

UNIVERSITETET I OSLO
Institutt for informatikk

Lydkvalitet i DAB
digitalradio

Audio quality in DAB
digital radio

Forskningsrapport 350

Sverre Holm

ISBN 82-7368-307-9
ISSN 0806-3036

30. januar 2007



0. Presisering og retting

Etter at rapporten ble skrevet er det gjort flere lyttetester og flere analyser i forbindelse med arbeidet med internasjonal versjon [A]. I den forbindelse er det behov for å presisere rapportens argumentasjon bedre og å korrigere noen unøyaktigheter.

Argumentasjonen i rapporten

Argumentasjonen er tredelt:

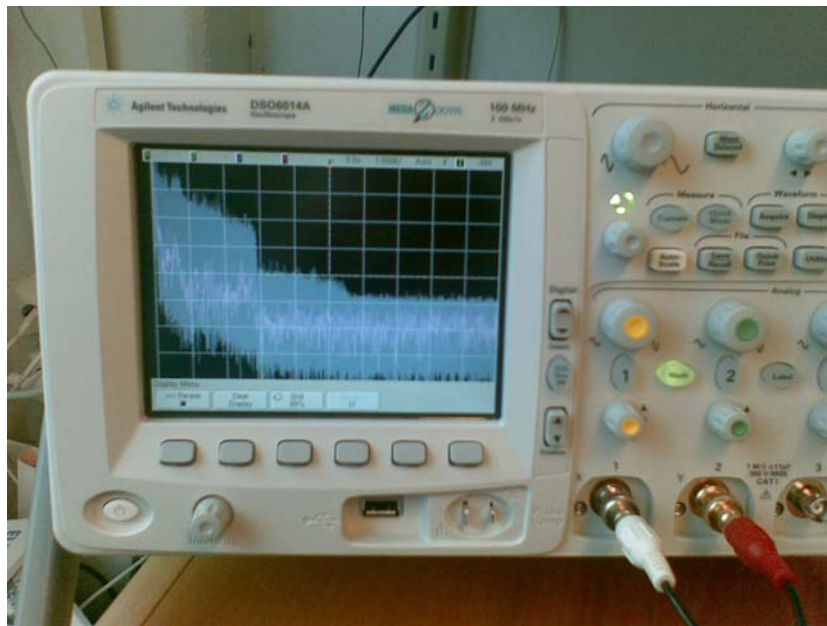
1. Hovedpoenget i rapporten er at det ikke er vanskelig å høre problemer med lyd kvaliteten ved stereo ved 128 kbps. Rapporten bygger på lytting på musikk på P1 på 128 kbps og sammenligning med FM og 192 kbps. P1 kodes på de beste lydkoderne fra testen i [B]. Resultatet er konkretisert mer i [A] basert på nye lyttetester. Stereobildet blir smalere ved 128 kbps for høyfrekvente instrumenter slik som hi-hat. Hvor mye er bl.a. avhengig av hvordan mikrofonbruk og miks har vært under produksjon av låten. Slike effekter har ikke FM stereo.
2. Målingene gir forklaringen fordi de avslører hvordan stereokodingen foregår ved 128 kbps. DABs stereokoding fungerer som en bil med fire gir, og målingene viser at stereoproblemene kommer av at den må ned i det laveste giret ved 128 kbps. Dette er siste gir før koderen gir opp og går over i mono. Da er høyre og venstre kanal så og si like og har ingen faseforskjell for all lyd over 3 kHz. Som et sekundært resultat ble det også målt øvre grense for diskant. Dette er bekreftet ved å gjøre samme undersøkelse om igjen på en Azur 640T DAB/FM Tuner. Dette er den beste tuneren til Cambridge Audio. Det viser at begrensningen er DAB-kodingen og ikke DAB-tunerne.
3. Det ble så spurt om hvordan det kan ha seg at et system som engang ble markedsført som å ha 'nær-CD' kvalitet, i dag har dårligere lyd kvalitet enn god FM stereo på noen av sine musikkanaler. Her baserte rapporten seg på det som er publisert i åpen litteratur og pekte på den store forskjellen mellom de engang anbefalte bitratene (192-256 kbps) og de som brukes i dag (128-192 kbps). Den tegnet også et pessimistisk bilde av mulighetene for vesentlig forbedring av kodere.

Ikke offentliggjorte resultater i interne forskningsrapporter fra bl.a. 2004 viser at koderne er blitt bedre [B]. Men disse resultatene kan ikke direkte sammenlignes med resultater fra 90-tallet fordi lyd materialet var enklere for koderne i de siste testene [C]. Hvis dagens rater gir samme kvalitet som 90-tallets anbefalinger slik enkelte hevder, betyr det at DAB må være designet med lavere kvalitet enn FM i utgangspunktet. Dette er vanskelig å tro, så vi tenderer mot at årsaken til de lavere ratene i dag er sammensatt og dels skyldes forbedrede kodere og dels ønsket om å få plass til flere stasjoner.

Spektrum av mono- og stereokomponentene (kapittel 4)

Analysen startet med å koble utgangen fra tuneren til et 8-bits samplingsskop med FFT (Agilent DSO6014A). Bildet viser slik analyse av musikk fra P3 (128 kbps). Hold-funksjonen ble brukt for å få fram maksimum og minimum over lang tid. Bildet viser at øvre grense for diskant er ca 14 kHz.

Både stereokodingens måte å operere på og øvre diskantgrense ble først funnet slik.



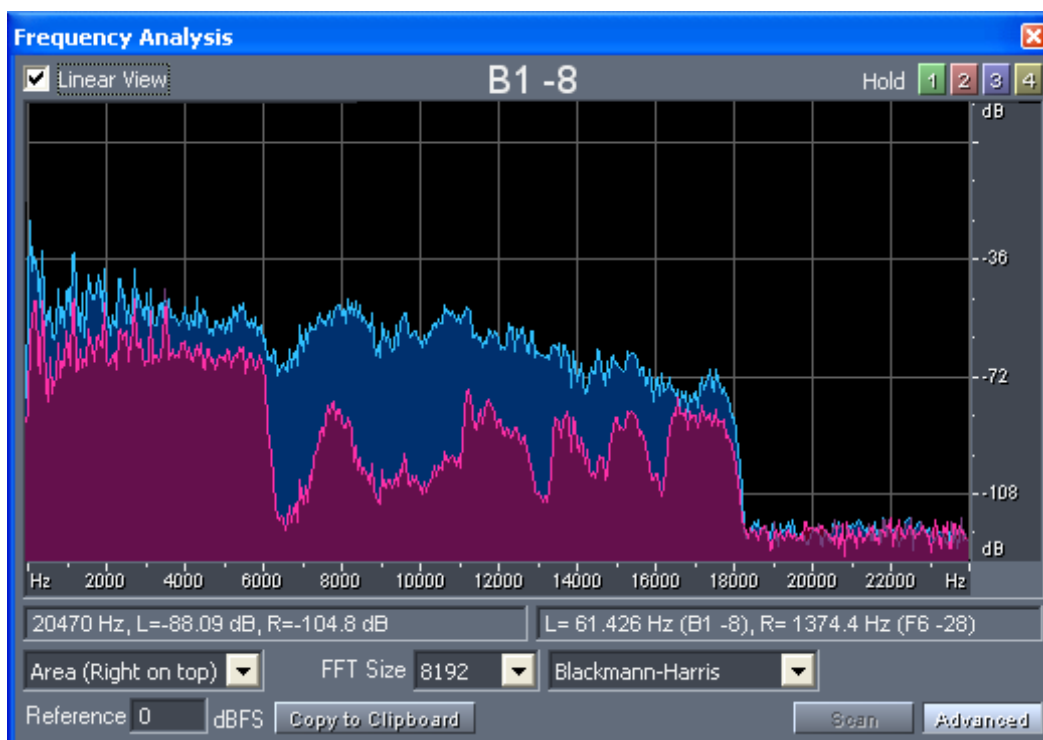
Analyse av monosignalet for musikk fra P3 (128 kbps) med 5 kHz pr delestrek på x-aksen og 10 dB pr delestrek på y-aksen.

For å få større dynamikk ble denne analysen gjentatt med lydkort og programmet Adobe Audition. Men i etterkant har det vist seg at programmets merkingsfunksjon ikke påvirker analyseintervallet uten videre slik at alle analyser bare går over ca 1/3 sekund og ikke ca 1 minutt som det ble skrevet.

Dette gjør at alle figurer nærmest er øyeblikksbilder, men det har ingen betydning for konklusjonene som trekkes ang. 128 kbps da de uansett først ble funnet ved hjelp av oscilloskopet.

Målinger av øvre grense for diskant (kapittel 4 og 5)

Lydkvalitet ved 192 kbit/s er ikke blitt kritisert i rapporten da den i utgangspunktet er utmerket. Derfor ble det brukt lite tid på å karakterisere den. Beklageligvis ble det rapportert en øvre diskantgrense på 15,75 kHz for P1 på 192 kbit/s, men dette viser seg ikke å stemme. Flere målinger viser at øvre diskantgrense varierer med lydmateriale og kan nå opp i 18 kHz (se figur). Dette er bra selv for de aller yngste lytterne.



P1 på 192 kbit/s: Stereokomponenten (fiolett, fremst) er omtrent like sterk som monosignalet (blå, bakerst) opp til 6 kHz. Det er diskantinformasjon opp til 18 kHz.

Ved 160 kbps ble det rapportert om øvre grense for diskant på 15 og 15,75 kHz. Den varierer med lyd materialet, men alle stasjoner på denne raten sender diskant opp til 15,75 kHz hvis det er behov for det.

Moxx Live sin lydkvalitet er det heller ikke gjort noe stort poeng av i rapporten. Det sier seg selv at man ikke kan forvente så mye av en stasjon som antageligvis er første musikkstasjon i mono siden FM kom i stereo i 1975. Det ble rapportert en øvre grense for diskant på 10,5 kHz, men senere analyser viser at den kan strekke seg opp til 10,9 kHz. De fleste lyttere, uansett alder, hører at det mangler klarhet i lyden fra denne stasjonen pga. manglende diskant.

Referanser

- [A] S. Holm, Audio quality on the air in DAB digital radio in Norway, skal presenteres på Audio Eng. Soc. 31st International Conference, London, UK, 2007 June 25–27.
- [B] G. A. Soulodre, "Subjective Evaluation of Stereo Audio Coders for Digital Radio" presentation at the WorldDAB General Assembly Barcelona, Oct. 2004.
- [C] Telefonsamtale med G. A. Soulodre, Camden Labs, Canada, mars 2007.



Sammendrag

Denne analysen av lyd kvaliteten i DAB er laget uavhengig av aktørene bak DAB og er et forsøk på å balansere deres informasjon.

