangursríkar niðurstöður sem yrðu einnig til bóta þó að uppbygging heiðarvegakerfa yrði framkvæmd á hefðbundinn hátt. Þeim má beita til sparnaðar í stofnkostnaði í dag, óháð því á hvaða stigi kerfið er sem er fyrir. Unnt er að beita IP-bakfæðingu þó svo að kerfið sé byggt upp að öðru leyti sem 2. kynslóðar GSM-kerfi.

Í einu slíku tilfalli (mér vitanlega) er þetta gert hér á landi. Hefðbundin stjórnstöð fyrir radióstöðvar (BSC) er staðsett á Akureyri og ein af þeim radióstöðvum (BTS) sem hún stjórnar er staðsett í Reykjavík og notuð þar við prófanir á kerfinu. Báðar einingar eru búnar út með endabúnaði sem gerir kleift að samskipti þeirra geti farið yfir almanna gagnanetið eins og um tvær tölvur á Internetinu væri að ræða. Þess má einnig geta að símsstöð þessa kerfis, sem er „mjúk-símsstöð“ er staðsett í Reykjavík, vegna hagkvæmra tenginga við útlönd. Síðasta GSM-radióstöðin sem tengd var við þetta annars hefðbundna GSM-farsíma-kerfi er IP-bakfædd grunnstöð, staðsett á Húsavík og er hún tengd beint við IP-símsstöðina í Reykjavík með almennri ADSL-tengingu yfir Internetið. Þarna er komin í notkun sama tæknin og gerðar voru tilraunir með á Öxnadalsheiði í þessu verkefni og kafli 3 fjallar um.

3.4.2.1 Um hefðbundna bakfæðingu radióstöðva

Í dreifðum GSM-kerfum sem byggð eru upp með hefðbundnum hætti eru radióstöðvarnar yfirleitt fjarri BSC-stjórneiningunni og þörf á bakfæðingu á milli þeirra yfir langar vegalendir. Ljósleiðarar grunnkerfisins sjá um þetta mest af vegalengdinni, en þar sem þeir ná ekki til, eins og í dreifbýli og á fjöllum, er notast við örbylgju fastasambönd.

Í hefðbundinni örbylgjubakfæðingu fyrir GSM er notast við flutningsform sem á rætur að rekja til langlínakerfa í fastanetinu sem komið er nokkuð til ára sinna. Þetta eru taktbundin háhraðasambönd sem greina má niður í undirrásir með tímafjölrásun en heildarafköst örbylgjusambandsins er óbreytt. Þau henta vel víða í þéttbýli þar sem afköst þeirra nýtast að fullu og umferðamagnið réttlætir kostnaðinn, og ekkert vandamál er að ná til rafmagns.

Þau hafa til skamms tíma verið eini valkosturinn ef um hefðbundna uppbyggingu radiókerfisins er að ræða, og stafar það af flutningsforminu sem eingöngu hefur verið notað á milli BSC-stjórneiningarinnar og radióstöðvanna. Þessi taktbundnu örbylgjusambönd eru vel þekkt og reynsla af þeim mikil hérlandis.

En þessum taktbundnu örbylgjusamböndum fylgja ýmsir ókostir í tilfalli heiðarvegakerfa. Þau þekkjast eingöngu sem sambönd frá „einum punkti í annan“ (PtP: Point-to-Point).

Í fjalllendi þar sem sjónlínur á vegasvæðum eru stuttar, t.d. á Öxnadalsheiði, og þarf að bakfæða úr byggð röð radióstöðva meðfram veginum. Skársta leiðin með PtP-sambandi sem þessu er að „raðtengja“ á milli þeirra, þó svo að „keðjutenging“ sé ekki góður kostur í öryggiskerfi. Að bakfæða sem flestar radióstöðvar frá einum punkti er góð hugmynd. En að ætla sér að gera það með PtP samböndum þá missir það marks, það þarf sér sendi og loftnet fyrir hvert samband frá þessum miðjupunkti. Eykur þetta stofnkostnað og rekstrarkostnað.

Þessi taktbundnu sambönd skalast illa niður, eins og sagt er, og afkastagetu þeirra er yfirleitt ofaukið í tilfalli heiðarveganna. Unnt er að fjölrása þau í tíma (TDM) í fleiri og hægengari sambönd, eins og áður sagði, en það breytir litlu með sparnað í stofnkostnaði og orkuneyslu. Það síðarnefnda er viðkvæmt mál í heiðarvegakerfum þar sem engin tök eru á að „komast í rafmagn“. Á Öxnadalsheiði má t.d. sjá að sökum skorts á rafmagni er beitt í fjarskiptasambandi örbylgjuspegli (málm-spegli) hátt í fjalli. Það hefur reynst mjög takmörkuð og ótrygg lausn þegar snjócoma og ísing sest á slíkan málmpegil á vetrum.

3.4.2.3 Bakfæðing radióstöðva með IP-örbylgjusamböndum

IP-sambönd eru yfirleitt taktfrjáls (asynchro), eða fylgja sínum eigin takti. Þegar pakkasending er á ferð, þá má lesa þann takt úr upphafsbitarunu í ramma þeirra á greinarlagi. Viðtæki sem bindur sig við slíkt hefur ekkert upp á að hlaupa ef eyður koma á milli nema innri klukku sem heldur takti frá því að síðasta sending kom. Þetta nægir fyrir umferð á GSM-samböndum sem fara fram innan einnar sellu á meðan sambandið varir, en ekki nóg þegar afhenda þarf símtalið frá einni sellu til annarrar. Þetta er ástæðan fyrir því að IP-samböndum til bakfæðingar í GSM-kerfum hefur ekki verið beitt lengst af. Í IP-bakfæddum EDGE og UMTS-radióstöðvum er til stöðluð lausn á þessu en í GSM ekki; þar hafa fyrirtæki sem sinna þessu farið sínar leiðir. Við beittum einni þeirra.

Kosturinn við IP-örbylgjubakfæðingu er margs konar. Þau eru þegar orðinn mun ódýrari en hefðbundnu taktföstu samböndin. Auðvelt er að skala þau til í afköstum (sníða stakk eftir vexti) og þ.a.l. einnig að draga úr aflþörf þeirra. Þau fást sem sambönd frá „einum stað til annars“ (point-to-point) sem og frá „einum stað til margra“ (point-to-multipoint). Það síðarnefnda er áhugaverð viðbót varðandi heiðarvegadæmið, því að með þeirri tækni er unnt að fara frá keðjutengdum „leggjum“ yfir í „stjórnu-net“ í bakfæð-

ingu til aukins öryggis og hagkvæmni, og þá ekki síður möskvanetin sem gera kröfu til PMP-tenginga og fjallað er um í viðauka 3.5.4.

3.4.2.4 Langlínubakfæðing og bakfæðing innan svæða

Þau IP-örbylgjusambönd sem finnast í dag, má í grófum dráttum flokka í tvennt eftir þeirri mótunartækni sem er beitt. Annars vegar er mótunartækni sem hefur sérstaka eiginleika til að vinna með veikum merkjum í suði (nefnd DS-SS: Direct Sequence Spread Spectrum). Þetta er góður eiginleiki í PtP-langlínusamböndum þegar merkið þarf að fara yfir langar vegalengdir við slæm útbreiðsluskilyrði. Sá búnaður sem við prófuðum og beittum hafði flutingsafköst um 10 Mb/s á hverja rás, miðað við 70 km vegalengd. Til eru PMP-sambönd með þessari aðferð og eru þau mjög hagkvæm sem aðgangstækni í dreifbýli (sem ekki er frekar til umræðu hér).

Hins vegar er um mótunartækni að ræða sem er auðkennd með skammstöfuninni COFDM (Code Orthogonal Frequency Division Multiplexing), og byggir á fjölda undirburðartíðna. Eðlislægir eiginleikar hennar gefa henni um fimmföld afköst á við hina, en að vissu leyti á kostnað drægni. Hún þekktist bæði sem PtP- og PMP-tækni. Í PtP-samböndum gefur hún í dag um 50 Mb/s á hverja rás á um 25 km vegalengd. Í PMP-samböndum gefur hún sömu afköst sem deilast á fleiri notendum á 3–5 km vegalengdum, það er í sellum af þeirri stærð. Fyrirsjáanlegt er að þessi afköst munu aukast a.m.k. fjórfalt á næstu árum með tilkomu fjölvegstækni sem nefnd er MIMO (multiple input multiple output) og beitingu fullkomnari tækni við villuleiðréttingar á hverju slíku viðbótarsambandi (Turbo-blokkkóðun). Með MIMO-tækni er unnt að setja upp fleiri en eitt samband í senn á einni og sömu burðartíðninni. Það er gert með hjálp fleiri en eins loftnets bæði á sendi og viðtökustað og er afkastaaukningin allt að því í beinu hlutfalli við fjölda loftneta og þá kóðamögnun sem fæst með TBC.

Þörfin fyrir IP-örbylgjusambönd í heiðarvegadæminu er annars vegar fyrir PtP-langlínubakfæðingu inn á svæði og hins vegar fyrir PMP-sambönd innan svæða.

Fyrir IP-langlínusamböndin í tilraununum sem gerðar voru, var kerfi valið með DSSS-mótunartækni (sjá mynd 3.11). Sá búnaður sem prófaður og notaður var hafði tvíátta 10Mb/s afkastagetu og hentaði fyrir vegalengdir um og yfir 70 km. Þetta nægir fyllilega í heiðarvegadæminu, því að umferðarpungi verður þar ekki mikill.

Til prófana á PMP-bakfæðingu yfir styttri vegalengdir innan svæðis var valin COFDM-tækni (sjá mynd 3.11). Hún gefur okkur hlutfallslega mikil afköst, en hefur engu að síður ágæta eiginleika við slæm skilyrði. En í þessu tilfelli er beðið um meiri flutningsgetu en ella innan svæðis, af því að í „point to point“ bakfæðingu eru margar radióstöðvar bakfæddar frá einum fæðispunkti yfir samnýtta rás. Þessi samnýtta rás þarf að hafa afkastagetu (flutningsgetu) til að annast allar radióstöðvarnar í senn.