Ved måling på lydsignalet og ved uformelle lyttetester har vi funnet at DAB har følgende problemer:

- Stereobildet er utsmurt pga. utstrakt bruk av intensitetsstereo-koding. Ofte kan stereobildet mangle fokus slik at instrumentenes plassering i rommet er gal, i visse tilfeller blir det også feil balanse mellom en sanger og bakgrunnsmusikken.
- Det er vanligvis ingen diskant over en så lav frekvens som 14 kHz og resultatet er manglende klarhet og et ullent lydbilde. Det er særlig unge mennesker som hører denne forringelsen, noe som er svært uheldig da disse er målgruppen for mange av radiostasjonene som f.eks. P3.

Årsaken er at bitratene i dag er vesentlig lavere enn de som er anbefalt ut fra vitenskapelig evaluering av lyd kvalitet, dvs. lavere enn de 192 - 256 kbps som ble forespeilet Stortinget i 1998 da DAB ble debattert.

Når kapasiteten er mest utnyttet, sender stasjoner med musikk i Oslo med følgende bitrater:

- Tre stasjoner sender på 160 kbps med lyd kvalitet som FM: P2, Alltid Klassisk og P4
- Tolv sender på 128 kbps med lavere kvalitet enn FM, inkludert P1 og P3.
- To stasjoner sendes i mono på 80 og 96 kbps (Radio 2 Digital Mox og NRK Barn)

Det ønskelige hadde vært at man sluttet å bruke 128 kbps som vanlig datarate for musikk, og hevet slike stasjoner til 160 kbps. Mer krevende materiale burde sendes med samme kvalitet som mp3 på 128 kbps dvs. på 192 kbps i DAB. Det er i dag ikke kapasitet til å heve bitratene til dette nivået, så DAB-nettet må sies å være underdimensjonert i forhold til kravet om anstendig lyd kvalitet.

DAB-aktørene ber oss om å velge mellom FM, med best lyd kvalitet for stasjonære mottakere, og DAB som er best i bil. I dag er dette en helt unødvendig problemstilling da det ikke er noen teknologiske hindringer for å lage en digital radio som er bedre enn FM på alle punkter:

- Mottak uten skurr i bil
- Kapasitet til alle stasjoner man ønsker
- Lyd med nær CD-kvalitet



Summary in English

This analysis of the audio quality of DAB has been made independently of the broadcasting companies and aims at balancing their information.

Through measurement of the audio signal and through informal listening, we have found that DAB suffers from several problems:

- The stereo image is smeared due to heavy use of joint stereo coding. Often the stereo image lacks focus and gives incorrect localization of instruments, in certain cases there is also incorrect balance between a vocalist and the background music.
- The treble cut-off frequency is usually as low as 14 kHz and the result is a lack of brightness and a veiled sound stage. In particular young people will notice this degradation. As young people are the target group for some of these stations, such as P3, this must be considered to be very undesirable.

The reason is that the bit rates for all the channels in the Norwegian DAB network today are much lower than what scientific evaluation of audio quality has recommended, i.e. lower than 192 - 256 kbps which was projected when DAB was debated in Stortinget (Norwegian Parliament) in 1998.

When the capacity is fully utilized, stations with music in the Oslo area use these bit rates:

- Three stations use 160 kbps with an audio quality similar to FM: P2, Alltid Klassisk¹ and P4
- Twelve stations use 128 kbps with lower quality than FM, incl. P1 and P3.
- Two stations transmit in mono at rates of 80 and 96 kbps (Radio 2 Digital Mox and NRK Barn²)

It would have been desirable to stop using 128 kbps as the standard bit rate for music, and use 160 kbps instead. More demanding material should have the same quality as mp3 at 128 kbps, i.e. 192 kbps in DAB. As of today, there is not capacity to increase bit rates to these levels, so the DAB network has too low capacity with respect to requirements for decent audio quality.

The broadcast companies want us to make a choice between FM, with the best audio quality in stationary receivers, and DAB which is best in a car. Today this is an unnecessary choice as there are no technological problems in making a digital radio which is better than FM on all accounts:

- Reception without garbling in cars
- Capacity for all the stations one wants
- Audio with near-CD quality

¹ 24 hours classical music

² Program targeted at children



Innhold

Sammendrag	2
Summary in English.....	3
1 Introduksjon	5
2 DAB og lyd kvalitet.....	6
2.1 Faktorer som påvirker lyd kvalitet.....	6
2.2 Kan lyd kvalitet måles?.....	7
2.3 Tidligere anbefalinger	8
3 Datarater for DAB 2006/2007	9
4 Spektrum av mono- og stereokomponentene.....	11
4.1 CD.....	12
4.2 MP3 192 kbps	12
4.3 MP3 128 kbps	13
4.4 FM stereo	13
4.5 DAB 192 kbps.....	14
4.6 DAB 160 kbps.....	14
4.7 DAB 128 kbps.....	16
4.8 DAB i mono.....	19
5 Diskusjon	21
5.1 Stereobilde	21
5.2 Manglende diskant og birdies	21
5.3 Forbedrede mp2-kodere	22
5.4 Sammenligning mellom DAB, FM og mp3.....	22
6 Konklusjon.....	23
7 Referanser	23
Vedlegg 1: Koding med MPEG-1 lag II og intensitetsstereo	24



1 Introduksjon

DAB³ digital radio blir markedsført som et stort sprang framover i kvalitet i forhold til FM⁴. De fleste forbinder også ordet digital med god kvalitet.

Likevel nøler de fleste land i Europa med DAB, og i dag er det bare Storbritannia, Danmark og Norge som satser for fullt.

I Norge har Stortinget bestemt at det er markedet, dvs forbrukerne, som skal bestemme takten for overgang fra FM til DAB. Men så og si all informasjon om DAB utgis av aktørene, dvs. hovedsaklig Norkring, NRK og P4. Disse har økonomiske interesser i å fase ut FM til fordel for DAB pga. kostnader ved distribusjon og mulighetene for å bli mer konkurransedyktige gjennom et bredere og mer fleksibelt programtilbud.

Det er mye mindre informasjon tilgjengelig ut fra brukernes ståsted. Derfor er det behov for en analyse av DABs kvalitet fra et mer nøytralt ståsted og basert på hva forbrukerne vil få. Hensikten med denne rapporten er derfor å gi en analyse av lyd kvaliteten i DAB og om mulig å bidra til en mer faktabasert diskusjon om DAB.

Arbeidet med rapporten ble startet ut fra den observasjonen at dataraten pr kanal i DAB er blitt redusert med årene. Rapportens fokus er derfor å undersøke og dokumentere effekten av dette på lyd kvaliteten.

Vi starter med en gjennomgang av målinger av lyd kvalitet og studier av sammenhengen mellom lyd kvalitet og datarate.

Deretter dokumenteres de aktuelle bitratene som de forskjellige kanalene sendes på i DAB i Oslo-området.

Rapporten viser så en analyse av lyden fra et utvalg av stasjoner på DAB. Vi har funnet at spektrene for monosignalet (summen av venstre og høyre kanal) og stereosignalet (differansen) gir et godt objektivi mål.

Vi bruker så disse for å vurdere to kritiske parametre for lyd kvalitet: Høyeste diskantfrekvens og stereobredde.

³ Digital Audio Broadcasting

⁴ Frekvensmodulasjon



2 DAB og lyd kvalitet

2.1 Faktorer som påvirker lyd kvalitet

Da utviklingen av DAB startet på slutten av 80-tallet var målene [1]:

- 1) Audiokvalitet sammenlignbar med CD
- 2) Full kvalitet i bil, selv ved høye hastigheter
- 3) Effektiv utnyttelse av radiospektret
- 4) Kapasitet for tilleggsdata
- 5) Lav sendeeffekt
- 6) Mottakere som var enkle å bruke
- 7) Europeisk og helst verdensvid standard

DAB er utvilsomt en suksess når det gjelder punktene 3. – 6. Spesielt punktene 2. - 5. er grunnen til at kringkasterne anser DAB for å være fremtiden for radio. De to punktene som angår lyd kvalitet er 1. og 2. Punkt 1 angår særlig **lydkoderen** og punkt 2 **radiosambandet**.

Når det gjelder **radiodelen** så har kvalitet ved mottak i bil vært et vesentlig moment ved utviklingen av DAB. Dette er også en av DABs store fordeler da forringelsen av FM-signaler (skurr) pga. flerveistransmisjon i komplisert terreng er borte. Da FM ble utviklet på 30-tallet var det mottakere i hjemmet som var i fokus, og mobilt mottak i bil var ikke viktig. Også på 50-60 tallet da FM kom til Norge, var det slik. Men dette har vist seg å være en av svakhetene ved FM, og noe som DAB forbedrer i vesentlig grad.

DAB kritiseres likevel for manglende dekning og svake radiosignaler, dvs. lyd kvalitetsproblemer pga. radiosambandet. Det kan være klager på dekning i tunneler, daler eller bak åser. Men dette kan løses ved å bygge flere eller sterkere sendere, og det vil helt sikkert bli løst etter hvert, slik det er blitt gjort for FM-nettet.

I analysen av kvaliteten til **lydkoderen** bygger vi på at mange har mulighet for et godt FM-signal uten særlig sus, da utbyggingen av FM i Norge over de siste 40-50 år må sies å ha vært en suksess. Dette gjelder særlig for stasjonære mottakere, men gjelder ofte også i bil, i hvert fall i områder der det er rimelig flatt og ikke for mange fjell og åser. Fokuset i denne rapporten er på hva som vil skje med lyd kvaliteten for disse lytterne, så referansen er hele tiden et tilnærmet perfekt FM-signal.

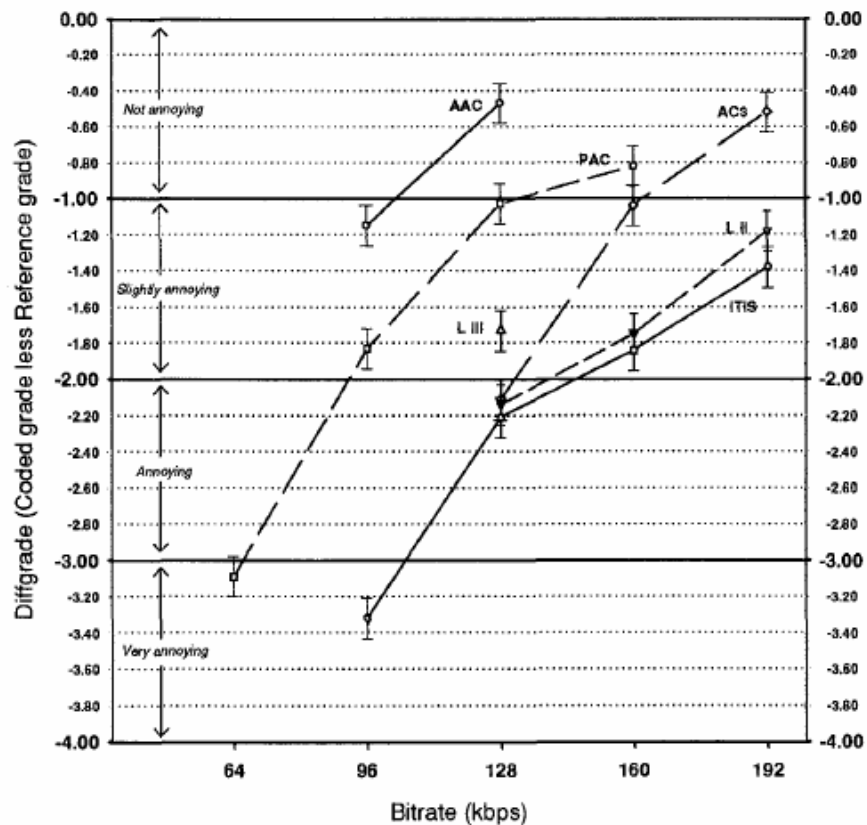
La oss også føye til at det noen ganger kan være vanskelig å skille lyd problemer som skyldes radiosambandet fra kodingsartefakter. Lavrate lyd kan ha kodingsartefakter i diskanten (birdies). Disse kan forveksles med bitfeil ved for lavt signalnivå, slike feil høres ut som smell eller bobling. Sannsynligheten taler for at de som regel skyldes for lavt signalnivå, da kodingsartefaktene er mye mer subtile og opptrer sjeldnere.

2.2 Kan lyd kvalitet måles?

I visse debattinnlegg får man inntrykk av at lyd kvalitet er noe subjektivt som er umulig å måle. Dette er ikke riktig, men det er lett å forstå hvorfor, da det i lydteknisk sammenheng brukes ord som kan bidra til å gi et slikt inntrykk.

Man skiller mellom subjektive og objektive kvalitetsmål. Som objektive mål bruker vi her for eksempel analyse av spektret for å finne høyeste diskantfrekvens i signalet. Subjektive kvalitetsmål betyr slikt som måles ved lytterpaneler, og som ikke kan måles ved å regne på signalene. Subjektiv testing gir et like vitenskapelig og objektive resultat som enhver annen statistisk undersøkelse, f.eks. en Gallup – med de samme krav om stort nok antall mennesker man spør og nok antall lydutsnitt man prøver med.

Undersøkelsen i [2] er resultatet av en slik undersøkelse der 24 forsøkspersoner ga sin mening i en dobbelt-blindtest. De startet med 80 lydutsnitt. Dette ble i løpet av testen redusert til de åtte utsnitt som var mest representative for å få fram svakheter i koderne. Resultatene ble presentert i Journal of the Audio Engineering Society, et av de fremste fora for studier av lyd i verden. Den viktigste figuren er Fig 1 på side 17 som er gjengitt her.



Figur 1 Opplevd lyd kvalitet for forskjellige lydkodere ved forskjellige bitrater. De relevante er LII og ITIS som er MPEG-1 layer II (mp2) og LIII som er MPEG-1 layer III (mp3). Andre er AAC: MPEG Advanced Audio Coder, PAC: Lucent Perceptual Audio Coder og AC3: Dolby Digital (Fra [2]).



LII og ITIS er to forskjellige implementeringer av MPEG-1 layer II (mp2) i henholdsvis software og hardware, dvs den koderen som brukes i DAB. Resultatene for disse koderne er nesten like og er vist til høyre. Det viser:

- DAB på 128 kbps – irriterende
- DAB på 160 kbps – så vidt irriterende
- DAB på 192 kbps – så vidt irriterende, men likevel nær CD

Dessuten ser man at mp3 på 128 kbps (LIII) oppleves som noe bedre enn 160 kbps DAB.

2.3 Tidligere anbefalinger

Stortingsmelding 62 fra 1997 [3] ga anbefalinger som var helt i tråd med resultatene fra denne lyd kvalitets testen:

”For ein monosending trengst det frå 32 kbits/s og oppetter. For ein stereosending vil den vanlegaste bitfarta vere 192, 224 eller 256 kbits/s.”

Behandlingen i Stortinget i 1998 [4] bygde på dette:

”Fra Regjeringens side er det i denne stortingsmeldingen heller ikke lagt opp til den store mediepolitiske debatten. Det blir gitt en orientering om forberedelsene til den digitale radiorevolusjonen, overgang til Digital Audio Broadcasting - DAB - digital radio. Digital radio vil ha høy kvalitet, i praksis CD-lyd på radio, lytterforholdene vil være like gode overalt, noe som ikke minst vil bety mye for bilradioen. Komiteen viser til den brede enigheten som har vært om innføring av DAB, og er fornøyd med de forberedelsene som er gjort så langt.”

BBC Forskning og Utvikling sitt white paper fra 2003 sier også det samme [5]:

”A value of 256 kbit/s has been judged to provide a high quality stereo broadcast signal. However, a small reduction, to 224 kbit/s is often adequate, and in some cases it may be possible to accept a further reduction to 192 kbit/s, especially if redundancy in the stereo signal is exploited by a process of ‘joint-stereo’ encoding (i.e. some sounds appearing at the centre of the stereo image need not be sent twice). At 192 kbit/s, it is relatively easy to hear imperfections in critical audio material.”

Som i Norge, neglisjeres denne anbefalingen i Storbritannia, der det meste sendes med 128 kbps.



3 Datarater for DAB 2006/2007

DAB sendes i Norge i to blokker. Riksblokken, Norge Riks, har følgende fordeling av kapasitet:

NRK P2	160
NRK Klassisk	160
P4	160
NRK P1 Hordaland	128
NRK P3	128
NRK Sami	128
P4Bandit	128
R2D Moox Live	80 mono
NRK Nyheter	56 mono
Ledig	24
TOTAL	1152

Den fordelingen har vært uforandret i tidsrommet november 2006 - januar 2007. Da P4Bandit kom på luften 1. november 2006 gikk Radio 2 Digital sin stasjon Moox ned i lyd kvalitet. Det samme gjorde P4. Musikkkanalen Moox gikk fra stereo og ned til 80 kbps og mono, og er til nå den eneste musikkkanalen i DAB som går i mono i Norge.

Lokalblokken i Oslo-området er "Region Oslofjord". Dens fordeling av kapasitet varierer over dagen ut fra hvor mange lokalkanaler som NRK trenger. Vi har observert følgende variasjon:

		Uten regional	Regional (formiddag)	Full regional (morgen, ettermiddag)
P1 Oslofjord		192	192	128
P1 Oslo	=Oslofjord			
NRK Gull		192	160	128
P1 Østfold		192	160	128
P1 Buskerud	ofte=Østfold		160	128
P1 Telemark	ofte=Buskerud			128
P1 Vestfold	ofte=Buskerud			128
mP3		192	160	128
Folkemusikk		160	160	128
NRK Barn		192	128	96 mono
met Oslo		32 mono	32 mono	32 mono
Ledig		0	0	0
TOTAL		1152	1152	1152



Merk at tidligere, f.eks. 2. nov 2006, var det 160 kbps ledig kapasitet i denne blokken slik at de bitratene som ble rapportert i [6] som gjelder for formiddag, er noe lavere enn de som nå står her.

Pga. den varierende bitraten er det verdt å merke seg at innholdet i utsagn som at ”lydkvaliteten på P1 på DAB er bra eller dårlig” kan være helt avhengig av når på dagen det ble lyttet. Det samme gjelder for NRK Gull, NRK Folkemusikk, mP3 og NRK Barn.

De rene talekanalene NRK Nyheter og ”met Oslo” sender også i mono. Men ren tale lider mye mindre enn musikk ved koding, så vi har ingen problemer med at de sendes på så lav kapasitet og i mono. Tale inneholder ikke så mye energi over 8 kHz, og få har problem med taleforståelse over fasttelefon selv om den fjerner alt som er over 3.4 kHz. Det er ikke før man går over til digital GSM-telefon at kodingsartefaktene blir godt hørbare. Dette er grunnen til at man gjerne gjør litt ekstra innsats i radio og TV for å få intervjuobjekter vekk fra en mobiltelefon og over på en fasttelefon for et intervju.

GSM er forøvrig et eksempel på at digital lyd ikke er det samme som topp lyd kvalitet, men at brukerfordelene likevel er så store at de færreste savner det analoge NMT-systemet. Mobiltelefon har også vunnet terreng i forhold til fasttelefon med sin mye bedre lyd kvalitet, som forøvrig også er digital.

Status pr i dag er altså at når kapasiteten utnyttes fullt ut i DAB-nettet er det tre stasjoner som sender på 160 kbps (P2, Alltid Klassisk og P4) og tolv som sender på 128 kbps. NRK Barn som har mye musikkinnslag sender på 96 kbps mono og den rene musikkanalen Moox sender på 80 kbps mono.



4 Spektrum av mono- og stereokomponentene

For å få fram effekten av koding ble DAB-signalet analysert ved å ta summen og differansen mellom venstre (L) og høyre (R) kanal:

$$M = L + R$$

$$S = L - R$$

Summen representerer fellesinnholdet i de to kanalene, dvs. monodelen eller midtsignalet. Spektret, dvs. fordelingen over frekvens vises så i blått i figurene på de neste sidene (bakerste kurve). Dette viser først og fremst hvor mye av diskanten som eventuelt mangler. Bortsett fra for de rene talekanalene ble det brukt musikksignal som hadde mest mulig energi over hele spektret for å få fram egenskapene ved koderen, og ikke egenskapene til programinnholdet akkurat da.

Differansen mellom de to kanalene er et uttrykk for stereoinnholdet eller sidesignalet. Det blir nærmest null for et monosignal. Dette er vist i fiolett i figurene på de neste sidene (fremste kurve). Hvis differansen er liten for høye frekvenser, er det et uttrykk for at kodingen har fjernet hele eller deler av stereoinformasjonen.

Det ble brukt ca 1 minutt med data for å midle nok til at resultatene ikke blir for avhengige av musikken akkurat i øyeblikket. Spektralanalysen ble gjort med en FFT⁵ som var såpass lang som 16384 samples for å få oppløsning nok til å få fram ved hvilken frekvens energien forsvant. Det ble også brukt Blackmann-Harris vindu for å unngå lekkasjer i spektret.