Ef dæmi er tekið til skýringar af 5 radióstöðvum sem þyrftu að jafnaði 2 Mb/s tvíátta flutningsþörf hver, þarf fæðistöðin að hafa afkastagetu sem nemur a.m.k. 10 Mb/s. Hún útvarpar samböndum sínum í flutningsþökkum merktum IP-tölum viðtakenda niður á allar stöðvarnar í senn, en hver radióstöð tekur aðeins við þökkum merktum sinni IP-tölu. Þessi IP-tækni er ekki ný, hún hefur reynst ágætlega í gagnasendingum með stafrænni sjónvarpstækni. MFS (Merkja- og fjarskiptaverkfræðistofa H.Í.) hefur gert tilraunir og prófanir með OFDM-tækni lengi, svo að það er ágæt reynsla fyrir hendi hér á landi.

Með þessari tækni senda radióstöðvarnar hins vegar sín boð upp til fæðisstöðvarinnar hver í sínu tímahólfi, sem fæðisstöðin úthlutar þeim í sameiginlegum tímaramma sem hún býr til og stjórnar tíma-setningu á. Til samans hafa þær sömu bandbreidd og útvarpsrásin niður, sem þær deila sín á milli, svo að í ofangreindu skýringardæmi hefðu þær flutningsafköst sem að jafnaði svaraði til 2Mb/s hver. Þetta er sama tækni og beitt verður í WiMAX, sem er þráðlaus breiðbandstækni sem mun ryðja sér rúm á næstunni og er mörgum tíðrætt þessa stundina.

Unnt er að beita þessari bakfæðitækni í öllum þremur valkostunum sem þetta verkefni fjallar um. Hún nýtist best í valkosti hreinna IP-kerfanna (Valkosti 3), þar sem IP-símstöðina velur radióstöðvarnar milliliðalaust yfir PMP-tengingu örbylgjukerfisins á grundvelli IP-talna sem þær hafa. Sú leið var prófuð í þessu verkefni og reyndist mjög vel.

IP-bakfæðingu má einnig beita í dag í GSM-kerfum sem lúta hefðbundinni grunnuppbyggingu, eins og í Valkosti 1 og Valkosti 2. Til er búnaður frá nokkrum aðilum sem sniðinn er að því. Það er gert á þann hátt að TDM-skeytin á milli BSC-stjórnendingarinnar og hefðbundinna GSM-radióstöðva eru sett sem gögn í flutningshluta IP-pakkans í bakfæðikerfinu, hann er notaður sem umlykja (IP-encapsulation). Gert er ráð fyrir búnaði á báðum endum bakfæðikerfisins sem annast þessa formbreytingu og sér um taktbindingu. Þetta gerir kleift að tengja hefðbundnar GSM-radióstöðvar við BSC-stjórnstöðvar yfir IP-örbylgjusambönd. Reynsla er fyrir hendi af þessari aðferð hér á landi, og var því ekki talin ástæða til að prófa hana frekar

innan ramma þessa verkefnis og ef símsstöð hefðbundna farsímakerfisins er „mjúk-símsstöð“ eins og í tilfellinu hér á landi sem minnst er á í lok inngangsins 3.4.2 hér að ofan, má blanda saman hefðbundnum grunnstöðvum og nýjum IP-bakfæddum GSM-grunnstöðvum og bakfæða þær síðarnefndu beint frá símsstöðinni yfir Internetið og ADSL.

3.4.3 Atriði varðandi radióstöðvar

3.4.3.1 Kröfur

Radíóstöðvarnar eru aðgangshluti farsímakerfisins, sá hluti sem snýr að notendabúnaðinum, og hann verður því að starfa á hefðbundinn hátt svo lengi sem þorri notendabúnaðar er hefðbundinn GSM-farsími.

En hvaða kröfur umfram það er rétt að gera til radióstöðva í nýju kerfi sem verið er að stofna til í dag? Það er tvímælalaust GPRS yfir EDGE. Í viðauka 3.5.1 hér að aftan sem fjallar um æskilega þjónustu sem heiðarvegakerfin ættu að bjóða, er fjallað um þetta og er vísað til þess hér.

3.4.3.2 Stærð radióstöðva

Nauðsynlegt sendiafl og þar með lágmarksstærð radióstöðvar sem unnt er að komast af með ræðst m.a. af stærð þeirrar sellu sem á að þekja. Á flatlendi getur verið hagkvæmt að teygja stærð sellu upp í hámarksstærð, sem leiddi af sér hærri sendimöstur og meira sendiafl en ella. Í GSM er hámarksstærð sellu takmörkuð við svonefndan „fram og til baka“ tíma, en það er samanlagður tími þess sem tekur merki að fara frá radióstöð til farsímatækis úti í jaðri hennar og svarmerki að koma til baka. Þessi umferðartími svarar í vegalengd rúmlega 30 km í óbreyttu GSM-kerfi.

Á svæðum þar sem umferð er mjög lítil að jafnaði, er þeirri tækni stundum beitt að úthluta til notkunar aðeins öðru hverju tímahólfi í átta hólfa sendiramma GSM-kerfisins. Á þennan veg er unnt að tvöfalda stærð sellunnar í u.þ.b. 60 km frá sendistöð (þ.e. 120 km heildarlengd línulegrar sellu meðfram vegi). Það sem hér er takmarkandi er veikt merki til baka frá handtæki úti í jaðri svo stórrar sellu, en reynt er að koma til móts við það með aukinni mögnun (næmni) í loftneti radióstöðvarinnar. Yfir sjó þekkist jafnvel að úthluta aðeins 1. og 5. hólfi í rammanum og ná 120 km út á haf, en þar kemur til, að sendiafl GSM-radíóendurvaka um borð í skipi er ekki sömu takmörkunum háð og lítið handtæki úti í jaðri stórsellu. Í viðauka 3.5.3 er vikið að nýjum kerfum á 450 MHz sem er sú tíðni sem NMT-kerfið er á í dag. Þetta yrðu mjög hagkvæm kerfi til að þekja stór svæði.

Á þeim heiðarvegasvæðum sem voru könnuð í þessu verkefni, þ.e. Öxnadalshéiði, Steingrímsfjarðarheiði og Mývatnsöræfum (tvö þau síðarnefndu mjög lauslega þó) gildir hins vegar annað. Sellur geta yfirleitt ekki náð hámarksstærð sökum takmarkaðrar sjónlínu. Unnt er að teygja stærð sellu út yfir sjónlínu með einföldum radióendurvökum, en það er ekki æskilegt að beita þeim í öryggiskerfum (sbr. næsta lið).

Sökum fjöldans vegur kostnaður við radióstöðvar og bakfæðingu þeirra þyngst í heildarkostnaði við heiðarvegakerfin. Þungt á metunum er einnig aflþörf á hverjum sendistað, því að orku þarf að framleiða á staðnum. Af þeim ástæðum var farið í saumana á bakfæddum radióstöðvum sem gáfu hámarks örkunýtni, með sjálfbærar sendistöðvar á fjöllum í huga. Kostnaður við radióstöðvar fer eftir styrk og flutningsafköstum (þ.e. fjölda burðartíðna), en hvoru tveggja er ráðið úr hönnunarskilyrðum á gefnum stað.

Hefðbundnar GSM-radíóstöðvar, eins og reikna má með í valkosti 1 og 2, eru vel þekktar í tæknilegu og kostnaðarlegu tilliti og ekki talin ástæða til að kanna þær eða prófa þær hér. Hér var þó ein undantekning gerð, radióendurvakar á hefðbundnu formi í nýjustu útgáfum þeirra, nefndir tíðnibreytandi og sjálffæðandi endurvakar, voru kannaðir ítarlega (sbr. næsta lið).

Hins vegar gerir Valkostur 3 ráð fyrir IP-bakfæddum radióstöðvum og voru gerðar ítalagar tilraunir með þeim. Í tilraunum á Öxnadalshéiði reyndist hagkvæmt með þeirri tækni sem beitt var að hafa sellurnar fleiri og minni (orkunægjusamari og ódýrari) en stærri og færri, og jafnvel láta þær skarast í öryggisskyni. Og bakfæða þær með IP-samböndum frá einum punkti í marga („point-to-multipoint“), frekar en að keðju-tengja í bakfæðingu.

3.4.3.3 Radióendurvakar

Radíóendurvakar eru hefðbundin tækni sem hefur verið beitt hér á landi. Þeir þurfa ekki bakfæðingu eins og radióstöðvarnar. Þeir taka við merkjunum, annars vegar frá radióstöðinni og hins vegar frá farsímunum og endursenda þau í sitt hvora áttina. Þeim er beitt til að teygja geislunarsvið frá gefinni radióstöð upp í hámarks fjarlægð sem tæknin leyfir (rúml. 30 km), ef holt og hæðir takmarka sjónlínu svo langt. Beiting þeirra er takmörkunum sett. Ef radióstöðin (móðurstöðin) dettur út er endurvakinn óstarfhæfur líka, þ.e. sellan verður óvirk í sinni hámarksstæð. Frá öryggissjónarmið eru þeir þ.a.l. ekki sterkur hlekkur.

Endurvakar af einföldustu gerð magna upp það sem þeir nema frá grunnstöðinni og senda áfram á sömu tíðni, þ.e. þeir endurvarpa „fyrir horn“, ef svo mætti að orði komast.

Endurvarpinn kemur í staðinn fyrir grunnstöð sem annars þyrfti að setja upp á staðnum. Hann er ámóta dýr og lítil grunnstöð, en það sem við þetta sparast er örbylgjubakfæðing til grunnstöðvarinnar.

Endurvakinn hefur næmt viðtæki með loftneti sem snýr að móðurstöðinni og hlutfallsega sterkur sendir með loftneti sem snýr að skuggasvæðinu. Þar sem endurvakinn og móðurstöðin senda á sömu burðartíðni, má endurvakinn ekki geisla inn á svið móðurstöðvarinnar svo að geislinn blandist geisluninni frá henni með þeim fasamun sem óhjákvæmilega verður þeirra í milli. Eintíðnisendar ráða ekki við slíka blöndu. Í hliðrænum sjónvarpskerfum kemur þetta t.d. fram sem vel þekktur draugagangur í myndefni, en þar er endurvarpinn oftast endurkast frá nærliggjandi stórhýsum. Einnig má sendir endurvakans ekki geisla inn í viðtækið sitt, því að þá er hann kominn í vítahring; hann endurverkur þá sína eigin útkomu frekar en veikt merki frá móðurstöðinni. Að einangra áhrifin á milli hlutfallslega sterks sendis og næms viðtækis á sama mastrinu er erfitt. Þessi tækni, þó henni hafi mikil verið beitt, hefur því alla tíð haft sín takmörk.