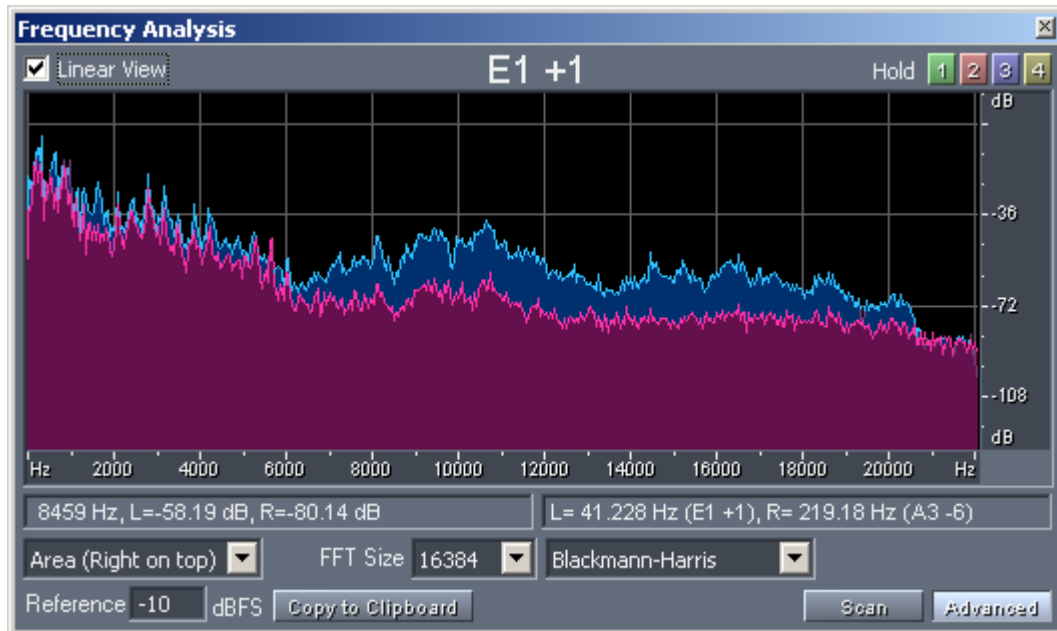
Utstyret som ble brukt var:

- DAB-tuner: Matsui, DA-1 med Frontier Silicon Chorus FS1010 DAB-prosessor med analog utgang.
- Lydkort: E-Mu 1616 halvprofesjonelt eksternt lydkort som samplet ved 48 kHz
- Analyseprogram: Adobe Audition versjon 1.5.

⁵ Fast Fourier Transform

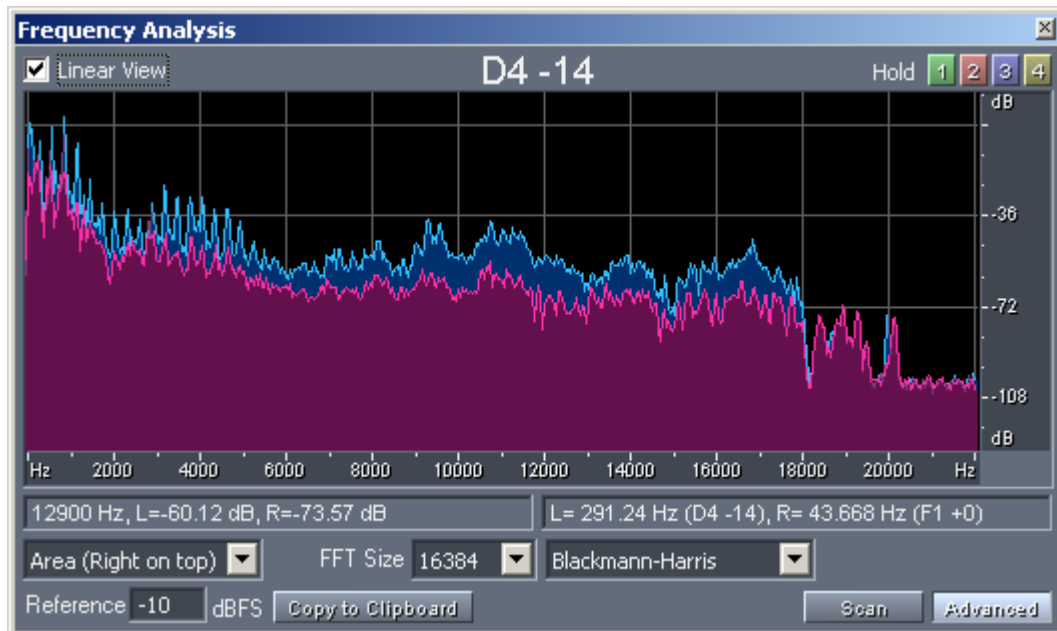


4.1 CD



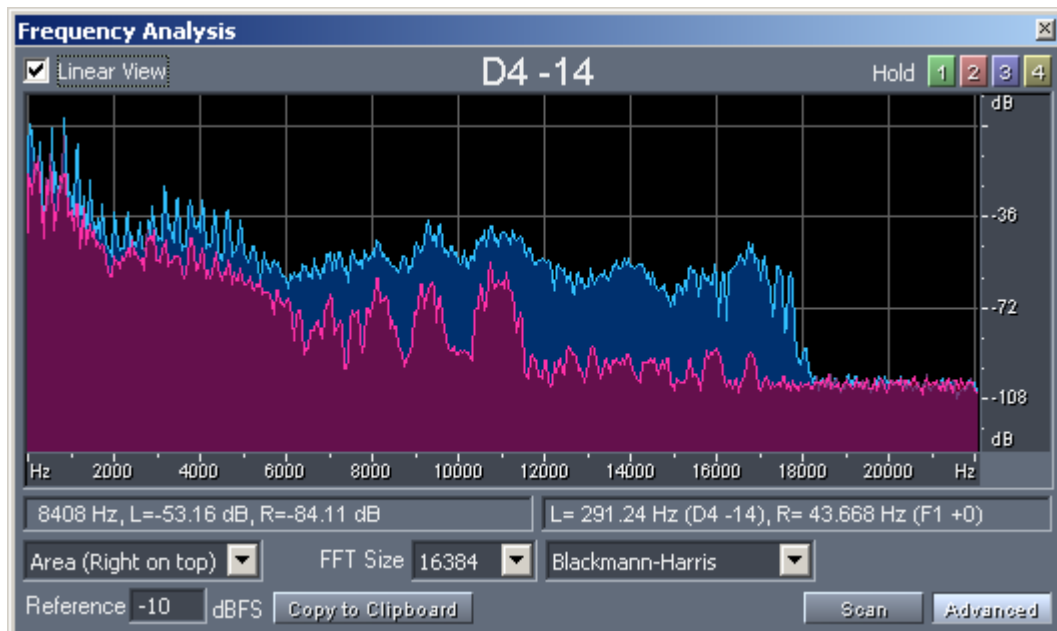
CD: "30 years' fidelity", Kirkelig Kulturverksted, Månens kraft, Kari Bremnes: Det finnes frekvenser til over 20 kHz (blått) og innholdet i stereosignalet (fiolett) er fordelt over alle frekvenser.

4.2 MP3 192 kbps



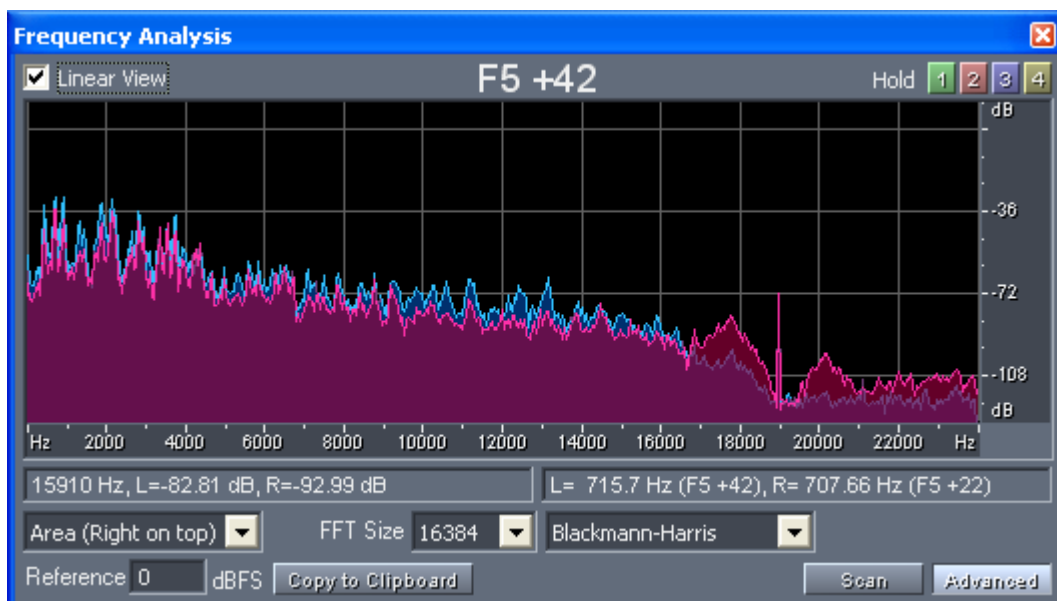
MP3, 192 kbps: Mp3-koderen i iTunes 7 ble brukt på forrige signal. 192 kbps kalles i iTunes "Høyere kvalitet". I forhold til CD-signalet er diskanten kuttet over ca 19-20 kHz.

4.3 MP3 128 kbps



Mp3, 128 kbps: I Itunes 7 blir dette kalt ”God kvalitet”. Nå kuttes alle frekvenser over 18 kHz, og det er nesten ingen stereoeffekt over 11 kHz som er bevart. Dessuten mangler det stereosignal i visse bånd i 8-10 kHz området.

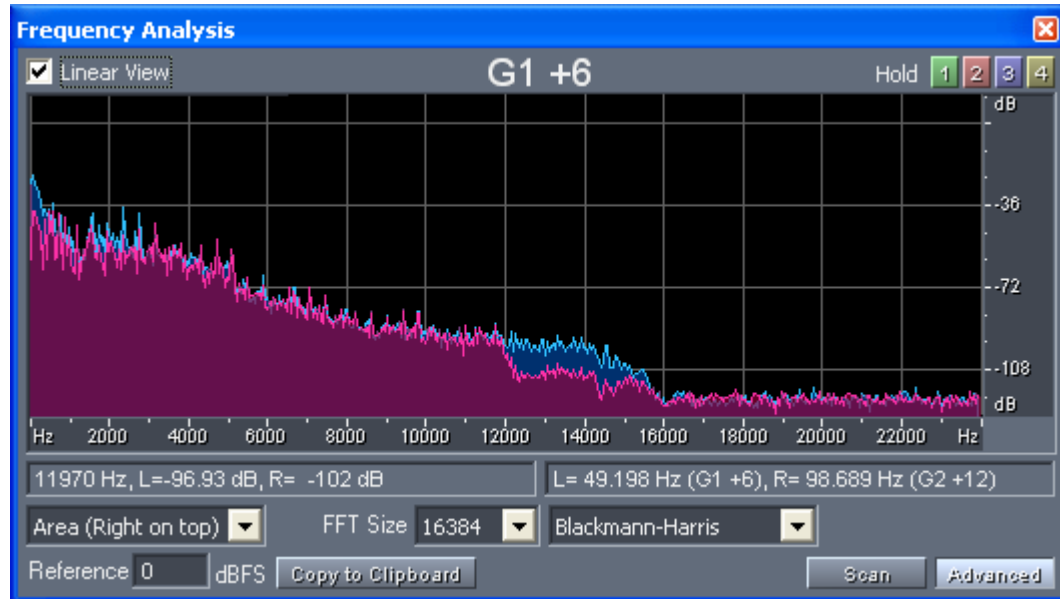
4.4 FM stereo



Alltid Klassisk, FM: Spektret holder seg omtrent flatt til 14 kHz og faller så gradvis av, i tråd med de 15 kHz som FM har som båndbredde. Det er noen artefakter over 15 kHz i stereokomponenten (fiolett), bl.a. pilottonen på 19 kHz. Den brukes for overføring av stereo, men er svak da den er ca 40 dB under hovedkomponentene.

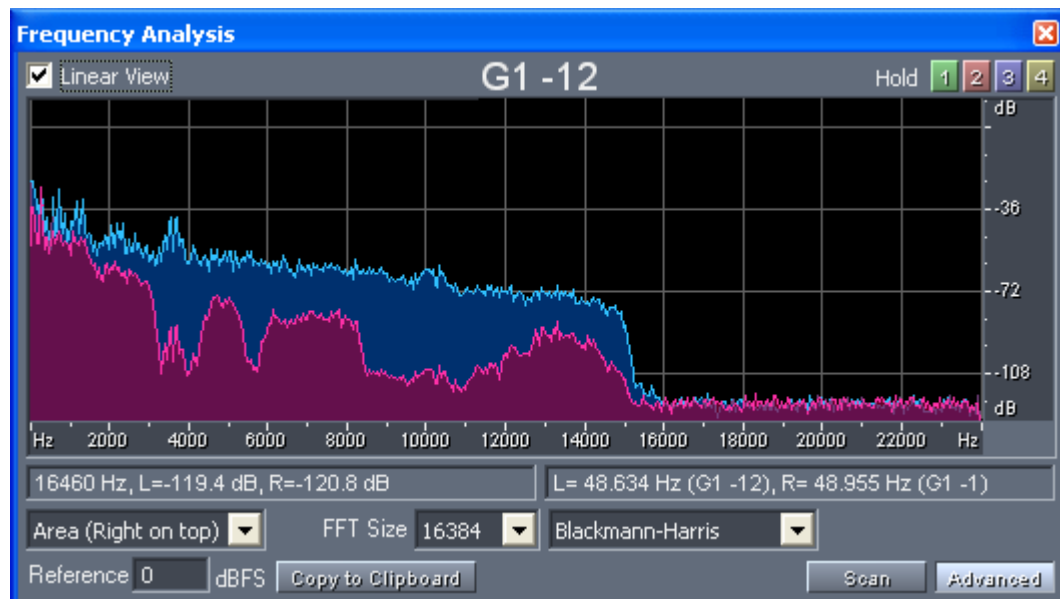


4.5 DAB 192 kbps

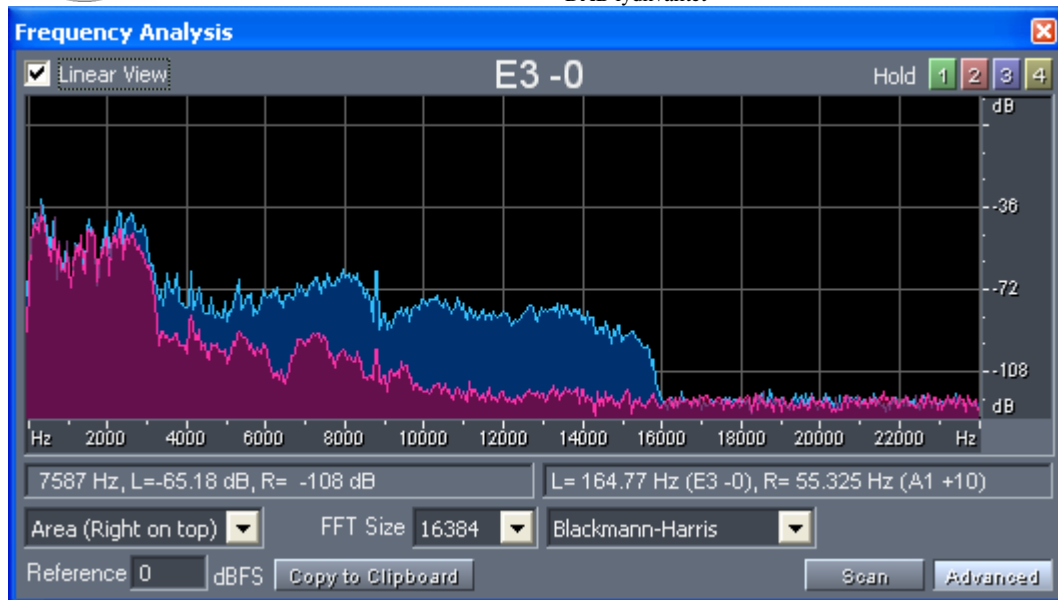


P1 Oslo 192 kbps: Også her er stereokomponenten (fiolett) omtrent like sterk som monosignalet (blå). Det er informasjon opp til nesten 16 kHz, som kan tyde på at bånd 0 – 20 brukes (se Vedlegg 1) og at øvre frekvens dermed er 15.75 kHz. Det er også stereoinformasjon over hele spektret. Fallet i stereoinformasjon ved 12 kHz kan tyde på at det brukes intensitetsstereo-koding fra 12 kHz og oppover, dette er i tilfelle svakeste grad av intensitetsstereo-koding.

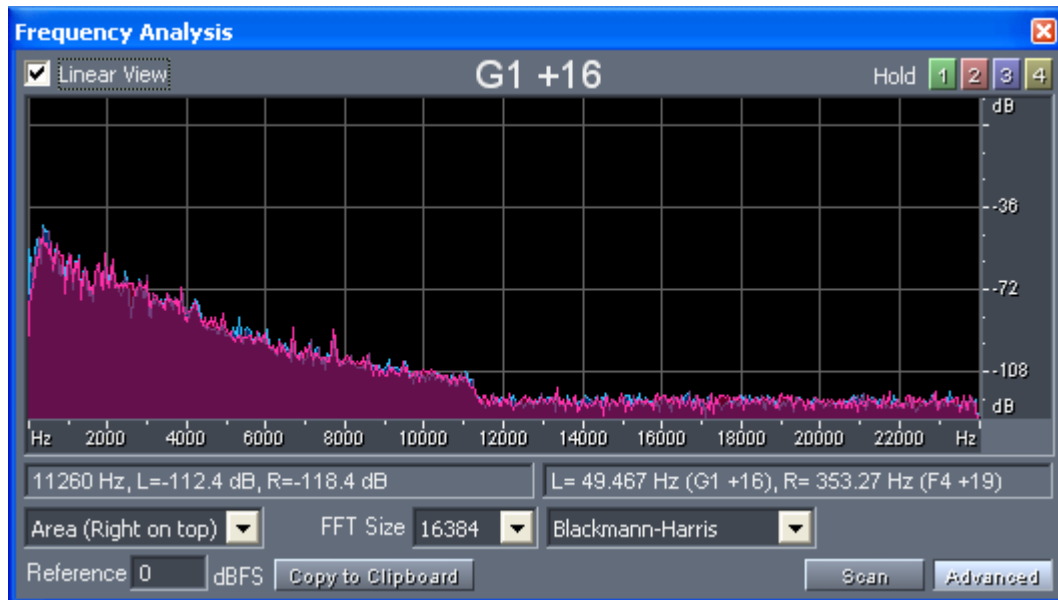
4.6 DAB 160 kbps



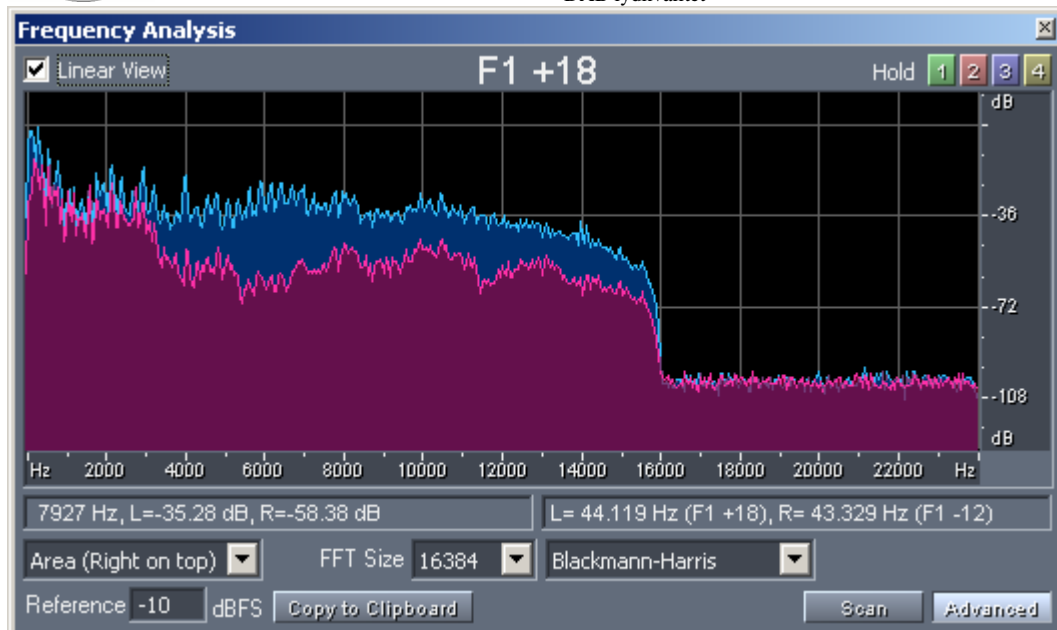
P2 160 kbps: Det er ingen diskant over 15000 Hz, dvs. båndene 0 til 19 er med, og det er stereoinformasjon over hele båndet, men mest opp til 3 kHz.