Þróun á þessu sviði hefur átt sér stað í seinni tíð. Í fyrsta lagi finnast endurvakar sem endurvarpa á annari tíðni en móðurstöðin („tíðnibreytandi endurvakar“). Þeir eru hannaðir til að draga úr þeim takmörkunum sem einfaldir endurvakar hafa. Þeir senda út á annri tíðni en þeir endurvarpa og trufla þ.a.l. ekki sendirásina sem matar þá ef þeir geisla inn á sama svið. En þeir eru dýrir. Í öðru lagi finnast „sjálffæðandi“ endurvakar en þeir taka frá hluta af tíðnisviði radióstöðvanna (og farsímans) til samskipta sín á milli („in band feeding“). Þá má flokka í tvo mismunandi starfshætti, þ.e. þeir sem fæða frá „einum til annars“ (PtP) og þeir sem fæða frá „einum stað til margra“ (PmP), sem er nýjasta þróunin á þessu sviði. Þetta var kannað niður í kjölinn því að hér er í raun á ferð viðleitni til að leysa sama vandamálið, með hliðrænni tækni á radió-burðarlagi, sem fengist er við með PMP IP örbylgjubakfæðingunni á svonefndu netlagi, eða IP-lagi, annars staðar í þessari skýrslu. En netlagið er fyrir ofan burðarlagið (eðlis- og greinaglag) í lagskiptingu netfræðinnar og merkin orðin stafræn. Niðurstaðan í samanburði þessara leiðar var sú að miklu vænlegra sé að takast á við bakfæðinetið í dag á IP-lagi, enda er það í samræmi við framtíðarstaðla. Að framkvæma hlutina á burðarlagi (radiólagi) var viðhorf sem ríkti skiljanlega áður en tölvutækni kom mikið til sögunnar í netfræðum.

En það er einn veigamikill kostur í sjálffæðandi endurvökum sem IP-bakfæðingin skilar ekki. Margir endurvarpar sem fæddir eru frá sömu móðurstöðinni eru allir innan sömu sellu. Í heiðarvegadæminu ættu samskiptin við farsímahandtæki sér því stað í senn yfir fleiri en einn endurvarpa meðfram veginum, að því gefnu að sjáist til þeirra frá handtækinu. Þetta þýddi að fleiri en ein viðtökustöð (loftnet) hlustaði á næmt merkið frá handtækinu á sama tíma, sem gæfi kerfinu augljósan ávinning í næmni (nefnt „diversity gain“). Og fleiri en ein sendistöð (loftnet) væri að senda farsímanum boðin frá kerfinu í senn (nefnt „simulcasting“), sem gæfi augljósan ávinning því farsíminn er á ferð eftir bugðóttum vegi í hæðóttu landi, og sjónlinur á þessi loftnet eru að fara og koma.

En þessa kosti er MIMO-tækninni sem fjallað er um annars staðar í skýrslunni að færa okkur í nútíma-mynd og meira til.

En þrátt fyrir þróun í radióendurvökum hafi átt sér stað, hafa allar tegundir þeirra þann óhjákvæmilega galla, að ef grunnstöðin í miðri sellu dettur niður (vegna eigin bilunar eða í bakfæðingu) detta allir endurvarpar einnig út, þ.e. þjónusta á öllu þessu útvíkkaða svæði fellur niður, sem ekki er æskilegur eiginleiki í öryggissímakerfi.

3.4.3.4 Radióstöðvar með IP-bakfæðingu í hefðbundinni uppbyggingu

Í hæðóttu landi (sjónlínur stuttar), geta litlar aflminni radióstöðvar en fleiri verið hagkvæmari lausn og miklu rekstraröruggari en radióendurvakar, ef unnt er að útfæra bakfæðingu til þeirra á betri hátt en gert hefur verið í hefðbundinni uppbyggingu farsímaneta. Öxnadalsheiðin, sem var eitt þeirra heiðasvæða sem skoðað var, er gott dæmi um svæði þar sem þetta á við. Smáar radióstöðvar með hagkvæmri bakfæðingu („point-to-multipoint“ IP-tækni) má því líta á sem mótvægi á móti radióendurvökum í hefðbundinni uppbyggingu.

Eins og komið hefur fram, verður IP-tækni ekki beitt í bakfæðingu nema að radióstöðvarnar séu væddar IP-tengingu. Hefðbundni tengistaðallinn milli radióstöðva og stjórnstöðvar þeirra, er ekki nákvæmari en svo, að framleiðendur hafa útfært hann hver á sína vísu. Afleiðingin er sú, að þegar byrjað er að kaupa frá einum framleiðanda verður ekki farið yfir í raðir hinna í vöruvali úr því (sbr. afleiðinguna af kröfunni um „færanleika“ fyrr í skýrslunni). Að þessu leyti má segja, að það bæti stöðuna að breyta þessu tengi yfir í IP-tengi, þó ekki væri fyrir annað en að opna fyrir valkosti!

En að öðru leyti en IP-tengingunni, verður sú gerð radióstöðva sem valin er, að lúta alþjóðlega GSM-staðlinum í hvívetna, því að radióhluti hennar verður að samræmast farsímataækjum sem almenningur hefur. IP-tengdar GSM-grunnstöðvar eru til á markaðnum frá nokkrum aðilum. Þeir hafa framkvæmt þessa tengingu hver á sinn hátt, því að stöðluð lausn fyrir GSM er ekki fyrir hendi. IP-tækni var ekki á dagskrá fyrir hartnær tveimur áratugum þegar grunnurinn að GSM-símanum var lagður. Staðlar 3. kynslóðarinnar gera m.a. ráð fyrir IP-forminu frá upphafi. IP-baktenging verður því ekki vandamál varðandi EDGE- og UMTS-radióstöðvar.

Til prófana í þessu verkefni notuðum við IP-tengdar GSM-radióstöðvar (myndir 3.13) með mjög litlu útgangsafla. Þær voru notaðar sem mótáttar og viðtæki („exciter“) í grunnstöð, þar sem við tengdum aflstigi við þær af mismunandi stærðum (mynd 3.15). Þessar IP-bakfæddu grunnstöðvar þjónuðu til mælinga á lágmarks aflþörf háð gefinni drægni.

3.5 Viðaukar

Í þessum kafla eru tekin fyrir mismunandi atriði sem borin hafa verið upp við undirritaðann á meðan á verkinu hefur staðið og falla ekki beint innan þess ramma sem settur var verkefninu í upphafi.

3.5.1 Æskileg fjarskiptaþjónusta á heiðum og hálendinu sem fengist með GPRS/EDGE

GSM-kerfið, þó þráðlaust og stafrænt sé, er hefðbundið símakerfi og talumferðinni stjórnað af rofa-símstöð eins og í fastlínukerfinu. Á síðustu árum hefur verið bætt IP-pakkaneti við GSM-kerfið, nefnt GPRS, og sjá tölvubeinar um að stýra umferðinni líkt og í örðum tölvunetum. GPRS er í raun sett upp við hliðina á GSM-talsímakerfinu. Þetta er sitt hvort kerfið að öðru leyti en því að þau nota sömu radióstöðina til samskipta við notendabúnaðinn.

Það er sjálfsagt að gera ráð fyrir GPRS í heiðarvegakerfinu, allur notendabúnaður seldur í dag tekur við GPRS forminu. IP-pakkanet getur stóraukið þjónustuhlutverk heiðarvegakerfa sem öryggissíma í óbyggðum. En gallinn er sá, að á 2. kynslóðar GSM-kerfum er GPRS enn of hægvirkt fyrir flest af því sem æskilegt væri að hafa. Það er GSM-radióhlutinn sem orsakar það.

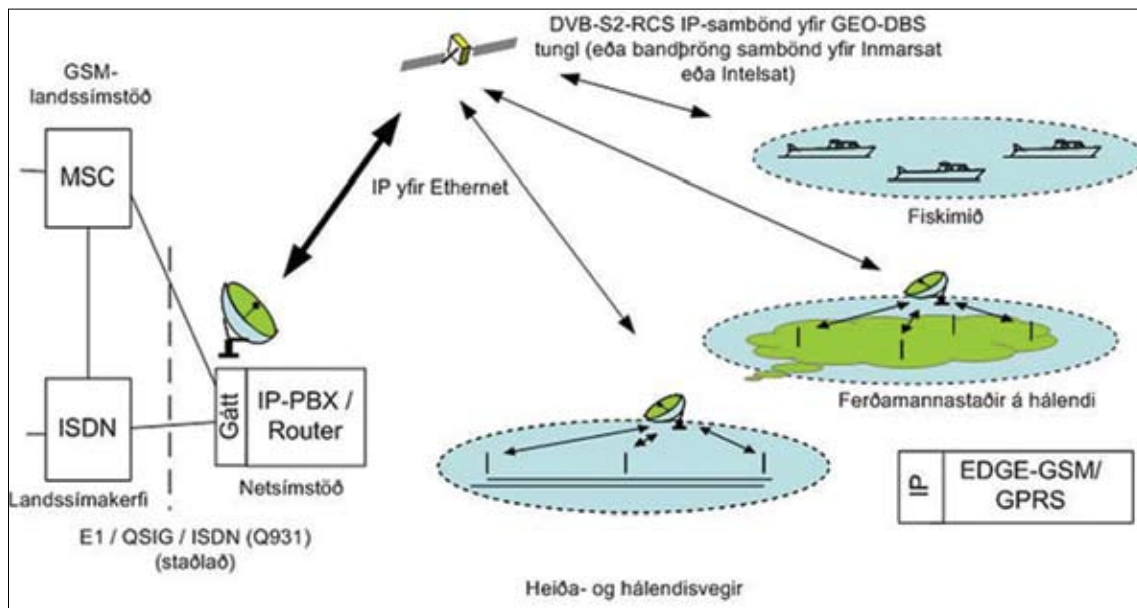
EDGE er ný mótunartækni sem finnst í nýjum GSM-kerfum og er þrefalt afkastameiri en mótunartækni í gamla GSM. Í heiðarvegadæminu gæti þetta þýtt minna kerfi fyrir gefin afköst þar eð álag verður aldrei mikið, sem leiðir af sér minni stofnkostnað, meiri rekstrarhagkvæmni og aukinn orkusparnað en í hefðbundnu GSM-kerfi fyrir sömu afköst. EDGE-kerfin eru samræmd hefðbundnu GSM, sem þýðir að þau geta einnig talað við eldri GSM-farsíma sem ekki hafa nýju mótunartæknina

EDGE tæknin getur flutt allar þær tegundir þjónustu sem á dagskrá eru í komandi 3. kynslóð farsímataekinnar (UMTS) að því gefnu að símstöðvarhlutinn (kjarninn) sé IMS, þ.e. skv. nýju stöðlunum sem fjallað var um í 3. kafla. Það er álit manna að 3. kynslóðin, a.m.k. í núverandi mynd, muni ekki ryðja EDGE í burtu, heldur muni EDGE dafna með UMTS kerfum, en 2. kynslóðar GSM-kerfin muni deyja út innan tíðar. EDGE muni henta í strjálbýli, en UMTS sem er þéttbýlistækni og miklu dýrari, sjá nánar í 3.5.4.