NRK Alltid klassisk (160 kbps): Her er det tatt med frekvenser opp til nærmere 16 kHz som for P4. Det er stereoinformasjon over omtrent hele båndet, men det er et klart fall ved 3 kHz, noe som tyder på at det brukes stereointensitets-koding av sterke grad.

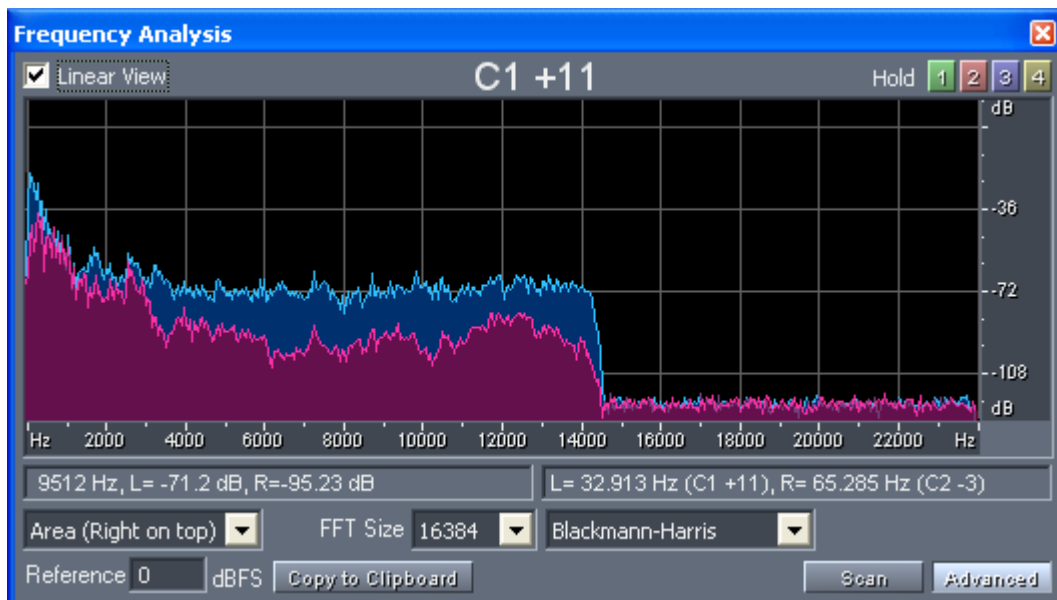


NRK Alltid klassisk, sample 2 (160 kbps): Vi har observert at øvre frekvens på Alltid Klassisk varierer en del, og noen ganger kan være så lav som 11.250 kHz som vist her. Her har stereoinformasjonen samme båndbredde som monosignalet. Den lave diskantgrensen kan enten skyldes programmateriale i seg selv, men mest sannsynlig er det at koderen er nødt til å kutte så mye diskant for å klare denne typen program med full stereobredde (eksemplet er kammermusikk).

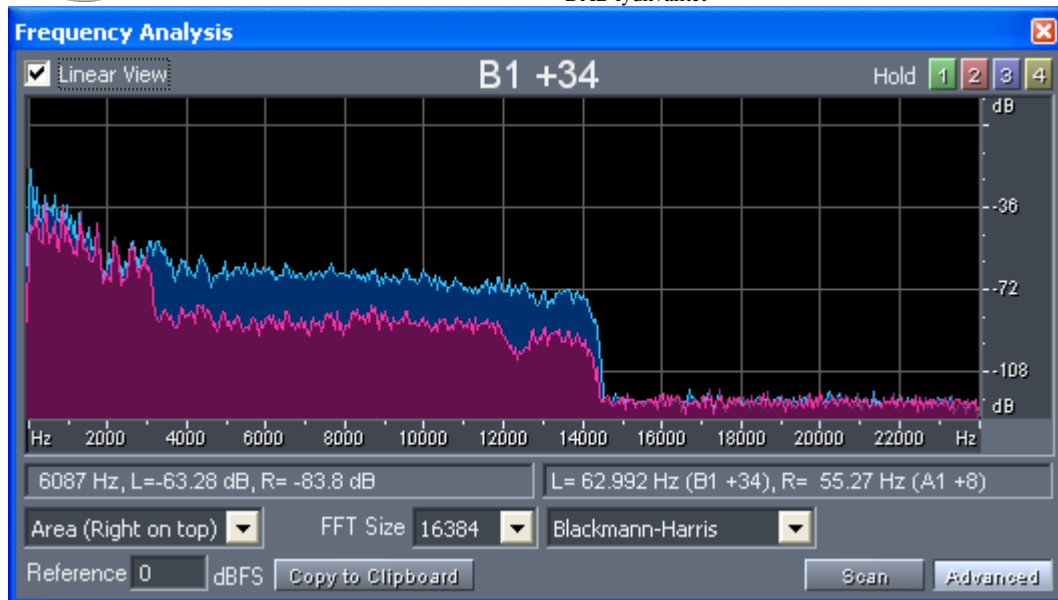


P4 160 kbps: Sumsignalet (det blå) har frekvenser opp til nesten 16 kHz, dvs. at båndene 0 til 20 er med, dvs. opp til og med 15750 Hz. Differansesignalet (fiolett) viser at det er et fall over 3 kHz på minst 20 dB.

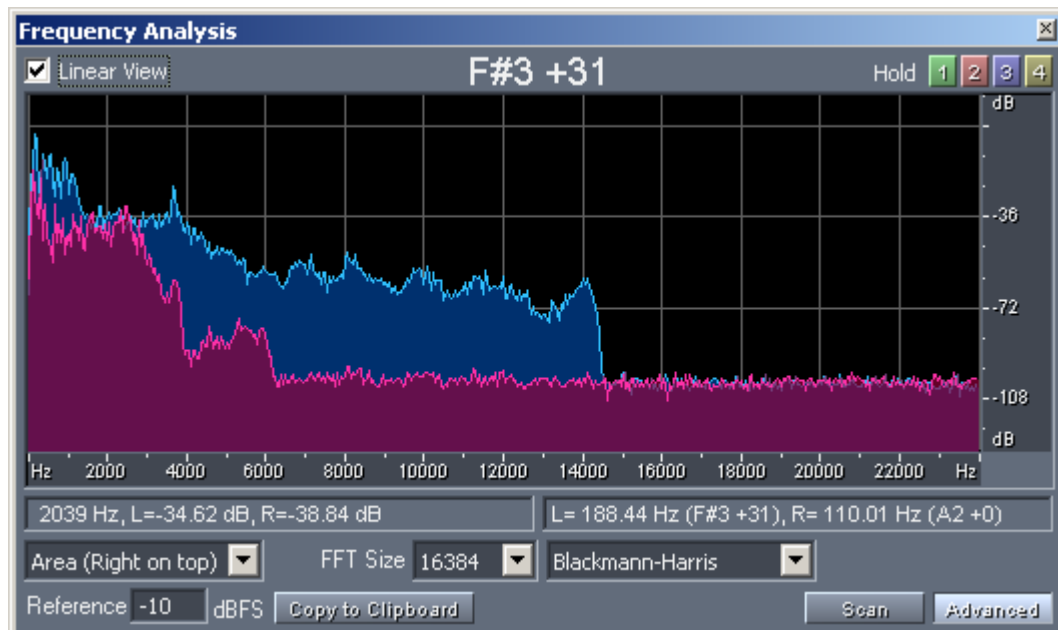
4.7 DAB 128 kbps



P1 ved 128 kbps: Sumsignalet (det blå) for 128 kbps har frekvenser opp til litt over 14 kHz, det kan tyde på at båndene 0 til 18, dvs. opp til 14250 Hz er tatt med. Det er tydelig at det er mye mindre stereoinformasjon over 3 kHz, noe som kan tyde på at den kraftigste form for intensitetsstereo-koding brukes.

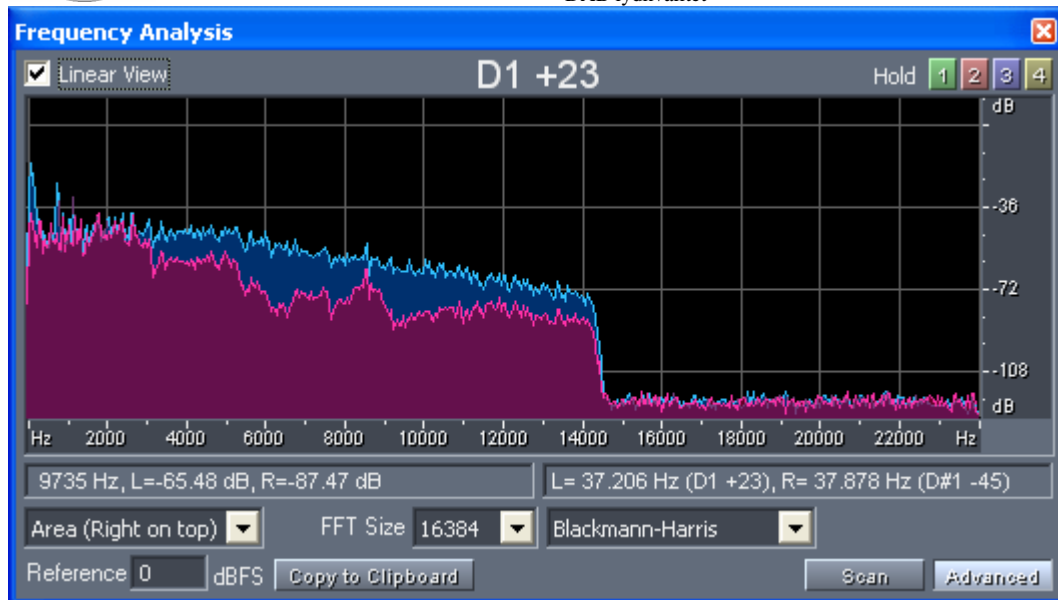


P3 ved 128 kbps: Egenskapene er som for P1 ved 128 kbps.



P4Bandit (128 kbps): Det har samme knekkfrekvens som P1 (14250 Hz). Som for P1 og P3 er det tydelig at det er mye mindre stereoinformasjon over 3 kHz. Differansesignalet viser dessuten at det ikke er noe signal over 6 kHz, altså er all stereoinformasjon borte for den høyeste diskanten.

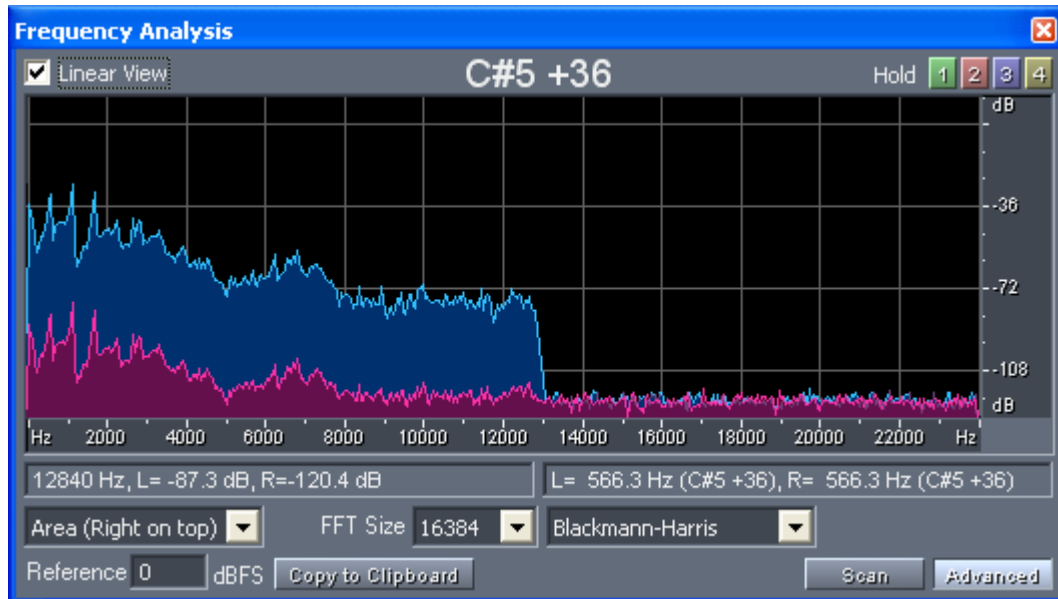
Bortfallet av stereoinformasjon over 6 kHz gjorde at vi foretok en analyse til for å se om dette skyldes musikkutvalget eller kodingen.



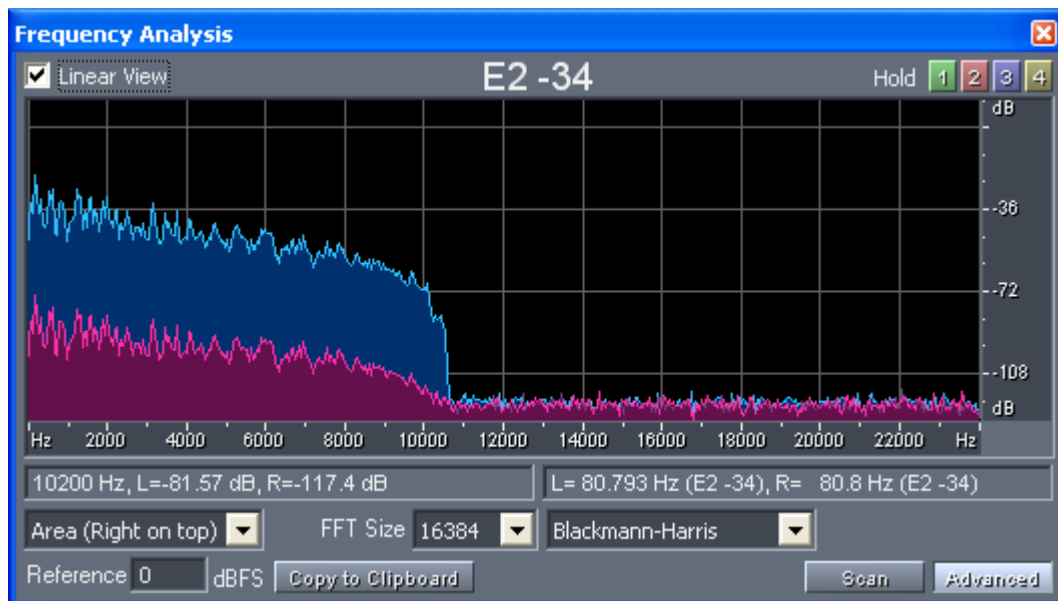
P4Bandit, 128 kbps, sample 2: I dette tilfellet er det stereoinformasjon over hele båndet opp til 14 kHz som for P1 og P3, så forrige eksempel skyldtes nok kombinasjonen av kodingen og musikken.

Uansett illustrerer det hva DAB/mp2 på 128 kbps noen ganger gjør med signalet. Merk at dette ikke har noe med P4Bandit å gjøre, men sannsynligvis kombinasjonen av koderen og programmateriale. Det kunne sannsynligvis ha skjedd med hvilken som helst kanal ved denne raten.

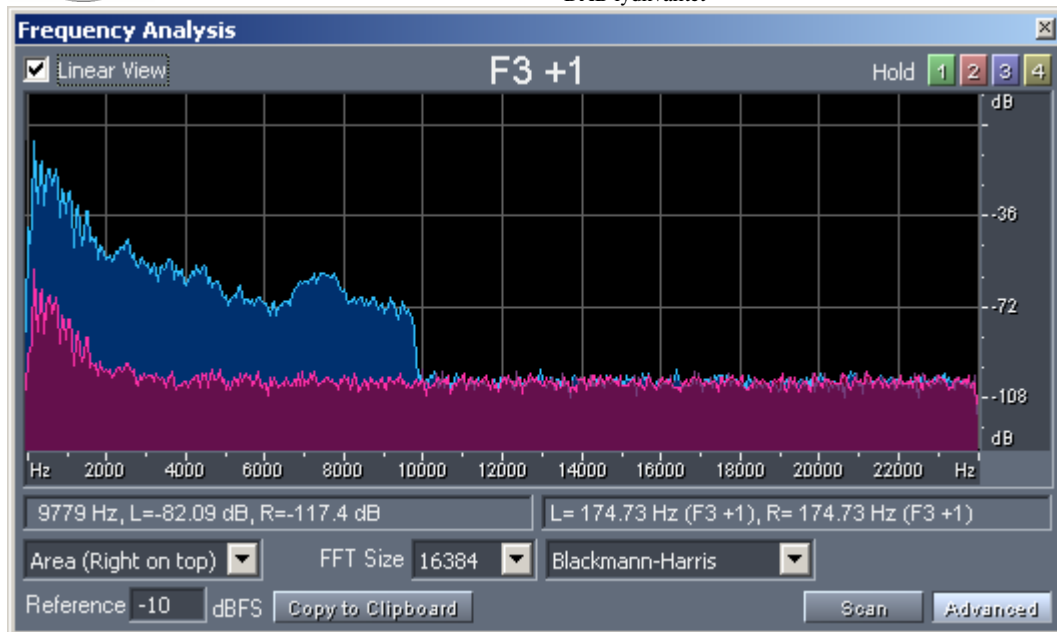
4.8 DAB i mono



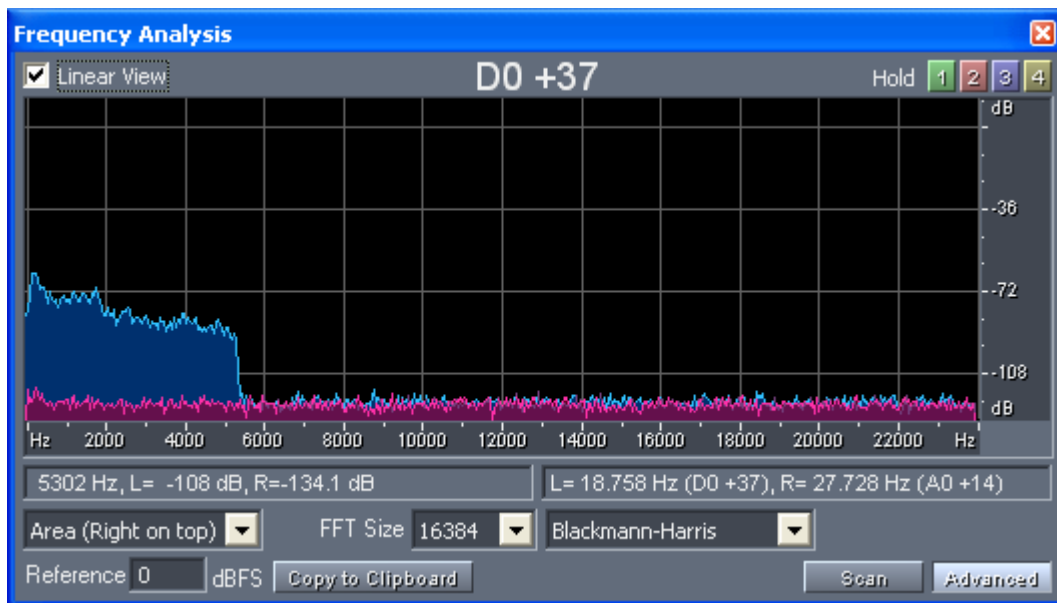
Alltid Barn (96 kbps, mono): Her er det med frekvenser opp til nesten 13 kHz. Det kan tyde på at båndene 0-16 er med, dvs. frekvenser opp til og med 12.75 kHz. Stereokomponenten ligger ca 40 dB under monosignalet og inneholder i praksis ingen informasjon, som ventet for et monosignal.



Moxx (80 kbps, mono): Musikk kanal som går i mono. Øverste diskant er omtrent 10-11 kHz. Det kan tyde på at samplertaten er redusert til 24 kHz og at båndene 0-27 er med, dvs. frekvenser opp til 10.5 kHz.



Alltid nyheter (56 kbps, mono): Her er det med frekvenser opp til nesten 10 kHz. Det tyder også på at samplertaten er 24 kHz og at båndene 0-25 er med, dvs. frekvenser opp til og med 9.75 kHz.



Met Oslo (32 kbps, mono): Diskanten kuttet ved omtrent 5.25 kHz, dvs. at det er nesten samme båndbredde som AM-sendinger på lang- og mellombølge (ca 4.5 kHz).



5 Diskusjon

Vi har analysert et utvalg stasjoner på DAB med tanke på stereobilde og diskant.

5.1 Stereobilde

En av svakhetene ved MPEG1 lag II er systemet for delvis å slå sammen frekvensbånd på høyre og venstre kanal for å spare bit, intensitetsstereo-koding. Det kaller Norkring for å "*jukse med gjengivelse av stereo*" [11]. Dette gjør at det blir feil i fasingen mellom kanalene. Konsekvensen er utsmøring i stereobildet og tap av fokus.

Vi har funnet at ved 192 kbps brukes den mildeste form for intensitetsstereo-koding som starter ved 12 kHz. Ved 128 og 160 kbps brukes ofte den kraftigste form for intensitetsstereo-koding, den som påvirker all diskant over 3 kHz. Lyttetester på P1 ved 128 kbps har også vist at stereobildet ofte kan mangle fokus, og instrumentenes plassering i rommet blir gal. I visse tilfeller blir det også feil balanse mellom en sanger og bakgrunnsmusikken.