Sumir þjónustumöguleikarnir sem þessi nýja tækni býður upp á, eins og sjáfvirk gestaskrásetning („automatic visitor registration“), viðvistar- og staðsetningarþjónusta („presence- and location servers“), talskeyti og hópsamtöl („push-to-talk“), o.fl., eru tegundir þjónustu sem eru mjög þýðingarmiklar fyrir öryggissímakerfi á fjallvegum og hálendinu. Hefðbundna GSM-tækni sem við höfum búið við fram til þessa hefur þessa þjónustumöguleika ekki.

Dæmi um þýðingarmikla þjónustu í þessu sambandi er „hópsími“ sem er í líkingu við talstöðvarþjónustuna sem þekktist hér fyrr á árum. Á farsímum í dag nefnist hann „Push-to-Talk“ eða PoC (Push over Cellular). PoC er talflutningur á IP-pakkasamböndum sem býður upp á talskeyti og hópsamtöl.

Þetta er hluti af „all IP“ 3. kynslóðinni, svonefndur SIP-netsími sem gerir kröfu til viðvistar- og staðsetningarþjóns (presence/locations servers) sem eru einingar sem ræddar voru fyrr í skýrslunni varðandi IP-PBX símstöðvar og IMS. Farið er að setja þennan búnað upp á GSM-farsímakerfunum, við hliðina á símataekni 2. kynslóðarinnar, líkt og gert var við GPRS. PoC krefst EDGE viðbótarinnar til að vinna vel en missir marks á GSM að miklu leyti sökum þess að seinkanir eru of miklar. Millilausn í þessum efnem hefur skotið upp kollinum og nefnist „GSM-Trunking“, sem gefur ámóta þjónustu og PoC, með minni seinkunum á 2.kynslóðar GSM. Þessi lausn er byggð á hefðbundnum rofa-símstöðvum sem GSM-tæknin býr enn við. En „GSM-trunking“ er bráðabirgðalausn, það skortir marga veigamikla þætti sem IP-netið getur veitt.



Mynd 5.1 Bakfæðing í gegnum gervitungl (prófuð og raunhæf leið í dag).

Notagildi hópsímans eða PoC fyrir heiðarvegakerfi er augljóst. Í þeim efnum getum við tekið dæmi um björgunarsveit sem stundar leit á heiðarsvæðinu og beitir fyrir sig heiðarvegakerfinu. Varðandi köll innan svæðis, köll út og köll sem koma að utan, hefur stjórnandi sveitarinnar alltaf forgang fram yfir aðra í hópnum, og hópurinn getur haft forgang í heild umfram aðra símaumferð á heiðarsvæðinu. Stjórnandi sveitarinnar getur talað við allan hópinn í senn, ef tveir eða fleiri talast við getur restin af hópnum fylgst með o.s.frv.

Ef þorri vegfarenda verður kominn með búnað innan tveggja til þriggja ára, sem nýtt getur þjónustu eins og „viðvistar-umsjá“ („presence“), „tal-hraðskeyti“ (instant messaging), „hópsamtöl“ (push-to-talk) o.fl., er æskilegt að veita þessa þjónustu í heiðarvegakerfum ekki síður en í byggð. Hún er árangursríkari og þjónar meira öryggi fyrir vegfarendur á fjöllum en GSM-talþjónusta gerir nokkru sinni. En til þess þarf GPRS/EDGE viðbótina á GSM í heiðarvegakerfum. Ef ekki verður gengið til framkvæmda fyrr en 2006 eða síðar verða allir GSM-símar þá í sölu EDGE væddir og áætlað er að flestir hafi PoC.

3.5.2 Bakfæðing símakerfa á heiðum og hálendinu yfir gervitungl

Sérhannaðir gervitunglasímar hafa þekkt um hríð, en eru allt of dýrir fyrir almenn not. Hér snýst málið um að bakfæða símtöl fyrir GSM-síma yfir gervitungl á hagkvæman hátt, merkið er of veikt til að hinn almenni GSM-farsími geti numið það beint frá gervitunglum.

Bakfæðing fyrir GSM-kerfi yfir gervitungl bar á góma í kafla 3.3. Raunar hefur gefist tækifæri á MFS til að prófa þá tækni sem til þarf, en það varð að gera á jarðbundum miðli, ekki gafst tækifæri til að prófa hana yfir gervitungl. En það stendur til að gera. Endanleg niðurstaða er því ekki fengin á þessari stundu. Það sem þarf til varðandi flutninginn á talinu sjálfu, utan gervitungla-sambandsins, er að mestu leyti sú net-símtækni sem beitt var í Valkosti 3 í kafla 3.3. Varðandi stjórnun og stýriskipanir, sem búið er að skera niður í þessum lausnum miðað við jarðbundin GSM-kerfi, er þeim ábótavant ef ætti að beita þeim í hálendiskerfum; að svo komnu máli er ekki gert ráð fyrir afhendingu sambanda á milli sella. Það sem stendur í vegi fyrir hagnýtingu gervitungla-bakfæðingar í heiða- og hálendisssímakerfum er einna helst staða og kostnaður gervitunglasambanda fram til þessa.

Engu að síður hefur þessum bandþröngu rásum á fjarskiptatunglum verið beitt, t.d. til bakfæðingar GSM-kerfa í einangruðum þorpum fjarri þéttbýli í 3. heiminum og á skemmtiferðaskipum og snekkjum á hafinu.

Pau gervitunglasambönd sem notuð hafa verið eru bandþröngar rásir á Intelsat og Inmarsat tunglunum og hefur þurft umtalsverða og kostnaðarsama breytingu á flutningsformi GSM-samtalanna til að koma þessu við. GSM-tækni byggir á rúmlega tveggja áratuga gömlum grunni sem hentar ekki fyrir þetta. Hún er t.d. takbundin og myndi eyða dýru gervitunglasambandi í þögnunum milli þess sem er verið að tala, sem er vandamál sem auðvelt er að leysa með taktfrjálstri IP-tækni. Auk þess leyfir talgervill (codec) GSM-símans ekki taktfrjálst samband og gagnþjöppun hans er ekki sambærileg við það sem gerist best í net-símanum í

dag, t.d. G.729 VoIP talgervilinn sem notaður er í netsímstöðinni í kafla 3.3. Lausnin felst í stórum dráttum í því að talboðunum úr GSM-símanum er afþjappað, þeim þjappað á ný með G.729 talgervli og þau send yfir gervitungið sem streymandi gögn á flutningsformi sem kallast RTP/UDP/IP. En þetta er nákvæmlega sú tækni sem beitt er fyrir streymandi umferð í netsímanum í dag. Svo að lítið þarf til viðbótar því sem þegar er fyrir hendi í Valkosti 3 varðandi talumferðina. Viðbótin felst í því að meðhöndla stýriboðin fyrir GSM á svipaðan hátt og senda og gera kleift að afhenda samband sem er í gangi á milli sella meðfram veginum þegar þörf er á, en til þess þarf PMP-samband yfir gevitunglið (sjá 3.7: Skammstafanir og skýringar).

Mynd 5.1 lýsir þessu. Hún er að grunni til mynd 3.4 sem lýsti þeirri uppbyggingu sem átti sér stað í Valkosti 3 í kafla 3.3 en með þeirri breytingu sem á sér stað, yrði bakfætt yfir gervitungl. Á DBS-hnöttum með DVB-S2-RCS er um gagnvirk IP-breiðbandssamband yfir PMP-gervitungl að ræða (sjá 3.7: Skammstafanir og skýringar).

3.5.3 Um æskilegt tíðnisvið fyrir heiðarvegakerfi

Í viðræðum um heiðarvegakerfi er þeirri spurningu stundum varpað fram við undirritaðann hvort ekki þurfi að taka afstöðu til þess tíðnisviðs sem æskilegast væri fyrir heiðarvegafarsíma. Hér er höfð í huga sú langdrægni sem NMT-farsímakerfið er þekkt fyrir miðað við GSM. Það er almennt talið stafa af því að NMT sé á hentugra tíðnisviði fyrir lengri vegalengdir. Langdrægni NMT-kerfisins miðað við GSM kemur að vísu til hér á landi út af fleiru en tíðnisviðinu, en það er rétt að 450 MHz tíðnisviðið, þar sem NMT er, dofna minna með fjarlægð en 900 MHz, þar sem hluti af GSM er, og umtalsvert minna en 1800 MHz þar sem GSM er einnig. Alþjóðlega er GSM meira notað á 1800 MHz í dag, þar sem það hefur umtalsvert stærra tíðniband, þó að minni not af því séu enn á Íslandi. Varðandi endurnýjun GSM-kerfa, en elsti hluti þeirra er á 900 MHz, er mikið rætt um að nýta sér WCDMA-tæknina (UMTS) á 900 MHz. Í dreifbýli gæti 900 MHz UMTS-kerfi orðið allt að helmingi ódýrara en á 2,1 GHz þar sem UMTS-tækninni (þ.e. 3G) hefur verið ætlaður staður fram til þessa.

En svarið við spurningunni á hvaða tíðnibandi heiðarvegakerfin eigi að vera er að mati höfundar einfalt. Heiðarvegakerfin verða að vera á því tíðnisviði sem þorri farsímatækja neytenda er á. Ef byggt verður upp nútíma langdrægt kerfi á 450 MHz, þá mun það þjóna sama tilgangi og NMT-kerfið hefur gert, sem er sérhæft fyrir sumt okkar heimafólk, en dugar ekki til fyrir hinn almenna ferðalang á þjóðvegum, ekki síst erlenda gesti. Það eru nær engar líkur á að hinni almenni farsímabúnaður fyrir þéttbýlisnot muni starfa á 450 MHz.

Eins og víða kemur fram í þessari skýrslu er drægni meðfram heiðarvegum ekki vandamál á neinni af þeim tíðnum sem GSM er starfræktur á í dag, né 3. kynslóðarinnar sem í dag eru á 2100 MHz. Þess vegna mættu heiðarvegakerfin vera á 1800 MHz. Og í nýju GSM-kerfi er það frá kerfissjónarmiði hagkvæmara en á 900MHz, ekki síst ef um GSM-EDGE er að ræða. Farsímatæki í höndum almennings verða í auknum mæli þar sem nýju tíðniúthlutanirnar eru á þessu tíðnibili, þó að þau starfi svo lengi sem GSM-kerfið er við lýði á 900 MHz einnig.

En þetta á við um almennt farsímakerfi meðfram vegum. Ef að markmiðið væri að komast af með eitt farsímadreifikerfi meðfram vegum sem einnig gæti þjónað víðáttumiklum svæðum hálendisins og fiskimiðanna, vandast málið. Það er vissulega unnt að hanna ódýrara víðáttukerfi á 450 MHz en á 900 MHz eða á 1800 MHz. En hvað hefur hinn almenni vegfarandi í höndunum sem notendabúnað fyrir 450 MHz? Ekkert og ekki séð fyrir breytingu á því.

Þessari umræðu blandast einnig umræðan um arftaka NMT-kerfisins. Leyfið fyrir NMT-kerfið er að renna út og verður ekki endurnýjað. Þá kemur 450 MHz tíðnisviðið til úthlutunar á ný. NMT-kerfið, sem er hliðrænt 1. kynslóðar kerfi, er að hverfa af markaði og leggst því óhjákvæmilega af hér á landi. Spurt er hvort arftaki NMT-kerfisins verði ekki betri grunnur til að byggja heiðarvegakerfin á en GSM-tæknin? Og þá er sennilega gegnið út frá því að arftakinn verði á 450 MHz.

Enginn veit á þessu stigi hver arftaki NMT-kerfisins verður. Á sínum tíma, þegar tvö íslensku Tetrakerfin voru brædd saman, var gerð tilraun til að sameina rekstur NMT-kerfisins þeim rekstri sem hefði tryggt Tetra sem arftaka þess, en það var ekki talið samræmast samkeppnislögum og stoppað. Og líklegt er að þeir sem standa að Terta í dag telji enn að að Tetra geti best leyst NMT af hólmi. Látum það liggja á milli hluta varðandi víðáttuna, en Tetra leysir ekki vandamál farsímaþjónustu á heiðarvegum. Til þess þarf kerfi sem þjónar þeim farsímum sem hinn almenni vegfarandi er með. Hann hefur með sér GSM-farsíma í besta falli.

Eina almenna 450 MHz farsímakerfið sem ber á um þessar mundir, er kerfi sem nefnist CDMA-450. Það hefur náð nokkurri útbreiðslu í Austur-Evrópu og Afríku að undanfögnu, og hefur verið borið upp sem

hugsanlegur kostur hér á landi. Þetta er 450 MHz útgáfa af bandaríska 3. kynslóðar kerfinu cdma 2000, sem var mótleikur gegn evrópska 3. kynslóðarkerfinu UMTS.

Fyrir nokkrum árum, þegar unnið var að stöðlun á stafrænum farsímakerfum á 450 MHz sviðinu, nutu tvær tillögur brautargengis. Annars vegar ofangreint cdma 2000-450 kerfi og hins vegar GSM-450, sem er GSM-kerfið sem við búum við, flutt niður á 450 MHz tíðni. Kosturinn við GSM-450, fyrir svæði þar sem GSM ræður ríkjum, er að það hefði litla breytingu í för með sér varðandi GSM-símtækin. Notendabúnaður á 450 MHz gæti notið góðs af fjöldaframleiðslu GSM-búnaðar og orðið ódýr. Dæmi um þetta höfum við fyrir okkur í GSM-R sem er sérkerfi fyrir evrópsku járnbrautirnar byggt á GSM. GSM-R vinnur á sértíðni, en nýtir sér hagkvæmni GSM-tækninnar og leyfir aðgang að almennu tíðnunum einnig (þeir völdu þessa leið fram yfir Tetra!). Á sama hátt var lítið á GSM-450 sem nokkurs konar sérútgáfu af GSM fyrir dreifbýl svæði. Allir GSM símar í dag eru gerðir fyrir tvö tíðnibönd (900 og 1800 MHz) og ekki mikið mál að bæta einu tíðnisviði við, ef radió- og mótunartæknin er að öðru leyti sú sama. Því mætti ætla að GSM-450 hafi verið og sé eðlilegasti og hagkvæmasti kosturinn á jöðrum þeirra þéttbýlu svæða, þar sem GSM ræður ríkjum.

Það voru fyrirtækin Ericson og Nokia sem lögðu áherslu á GSM-450 þegar þessi stöðlun átti sér stað. En þetta skeður á sama tíma og þessi fyrirtæki voru önnur kafin við að koma UMTS-kerfum af 3. kynslóðinni á framfæri, svo af markasástæðum virðast þau ekki hafa mátt vera að því að sinna GSM-450 upp á síðkastið. En hafa bæði á áætlun að bjóða þessi kerfi á árinu 2006.

Annað er að segja um CDMA-450. Það hefur verið markaðssett af krafti undanfarið og náð fótfestu á dreifbýlum svæðum þar sem lítið er um farsíma fyrir. CDMA-450 passar ekki vel inn í umhverfi þar sem GSM-kerfið ræður ríkjum. Það verður aldrei hentug eða ódýr lausn að bræða saman GSM og CDMA-450 í eitt farsímataeki, þetta eru gjörólík kerfi. Í okkar umhverfi þýddi þetta að farsímanotandinn þyrfti að búa við tvö aðskilin farsímataeki, sem er afturhvarf til NMT-tímabilsins. Að þessu leyti værum við betur sett með GSM-450. Ef UMTS verður leyft sem arftaki GSM á 900 MHz á ekki síður að leyfa það sem víðáttu-kerfi á 450 MHz og yrði það athyglisverður kostur.

3.5.4. „Hvert er farsíminn að þróast“?

Þróun hins almenna farsíma sem notendabúnaðar er fyrst og fremst drifin af þéttbýlismarkaðinum. En teygir sí þróun farsímans áhrif sín út í dreifbýlið og óbyggðir?

Hún er undir sterkum áhrifum frá tvennu þessa stundina: Annars vegar er keppst við að veita farsímataekninni bandbreiðar „niðurhalsrásir“ í viðleitni til að efna vanefnd loforð varðandi 3. kynslóðina (3G) sem margmiðlunartækni. Hins vegar er hún undir sterkum áhrifum frá umfangsmikilli hreyfingu undir auðkenninu FMC (Fixed Mobile Convergence), sem miðar m.a. að því að koma farsímaumferðinni innanhúss og á umferðarmestu svæðum borga yfir á „föstu“ kerfin á ný, sem verða þó að þessu sinni í breyttri mynd.

Þær bandbreiðu „niðurhalsrásir“ sem verið er að væða farsímataeknina með, a.m.k. 4 í takinu og auðkenndar með DVB-H, T/S-DMB, ISDB, MediaFLO, eru lausnir sem frekar eiga rætur sínar í úvarps-tækninni (broadcasting) en í farsímakerfum. Tvær þær fyrri eru evrópskar að uppruna, og verða til umræðu hér, sú þriðja er japönsk og sú fjórða bandarísk. Þetta gefur vísbendingu um harða samkeppni í þessu eins og öðru á sviði fjarskipta. Segja má að viss taugstrekkings gæti hjá farsímafélögum varðandi 3. kynslóð farsímans, vegna þess að þau hafa lítið borið úr bítum fyrir þessa nýju tækni sem þau mörg hver keyptu rándýru verði fyrir hartnær fimm árum. Og ekki bætir úr skák að í sjónmáli virðist ný tækni á ferð (Mobil-WiMAX) sem uppfyllir 3G-loforðin um margmiðlun og gott betur, og óljóst í höndum hvaða rekstraraðila verður. Sú fjölpjónustutækni gæti létt tekið að sér farsímaumferðina líka auk annars, a.m.k. í þéttbýli.

Þetta hefur orðið til þess að framleiðendur farsímkerfa undir þrýstingi frá farsímafélögum hafa keppst við að þróa sína eigin breiðbandstækni innan 3G kerfa, sem táknuð er með HSDPA/HSUPA (High Speed Down-/Up-load Protocol Access) og er tviátta eins og nafnið segir. Þessi lausn gerir ekki kröfu til nýs radiókerfis til viðbótar farsímanetinu eins og niðurhalsrásirnar gera og símfélögum er lofað því að unnt verði að uppfæra núverandi 3G-kerfi með hugbúnaði einum. Í þessari tækni er sömu kóðafjölrásun beitt og fyrir talrásirnar í 3G, en í þessum samnýttu IP-pakkarásum er mörgum kóðum úthlutað til hvernar rásar í senn. Hér er komið tviátta pakkakerfi í 3G ekki ólíkt GPRS í GSM en miklu afkastameira. Í margmiðlunartækni yrði „niður-rásin“ umtalsvert afkastameiri en „upp-rásin“ (asymmetric), sem ræðst af fjölda úthlutaðra kóða. Þessar rásir má gera jafn afkastamiklar í báðar áttir (symmetric) og er þar augljóslega kominn grunnur fyrir IP-netsíma (VoIP: Voice over IP) í radióhluta 3G kerfanna, en netsíminn bíður að öðru leyti þess að rofaskiptu símstöðinni í 3G sé skipt út fyrir „mjúk-símstöð“ (IMS-kjarna, sem áður var