Effekten minner om den man får ved kunstig stereo, dvs. der man kunstig genererer to kanaler fra et monosignal, eller den man får ved å legge på kunstig bredde i et stereosignal ('stereo wide' eller 'ambiance'). Man får romfølelse, men det er ikke mulig å finne ut hvor noen ting er plassert.

5.2 Manglende diskant og birdies

DAB kutter drastisk i diskanten for å spare bit. Vi har funnet følgende øvre grenser for diskant:

Stereosendinger:

- 192 kbps: 15.75 kHz
- 160 kbps: 15 eller 15.75 kHz
- 128 kbps: 14.25 kHz

Monosendinger:

- 96 kbps: 12.75 kHz
- 80 kbps: 10.5 kHz
- 56 kbps: 9.75 kHz
- 32 kbps: 5.25 kHz

Til sammenligning overfører FM stereo opp til 15 kHz og CD opp til omtrent 20 kHz. Det må være nærmere 40 år siden det i det hele tatt var mulig å kjøpe lydforsterkere som ikke dekket 20 kHz. Personlig var det en stor overraskelse og skuffelse å oppdage hvor mye diskanten er kuttet ved 128 og 160 kbps i DAB.

Vi skulle gjerne ha funnet et objektivt mål for å analysere såkalte "birdies" også, dvs. diskantkomponenter som i takt med musikken kobles hurtig inn og ut og som kan høres ut som pip eller småfuglkvitring. Dette er ikke gjort her og må eventuelt være for en senere studie.



Da evnen til å høre diskant for de fleste mennesker blir dårligere med årene, vil det først og fremst være mennesker under 40-50 år som sjeneres av den manglende diskanten og eventuelle birdies.

Da forfatteren av denne rapporten er i en slik alder at gresshoppene er stilnet om sommeren og han heller ikke blir sjenert av pipingen fra gamle TV-apparater (15.625 kHz), kan jeg heller ikke gi noe hørselsinntrykk av om det finnes birdies i kritisk materiale på DAB.

5.3 Forbedrede mp2-kodere

Et argument som høres i DAB-diskusjonen er at lydkoderne er blitt bedre så gamle resultater for lyd kvalitet ikke gjelder. Noen ganger gjøres det en analogi med gratis programmer for mp3-koding og deres varierende kvalitet. Til det er det å si at de beste mp3-koderne alltid har vært gode, men de har ikke alltid vært gratis tilgjengelige. Derfor har mp3-brukere fått inntrykk av at det er store forskjeller, og kanskje til og med at det har vært en utvikling.

Men vi må gå ut fra at Norkring, NRK og P4 alltid bruker profesjonelt utstyr og har de beste koderne. De har ikke endret seg mye da ulempen med standardisering jo nettopp er at utviklingen stoppes. Det gjør det svært vanskelig å få vesentlige forbedringer innenfor de strenge rammene til DABs 13-14 år gamle kodingsstandard.

Analysen i denne rapporten viser også at DAB i dag er såpass presset på kapasitet at det gjøres store kompromisser med lyd kvalitet for å få plass til alle de stasjonene man ønsker.

Det er også noen som knytter håp til at pre-kodere som Harris/Neural Audio sin NeuStar 40 skal kunne forbedre lyden [7]. Det er verdt å merke seg hva den hevder å kunne forbedre:

"... predicts and visually displays when and where the coding artifacts caused by difficult content will occur. Then it subtly modifies the content ahead of actual encoding."

Det vil si at den ikke gjør noe med verken manglende diskant eller stereoinformasjon, bare med eventuelle "birdies".

5.4 Sammenligning mellom DAB, FM og mp3

Ved sammenligning av båndbredde og stereobredde får vi følgende tommelfingerregler:

- FM med godt signal kan ut fra spektrum og stereobredde se ut til å ha høyere kvalitet enn 160 kbps DAB. Hvis vi tar med at det alltid vil være noe sus og forvrengning på FM er det kanskje riktigere å si at 160 kbps DAB omtrent svarer til FM.
- Mp3 ved 128 kbps har en lyd kvalitet som svarer omtrent til DAB ved 192 kbps.

Det siste er ganske forskjellig fra den informasjonen Norkring har på sin web-side [9]:

"Forskjellen i lyd kvalitet på MP3 sammenliknet med MPEG Layer II, er svært liten fra ca.128 kbps (dette er avhengig av lyd materiale) og oppover ..."



6 Konklusjon

Når kapasiteten er mest utnyttet, sender stasjoner med musikk i Oslo med følgende bitrater:

- Tre stasjoner sender på 160 kbps med kvalitet som FM: P2, Alltid Klassisk og P4
- Tolv sender på 128 kbps med lavere lyd kvalitet enn FM, inkludert P1 og P3.
- To stasjoner sendes i mono på 80 og 96 kbps (Radio2Digital Mox og NRK Barn)

Dette er lavere enn de 192 - 256 kbps som er anbefalt, og det har følgende konsekvenser:

- **Stereobildet er utsmurt.** Særlig ved 128 kbps kan stereobildet mangle fokus slik at instrumentenes plassering i rommet blir gal, i visse tilfeller blir det også feil balanse mellom en sanger og bakgrunnsmusikken. Det er bemerkelsesverdig at fremtidens radiosystem skal ha slike defekter når mange i dag er opptatt av romlig lyd og investerer i 5.1 surround-anlegg med 6 eller flere høyttalere.
- **Diskanten mangler.** 160 kbps gjengir diskant opp til 15 - 16 kHz, mens stasjonene på 128 kbps gjengir diskant opp til 14 kHz. Til sammenligning gjengir FM-systemet opp til 15 kHz, og selv ganske kraftig komprimert mp3 (128 kbps) inneholder diskant opp til 18 kHz. Resultatet er manglende klarhet og et innpakket lydbilde. Det er særlig unge mennesker, under 40-50 år, som hører denne forringelsen, noe som er svært uheldig da disse er målgruppen for mange av radiostasjonene som f.eks. P3.

Så lenge praksisen med å sende musikk på 128 kbps fortsetter, er det ikke vanskelig å være enig i uttalelsen som svenske musikkprodusenter og komponister kom med i november 2005 [10]:

- *Att införa en digitalradio med alltför dålig ljudkvalité för konstmusik (långt under dagens FM-kvalitet) och med oförmåga att ge tillräckligt utrymme för andra stationer är ingen framtidslösning*
- *Vi är övertygade om att Sverige måste kunna klara av att sända digitalradio med bredd och högsta kvalitet.*

Det ønskelige hadde vært at man sluttet å bruke 128 kbps som vanlig datarate for musikk, og hevet slike stasjoner til 160 kbps. Mer krevende materiale burde sendes med samme kvalitet som mp3 på 128 kbps dvs. på 192 kbps i DAB. Det er i dag ikke kapasitet til å heve bitratene til dette nivået, så DAB-nettet må sies å være underdimensjonert i forhold til kravet om anstendig lyd kvalitet.

DAB-aktørene ber oss om å velge mellom FM, med best lyd kvalitet for stasjonære mottakere, og DAB som er best i bil. I dag er dette en helt unødvendig problemstilling da det ikke er noen teknologiske hindringer for å lage en digital radio som er bedre enn FM på alle punkter: Mottak uten skurr i bil, kapasitet til alle stasjoner man ønsker og lyd med nær CD-kvalitet.

Den ekstra kapasiteten som trengs kan man for eksempel få ved å ta i bruk en riksblokk til. Et annet alternativ er å skifte til World DMB forum sitt forslag til ny og bedre lydkoding, aacPlus. Den kan bruke dagens sendernet, men mottakerne må dessverre skiftes ut.



Referanser

- [1] *Digital Audio Broadcasting, Principles and Applications*, W. Hoeng and T. Lauterbach (Eds.), J. Wiley & Sons, 2001.
- [2] G. A. Soulodre, T. Grusec, M. Lavoice, L. Thibault, "Subjective evaluation of state-of-the-art two-channel audio codecs," *J. Audio Eng. Soc.* 1998, vol. 46, no3, pp. 164-177.
- [3] Kringkasting og dagspresse 1996 m.v., St meld nr 62, (1996-97), Tilsråding frå Kulturdepartementet av 5. september 1997, godkjend i statsråd same dagen.
- [4] Referat fra Stortinget, møte torsdag den 19. mars kl. 10 1998, Sak nr. 6, Innstilling frå familie-, kultur- og administrasjonskomiteen om kringkasting og dagspresse 1996 m.v. (Innst.S.nr.103 (1997-1998), jf. St.meld.nr.62 (1996-1997))
- [5] C. Gandy, "DAB: an introduction to the Eureka DAB System and a guide to how it works," BBC Research & Development White Paper, WHP 061, June 2003.
- [6] S. Holm, "Dab – fortsatt best i mono," *Dagens Næringsliv*, 30. november 2006.
- [7] Neural Audio/Harris, Datablad for NeuStar 40, Neural Codec Pre-Conditioning™, <http://www.neuralaudio.com/>
- [8] ETSI EN 300 401 V1.4.1 (2006-01), European Standard (Telecommunications series), Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receive.
- [9] Norkrings webside, Mer om lydkodeing, <http://www.norkring.no/templates/Page.aspx?id=344>
- [10] Inlegg angående den framtida svenska digitalradion i sammanfattning, 30. november 2005, sendt til Utbildnings- og Kulturdepartementet, <http://www.ballade.no/nmi.nsf/doc/art2006051810172431659876>
- [11] Norkring, "Den Digitale Kringkastingsrapporten 2006", <http://www.norkring.no/templates/page.aspx?id=282>

Vedlegg 1: Koding med MPEG-1 lag II og intensitetsstereo

MPEG-1 lag II, ofte kalt mp2, sampler signalet ved enten 48 eller 24 kHz [8]. Halvparten av sampleraten er absolutt øvre grense for hva som kan overføres. Dette båndet deles i 32 delbånd som kodes individuelt med en algoritme som fordeler bit etter kriterier som er basert på ørets evne til å oppfatte og skille lyder.

Ved den vanligste sampleraten, 48 kHz, blir hvert bånd altså $24 \text{ kHz} / 32 = 750 \text{ Hz}$ bredt. Ved koding av stereo ved de laveste bitratene brukes intensitetsstereo-koding fra enten kanal 4, 8, 12 eller 16 og oppover, dvs. for alle frekvenser over 3, 6, 9 eller 12 kHz. I alle delbånd over denne knekkfrekvensen sendes bare ett felles signal i stedet for individuelle signaler for høyre og venstre kanal. I tillegg sendes informasjon om hvor sterkt det skal gjengis i de to kanalene. Ulempen er at faseinformasjonen for alle frekvenser over knekkfrekvensen blir borte slik at stereobildet kan miste fokus.