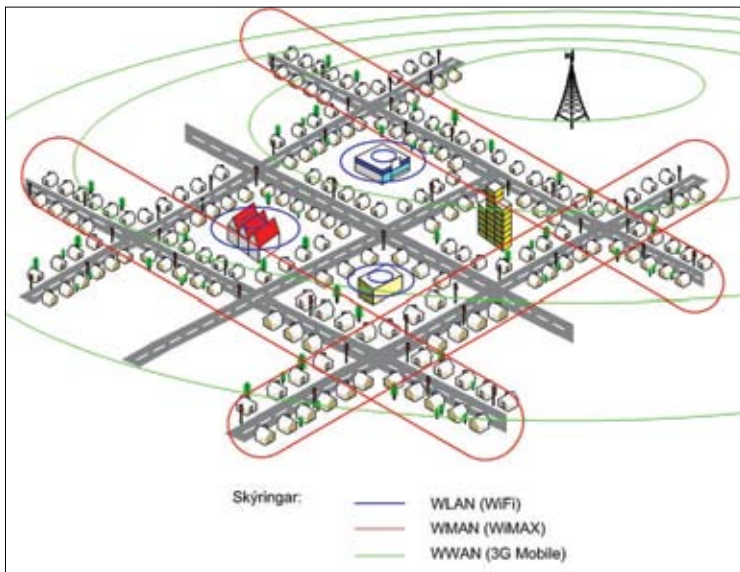
getið). HSDPA er komið á tilraunastig en án HSUPA, því að brýn þörf er talin á að tefla því fram sem einátta niðurráðs fyrst sem mótleik við „niðurráðsunum“ úr útvarpstækninni. Þó hefur HSDPA enn sem komið er ekki nema um 1/10 þeirrar afkastagetu sem t.d. DVB-H hefur (12 -15 Mb/s/rás). DVB-H er farsímaútgáfa (H: „handy“) af stafrænu DVB-sjónvarpsstöðlunum. Allar líkur eru þó á að við sjáum bæði „niðurráðsír“ með útvarpstækni og HSDPA-rásir í 3G-kerfum innan tíðar, en ætlaðar fyrir sitt hver notin. Útvarpsrásirnar verða fyrir á ferðinni, því að hjá farsímafélögunum snýst málið um að koma sem fyrst á „farsíma-sjónvarpi“. Líkur eru á að DVB-H verði ofan á sem bandbreidd niðurráðs í GSM ættuðu kerfunum (GSM, EDGE, UMTS) og MediaFLO í CDMA-kerfunum amerískum, og verður þetta á boðstólum upp úr miðju ári 2006. Vandinn hefur verið sá að aðlaga sjónvarpsflutninginn að þröngum stakki farsímans. Það hefur leitt til mikilla framfara að undanförunni í gagnþjöppun, bandbreiddarnýtni, orkusparnaði og gagngerrar uppstokkunar á kerfishlutanum sem hraðar þróun farsímaferfa yfir í hrein IP-kerfi.

Á hinn bóginn er farið að gæta áhrifa á farsímatæknina frá öflugri herferð sem nefnist FMC (Fixed Mobile Convergence). Markmið hennar er m.a. að koma flutningsþjónustu við farsímann yfir á hagkvæmari flutningsnet fyrir margmiðlun en farsímanetið er, þar sem því verður komið við. Hér er t.d. átt við þráðlausu WLAN-kerfin sem þegar eru mjög útbreidd á skrifstofum og í heimahúsum og WMAN-kerfin sem eru þráðlaus breiðbandskerfi í uppsiglingu í borgum og jafnvel til sveita. Sú mynd sem við höfum af farsímaferfum í dag á því eftir að breytast verulega. Í útgáfu 6 af farsímaferfum (Release 6, 2005) er að finna staðal sem nefnist UMA (Unlicensed Mobile Access) og hafa nokkrir helstu framleiðendur farsíma tilkynnt að þeir muni hafa þessa viðbót í farsímum sínum á miðju ári 2006. UMA-farsímar eru venjulegir farsímar sem að auki geta unnið á þráðlausum staðarnetum, þ.e. WiFi (eða WLAN), og þegar tímaþætt er einnig á þráðlausum borgarnetum („Mobil WiMAX“) sem verða á döfinni um 2007/8. Vasatölvur með þráðlausri tengingu við WiFi-net hafa þekkt um hríð, eins og allar ferðatölvur eru í dag, en finnast nú einnig með innibýggðum GSM búnaði og geta þ.a.l. nýst sem farsími einnig. Það var hins vegar ekki unnt að fara snurðulaust á milli kerfa. Það sem UMA-staðallinn skilgreinir er stjórnstöð sem annast þessa farsímaumferð á WLAN-netum og sér um brúun (afhendingu) sambanda af WLAN yfir á farsímanet ef farsíminn berst útfyrir radiósvið WLAN-netsins eða ef farið er yfir á aðra grunnstöð í sama WLAN neti. FMC-samtökin hafa skýrt frá því að allir helstu framleiðendur fartölva hafi lýst því yfir að þeir muni einnig bæta UMA-þættinum við þráðlausu WiFi tenginguna í fartölvum sínum, og áður var yfirlýst stefna að þjóna WMAN-kerfum (Mobile-WiMAX) á sama hátt þegar að þeim kemur. Hér verður því á ferð notendabúnaður (tengibúnaður) sem hefur engan aukakostnað í för með sér, það höfum við séð með WiFi-tengingunni í ferðatölvum í dag.

UMA er að vísu skemmri skír ein og stendur, staðallinn er bundinn við GSM-tæknina eina (stýri- og stjórnskipanir GSM-kerfisins), og er útfærður í vélbúnaði farsímans sökum þess að örgjörvum GSM farsíma er svo þröngt skorinn stakur afkastalega séð að þeir ráða ekki við þessa vinnslu á annan hátt. Þessi lausn skv. staðlinum vinnur því ekki með 3. kynslóðinni. Varanlegri leið fyrir UMA verður því að leysa þetta með IP-farsímum, sem þegar er hægt að gera með vasatölvum og farsímum með afkastameiri reiknigetu.

Sú lausn er óháð radiókerfum farsímanetanna. Markmiðið með UMA-farsímanum í fyrstu er að koma farsímanotkun á heimilum og innan fyrirtækja af farsímanetinu (sem er utanhússkerfi) yfir á WLAN kerfin og flytja þessi talsambönd síðan á hagkvæmari hátt sem hver önnur gagnasambönd yfir fastlínukerfið. Þetta hefur mikinn sparnað í för með sér. En ástæðan er ekki síður sú, að mikil notkun farsímans sem þráðlauss innanhússíma á útinetinu er varasöm sökum mikillar og ónauðsynlegrar geislunar. Fjarlæg grunnstöðin stýrir sendistyrk handtækisins, og sökum veikis merkis frá handtækinu sem er innanhúss, spennir grunnstöðin sendistyrk handtækisins óhóflega upp. Það er sökum geislunar sem okkur hlýnar um eyrað þegar við tölum lengi í farsíma við þessar aðstæður. Sendiafl GSM handtækisins getur í þessu tilfelli farið upp í eitt til tvö wött! Ef hann starfar á WLAN-neti er geislun hans í lágmarki, 50 – 100 mW.

Farsímaumferðin utandyra a.m.k. í þéttbýli verður heldur ekki til frambúðar á sérsniðnum farsímadreifikerfum að því marki sem við búum við núna. Með tilkomu netfarsímans verður flutningsform farsímtala orðið það sama og á hverri annarri IP-gagnþjónustu breiðbandsneta borga og hagkvæmara að flytja þau yfir þráðlaus fjölþjónustukerfi á fjölförnustu svæðunum, en á sérsniðnu farsímaneti. Í líkingu við Mynd 5.2 munu farsímanetin á ný skorðast við móttöku úti, verða nokkurs konar „regnhlífarnet“ (við-sellunet), yfir þráðlausum breiðbandsnetum, fremur en að sú þróun haldi áfram að auka styrkinn í farsímanetunum (20-40 W per grunnstöðvarsendi og bæta við fleiri og fleiri „sektorum og sellum“) til að ná að utan til farsímans inni í húsum. Og ástæða er til að sporna við að farið verði að á svipaðan hátt með „niðurráðsírarnar“ fyrir sjónvarpsfarsímann, sem einnig verða að ná til hans inni í húsum. Hin hefðbundna leið í hönnun



Mynd 5.2 Samleitni fast- og farneta (Fixed Mobile convergence).

hljóðvarps- og sjónvarpskerfa er að setja sem aflmesta senda á sem hæsta sjónvarpsturna (eða fjallatoppa í dreifbýli) og þekja helst allt umrætt svæði með einum sendi (í einni sellu). Þetta hefur leitt til senda í sjónvarpsgeiranum af stærðinni 100 KW eða meir. Í tilfalli sjónvarpsfarsímans myndi þessi lausn leiða til fleiri 50 – 100 KW örbylgjusenda á víð og dreif í borgum, því að sellurnar yrðu mun fleiri en ein ef á að draga inn í hús með þessum hætti. Þessu má líkja við að ætla sér að lýsa upp Reykjavík með ljóskösturum frá Vatnsendahæð og ná þannig til innilýsingar í húsum líka. Samlíkingin gefur okkur nokkra tilfinningu fyrir því hversu óhemju sterk geislunin yrði að vera nærri sendinum ef geislunin á að ná inn í hús í jaðri borgarsvæðisins. Vonandi fyrr en síðar sjáum

við radiónet í borgum í líkingu við götulýsingu, þ.e. örbylgjunet með lágum og jöfnum styrk eftir götum. Þannig net hafa að vísu ekki verið raunhæf sökum truflana af umferð fyrr en með tilkomu nýrrar loftnetstækni sem nefnist MIMO (Multiple Input, Multiple Output), sjá næsta viðauka 3.5.5. Sem gatnanet í borgum myndu MIMO-örbylgjunet gefa jafna geislun yfir borgina og styrk (innan við 1 W per sendi) sem er lítið brot af því sem þekktist víða við núverandi aðstæður (minna en einn hundraðþúsundasti af því sem er í nærveru 100 kW sendis).

En spurningin sem okkur varðar er hvaða áhrif umrædd þróun farsímatakninnar, sem þéttbýlismarkaðurinn drífur áfram, muni hafa á jaðarsvæðum byggðar, ef einhver?

Við það að farsíminn verður að alhliða IP-margmiðlunartæki (auk netsíma) einfaldast bakfæðing til afskekktara svæða yfir gervitungl til muna; endurvarp ætti sér svo stað yfir litla jarðstöð innan þessara svæða, líkt og Mynd 5.1 á bls. 44 gefur til kynna. Bein farsímamóttaka frá gervitunglum (sem þekktist) hefur almennt ekki reynst hagkvæm, sökum þess hve merkið er veikt á jörðu niðri og loftnet farsímans lítið.

Af þeim niðurhalsrásum sem þróaðar hafa verið fyrir farsímamann í seinni tíð hefur SDMB (Satellite Digital Multimedia Broadcasting) enn sem komið er sérstöðu varðandi dreifingu yfir gervitungl. Sú tækni er ekki eins vænleg í jarðbundnum kerfum (TDMB), þar eð hún hefur ekki nema 1/10 af afköstum DVB-H. Þessi tækni byggir á gömlum merg stafrænu DAB-hljóðvarpstækninnar. Í gervitunglaútgáfunni er hún athyglisverð fyrir dreifbýli. Henni er valin mótunartækni sem unnið getur með mjög veikum merkjum, en það gerist á kostnað gagnahraðans. SDMB-þjónusta er þegar starfrækt á tunglum yfir Asíu (í Kóreu, Indlandi og Japan), en um gervitungl yfir Evrópu er hún á áætlun 2007. Afkastagetan (flutningshraðinn) er um 1.5 Mb/s per rás og nýttast um 2/3 af því til efnisflutnings. En spurning er á þessari stundu hversu algengt DMB verður í almennum farsímum. Á hinn bóginn ef DVB-H verður eins algengt í farsímum og líkur benda til, verður þess ekki langt að bíða að sú tækni verði einnig í boði yfir gervitungl; hún getur þó ekki unnið með eins veikum merkjum og DMB ef halda á í flutningsafköst þess. DVB-H er afsprengi sömu ættar og tvíátta tæknin DVB-S2-RCS sem þegar er starfrækt á gervitunglum (sbr. Mynd 5.1) og getur auðveldlega flutt DVB-H til endurvarps á staðbundnum afskekktum svæðum („eyjum“) á jörðu niðri. Helstu rekstraraðilar S2-tungla bjóða alhliða tvíátta IP-gagnaþjónustu á þessum kerfum. S2 kerfin hafa næg afköst til að flytja tölvugögn, tal, hljóðvarp og sjónvarp á IP-formi, allt í senn. Vandkvæðin fyrir okkur eru hins vegar þau, að geislum þessara tungla er yfirleitt ekki beint í átt til okkar eins norðarlega og við erum. En geislunarspori þeirra er hins vegar hægt að stjórna í nýrri tunglum frá jörðu niðri, og þyrfti því um það að semja.

Í fjarskiptaáætlun hins opinbera til 2010 er gert ráð fyrir því að sjónvarpsdreifing til beinnar móttöku eigi sér stað yfir gervitungl. Sú yfirlýsing hefur mætt efasemdum um að vera raunhæf. Ef það yrði gert eins og það hefur verið hugsað fram til þessa (þ.e. að leigja sér aðgang að hefðbundnum sjónvarpsendurvökum í þessum tunglum, þó stafrænir séu) tekur undirritaður undir þær efasemdir. Ef það yrði hins vegar

gert með nýjustu IP-gagnaflutningstunglunum og flutt með nýjustu þjöppunarstöðlunum fyrir tal, tóna og mynd, og gjaldfært í samræmi við mælt flutningsmagn (þörf), yrði það að mati undirritaðs raunhæft og myndi leysa þau vandmál sem hér hafa verið rædd.

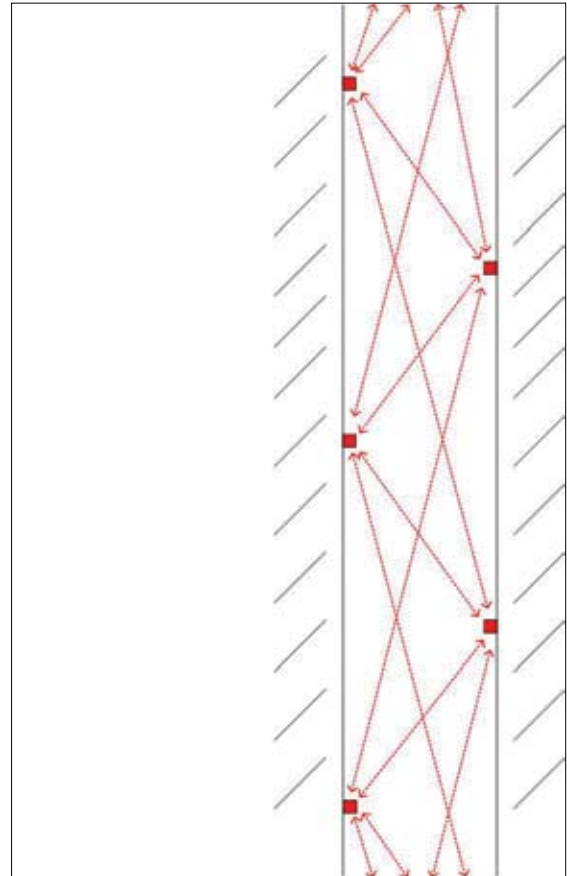
3.5.5 Um frekari beitingu „sjálfaðlagandi möskvaneta,, öðrum í vegafarsímakerfum en heiðarvegakerfum

Bakfæðing með tækni möskvaneta í heiðarvegadæminu var til umræðu í kafla 3.3 hér að framan. Til frekari áherslu þess að möskvanet séu könnuð nánar til bakfæðingar í vegafarsímakerfum þá er hér fjallað nokkrum orðum um beitingu þeirra í sértilfelli sem borið hefur verið upp við undirritaðann, en það varðar farsímavæðingu í vegajarðgöngum, en kostnaður við núverandi lausn þykir mikill. Fram til þessa hefur þetta oftast verið leyst með „lekum kapli“ sem loftneti eftir endilöngum göngum, sem veldur erfiðleikum á hærri tíðnum, auk þess að reynast dýrt. Unnt er að leysa þetta með litlum grunnstöðvum meðfram göngunum og MIMO-tækni til að verjast endurkasti og truflunum frá umferð. En þá kemur til kasta bakfæðingar, annað hvort með kapallögn (sem er dýr) eða þráðlausu möskvaneti. Að fenginni reynslu sem er hliðstæð þessu tilfelli virðist þessi tækni henta vel hér.

Á MSF hefur möskvanettækninni verið beitt með góðum árangri í verkefnum þar sem fengist var við baktengingu þráðlausra breiðbandsneta meðfram götum í borgum. Í því tilfelli var tilgangurinn að fá sem mesta og jafnasta dreifingu örbylgju í gegnum glugga inn í hús (líkt og með dagsbirtuna, sem er ultra-örbylgja), auk þess að þekja götuna fyrir hreyfanleg fjarskipti úti. Í því skyni var örbylgjusendunum komið fyrir á ljósastaurum götunnar eins og nokkurs konar örbylgjulömpum. Í tilfelli sem þessu ræður hefðbundin örbylgjutækni (sem oft er kennd við sjónlínutækni) ekki við truflanir ef eitthvað fer fyrir geislann eða stórir málmhlutir eins og bílar sem fara eftir götunni sveigja geislann til og frá. Þessar truflanir koma út sem mjög stórar sveiflur í styrk og við það aukast líkur á villum í sendingu til muna eða samband rofnar með öllu.

Til að ráða bót á þessu hefur tvennt borið mjög góðan árangur að undanförmu, má segja að hann sé allt að byltingarkenndur. Í fyrsta lagi næst fram mikil bót með fjölvegstækni sem nefnist MIMO og byggir á fleiri en einu loftneti bæði við sendingu og í móttöku. MIMO-dreifing truflast ekki af endurköstum heldur styrkist hún við þau. Henni er beitt á örbylgjulömpunum í ofangreindu dæmi til að geisla til notendabúnaðarins innan húss og utan, og flokkast sá hluti kerfisins því undir aðgangstækni (sbr. skilgreiningar í byrjun kaflans). Og í öðru lagi var beitt möskvanetum í bakfæðingu eins og rædd var í kafla 3.3. Líta má á möskvanetið í þessu tilfelli sem keðjutengingu með nokkurs konar margþættri keðju og tímabundnar truflanir í einum eða öðrum legg, við það að hlutir fari fyrir geislann, skipta ekki máli; boðin skila sér eftir öðrum leggjum.

Þetta tilfelli er nánast eins og á mynd 5.3, en þar er ekki um húsagötu að ræða, heldur vegajarðgöng. Veggirnir eru gluggalausir og því ekki lekir og örbylgjan endurkastast því öll af veggjunum eftir göngunum, milli hnútapunkta möskvanetsins. Ef álykta má út frá reynslunni með möskvanet á götum í þéttbýli myndu möskvanet sem bakfæðing og MIMO-aðgangstækni í jarðgöngum gefa jafna og örugga örbylgju-dreifingu í göngum þrátt fyrir bílaumferðina í þeim. Og lausnin yrði hagkvæm. Þetta er eitt af því sem ástæða er til að gera tilraunir með.



Mynd 5.3 Bakfæðing í jarðgöngum með „Mesh“- og „MIMO“-tækni.

3.6 Samantekt helstu atriða í Hluta II

Valkostir kannaðir

- Fyrirhuguð hefðbundin uppbygging farsímakerfa á heiðarvegum endurskoðuð með sparnað og rekstrarhagkvæmni í huga. Gengið er út frá því að stofnað sé til útboðs á uppbyggingu og rekstri kerfisins.
- „Færanleiki“ innleiddur, sem leiðir af sér minni stofnkostnað, stuðlar að betri rekstri og þjónustu, allir tilboðsaðilar sitja við sama borð, sá búnaður sem stofnað er til með opinberu fé binst ekki varanlega kerfi neins eins símafélags, rekstrarleyfið ekki bundið varanlega neinum einum rekstraraðila.
- Samanburðar gerður á fyrri valkostum og að heiðarvegakerfin séu sjálfstæð undirkerfi með svæðissímstöð, sem eykur á öryggi, gerir rekstur hagkvæmari og býður upp á möguleika á margvíslegri sérþjónustu við vegfarendur á heiðarvegum. Byggingarmátinn hefðbundinn eins og í fyrri valkostunum.
- Heiðarvegakerfi sem undirkerfi byggð upp með nútímataekni. Einn stærsti kosturinn við sjálfstætt undirkerfi er sá að það landskerfi sem heiðarvegakerfin tengjast bindur þau ekki í tækni gærdagsins. Þessi kostur leiddi til mestra prófana og tilrauna. Niðurstaðan varð betri möguleikar til aðlögunar að sérkröfum, auknir þjónustumöguleikar, varanlegri fjárfesting, og tæknilega betri brúun inn í framtíðina, t.d. samræmi við hliðstæð fjarskiptakerfi á hálendinu og miðunum í framtíðinni.

Kerfiseiningar kannaðar

- Hefðbundnar svæðissímstöðvar endurskoðaðar. Netsímstöðvar kannaðar og prófanir gerðar.
- Hefðbundin bakfæðing í farsímakerfum endurskoðuð. IP-örbylgjunet til bakfæðingar ítarlega könnuð, prófanir og tilraunir gerðar með nýja tegund netuppbyggingar sem hefur ýmsa kosti í heiðarvegakerfum umfram hefðbundna bakfæðingu.
- Tilraunir gerðar með orkusparandi radióstöðvar, sem leiddu af sér minni aflþörf og minni og hagkvæmari orkuöflunareiningar á hverjum sendistað.
- Hönnuð var „sjálfbær“ radiósamstæða (grunnstöð), þ.e. mastur, radióstöð, loftnet, bakfæðing og orkuöflunareining, þar sem gætt var að einfaldri uppsetingu við erfiðar aðstæður á fjöllum. Hún var framleidd til nota í tilraunum, en jafnframt hugsuð sem frumsmíð til fjöldaframleiðslu. Sá háttur myndi lækka efnis- og uppsetingarkostnaðar í kerfum sem þessum umtalsvert.

Kerfisprófun

- GSM-svæðiskerfi hannað á grunni IP-tækni og prófað í heild. Tilraunir gerðar við heiðarvegaaðstæður.

Viðaukar

Í viðaukum er fjallað um eftirfarandi atriði sem tengjast viðfangsefninu óbeint en eru utan þess ramma sem settur var verkefninu í upphafi:

- Æskileg fjarskiptaþjónusta á heiðum og hálendinu sem fengist með GPRS/EDGE og svæðis-IMS.
 - Bakfæðing símakerfa á heiðum- og hálendinu yfir gervitungl.
 - Um æskilegt tíðnisvið fyrir heiðarvegakerfi – GSM450 fyrir heiða- og hálendisvegi?
- Hvert er farsíminn að þróast?
- Um frekari beitingu „sjálfaðlagandi möskvaneta“ til bakfæðingar í í öðrum vegafarsímakerfum en heiðarvegakerfum.

3.7 Skammstafanir og skýringar

Abis	Tengistaðall á milli MSC og BST í GSM farsímanetum (sjá skammstafanir neðar)
BSC	Base Station Controller, stjórnstöð fyrir radíóstöðvar í GSM farsímakerfum
BTS	Basestation Transmission System, radíóstöð í GSM farsímakerfi
CDMA	Code Division Multiple Access, fjölda-aðgangstækni sem byggir á „dreifðu rófi“ (DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum) og kóðafjölrásun, grunnurinn í samnefndu farsímakerfi sem lýtur bandaríska staðlinum IS-95, sem 3. kynslóðarstaðlarnir UMTS og cdma2000 síðan byggja á. Hefur miðið við nám gegn truflunum og sérstaka hæfni til að vinna með veikum merkjum í suði; er af þeim sökum beitt í 3. kynslóð farsímans.
COFDM	Code Orthogonal Frequency Division Multiplexing, tækni sem byggir á fjöltíðnimótun; er bandbreiddarmýtnari en það sem áður hefur þekkt og hefur sérstaka hæfileika í fjölvegsdreifingu (multipath distribution). Er grunnurinn í þráðlausum breiðbandsnetum þessa stundina.
DAB	Digital Audio Broadcasting, staðall og kerfi fyrir stafrænt hljóvarp; ruddi á 9. áratug s.l. aldar braut þeirri mótunartækni (COFDM) sem nú er grunnurinn í þráðlausum breiðbandsnetum (DVB-RCT/RCS, Wi-Fi, WiMAX, 4. kynslóð farsímans, o.fl.)
DAB-DMB	Digital Multimedia Broadcasting, viðauki við DAB-staðalinn til sjónvarpsflutnings á farsímum og ferða-útarstækjum, en ólíkt DVB-H (sjá neðar) er bundið við sjónvarpsdreifingu.
DBS	Direct Broadcasting Satellite, á við um gervitungl til beinnar úvarpsmóttöku notanda, þ.e. á endurvarps í gegnum jarðbundið kerfi
DVB	Direct Video Broadcasting, staðall fyrir stafrænt sjónvarp, til í ýmsum útgáfum
- S	Satellite, DVB sniðið að útvarpi frá DBS
- T	Terrestrial, sniðin að þráðlausu útvarpi á jarðbundnum kerfum
- C	Cable, DVB fyrir kapalkerfi
- H	Handy, DVB sniðið að farsímakerfum og fartölvum, m.a. til flutnings á sjónvarpi (mobile TV), en ólíkt DAB-DMB er þó alhliða IP-margmiðlunarkerfi.
- RCT	Return Channel Terrestrial, fjölnotendarás til baka fyrir DVB-T, gerir úr DVB gagnvirkt kerfi, brautryðjandi tækni sem hefur þó átt erfitt uppdráttar sökum skorts (ósamkomulags) um tíðnisvið fyrir rásina „til-baka“ á hefðbundnum sjónvarpstíðnu. Afleiðingin varð sú að tæknin leitaði yfir á „leyfisfrí tíðnisvið“ (unlicensed bands) og gengur nú undir nafninu WiMAX og er látið mikið með á því sviði og lítið á sem nýjung.
DVB-S2	Ný útgáfa af DVB-S sem nýtir síðustu framfarir í rásakóðun (Turbo-kóða) og nær við það þreföldum afköstum á við hið upprunalega -S
- RCS	Return Channel Satellite, RCT á gervitunglum þar sem tíðniúthlutun stóð ekki í vegi fyrir rásinni „til-baka“ eins og á -RCT. DVB-S2-RCT mætti með réttu nefna WiMAX á gervitunglum og er tilbúið og þegar starfrækt, sem WiMAX á jörðu niðri er það ekki (þegar þetta er skrifað 2005). Þrátt fyrir uppruna sinn í sjónvarpstæknigeirnaum, þá er þetta breiðbands-gagnanet á IP-pakkaformi sem getur flutt hvers konar margmiðlunarefni (Internet, VoIP, IP-TV, ...), þ.e. alls ekki bundið hefðbundinni sjónvarpsdreifingu.
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution, hástemmd nafbót á uppfærslu GSM-kerfa (sem að grunni til eru komin á 3. áratuginn að aldri) í nútíma mótunartækni; gefur þrefalda afsataukningu.
FMC	Fixed Mobile Convergence
GEO	Geostationary Earth Orbit, á við um gervitungl
GERAN	GSM Extended Radio Access Network, GSM-radíónetið í uppfærslu með nýrri mótunartækni sem gefur því þreföld afköst
GPRS	General Packet Radio Service, upprunalega sett fram sem IP-pakkanet fyrir GSM og sett upp við hliðina á rofaskipta talsímkerfinu, að öðru leyti en því að þau nýta sama „radíó-netið“. Verður við lýði í EDGE- og UMTS-kerfum svo lengi sem hefðbundnar rofaskiptar símsstöðvar þekkjast. Hverfur sem séreining í NGN-kerfum (IMS).
GSM	Global System for Mobile Communication
HSDPA	High Speed Down-link Protocol Access, samnýtt háhraða IP-rás til niðurbals í 3. kynslóðar CDMA grundvölluðum farsímakerfum
HSUPA	Upp-rás (frá farsíma til kerfis) hliðstæð og á sömu kerfum og HSDPA
IMS	IP Multimedia Subsystem, miðstöð í margmiðlunarneti, þ.á.m. farsímakerfa morgundagsins, sem er nauðsynlegt skref til að „farsíminn“ getir orðið hreint IP-tæki og falli sem einn þáttur inn í alhliða margmiðlun.
IP	Internet Protocol, forskrift í netfræði, vísar yfirleitt pakkaforms á netlagi
IP-PBX	IP-Public Branch Exchange, etsímstöð til almannanota sem byggir sambönd sín á IP-pakkaformi, á ekki síst við um einkasímstövar
ISDN	Integrated Services Digital Network, fastlínu-símakerfið sem við búum við í dag.

Media-FLO	Sérheiti fyrir „niðurhalsrás“ á CDMA-farsímakerfum sem ryður sér rúms einkum vestan hafs; miðar að sama marki og HSDPA, DVB-H og DMB, en lýtur þó ekki alþjóðlegum staðli (er í eigu fyrirtækisins Qualcomm, brautryðjanda CDMA-tækninnar).
Mehs-Net	Möskvanet, nýlegt grunnform (topolgy) fjarskiptaneta
MFS	Merkja- og Fjarskiptaverkfræðistofa, Verkfræðistofnun, Háskóla Íslands
MIMO	Multiple Input Multiple Output, þráðlaus fjölvegstækni sem byggir á fleiri en einu loftneti bæði í sendingu og viðtöku til aukinna afkasta, drægni og áreiðanleika; fellur mjög vel að COFDM.
MSC	Mobile Switching Center, símsstöð í hefðbundnu farsímkerfi
NGN	Next Generation Networks, nýr staðalbálgur frá ETSI sem í sinni fyrstu útgáfu skilgreinir grunnuppbyggingu (arkitektúr) framtíðarneta sem fela í sér þráðar- og þráðlaus aðgangskerfi, sameignlegan kjarna, þ.e. IMS, staðlaðar tengingar við notkunarþjóna og brúun yfir á eldri net.
NMT	Nordic Mobile Telephon, hliðrænt 1. kynslóðar farsímakerfi sem er að leggjast af
PMP	Point-Multi-Point, vísar til sambanda frá einum punkti í marga
PoC	Push-on-Cellular, Push-to-Talk á farsímunum, nafngiftir fyrir nokkurs konar talstöðvarvinnslu og hóp-samtöl á farsímakerfum
PTP	Point-T-Point, vísar til sambands milli tveggja punkta aðeins
Router	Beinir (vegvisir) í IP-pakkanetum, grunneining í pakkanetum
SIP	Session Initiation Protocol, stýriforskrift (network control protocol) sem er að verða ríkjandi í IP-netum
UMA	Unlicensed Mobile Access, staðall um notkun farsíma á staðarnetum
UMTS	Universal Mobile Transmission System, staðall af 3. kynslóðinni sem byggir á WCDMA, breiðbandsútgáfu af CDMA
UTRAN	UMTS Transmission Radio Access Network, radiónetið í 3. kynslóð farsímans
WLAN	Wireless Local Area Networks, þráðlaus staðarnet, oft kennd við WiFi sem er úttektarstimpill frá WLAN-Forum sem á að tryggja að viðkomandi vara fylgi settum IEEE 802.11xx stöðlum
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network, þráðlaus borgarnet, í auknum mæli kennd við WiMAX sem er úttektarstimpill frá WiMAX-forum sem tryggir að viðkomandi vara uppfylli kröfur IEEE 802,16xx staðla

