

## Digitaalne helitöötlus

---

Muusikas on helitöötlus (*audio editing*) protsess, mille käigus muudetakse salvestatud heli otse salvestusmeedial.

Esimene helitöötluse võtte oli 1920-ndatel kasutusele võetud kahekordne salvestus (*over-dubbing*), mille puhul salvestati kõigepealt ühele grammofoniplaadile osa esitatavast muusikapalast ning mängiti seda teise salvestuse ajal taustaks. Lauljad said endale nii näiteks ise taustaks laulda.

Helitöötluse tehnoloogia töötati välja 20.nda sajandi keskel, kui levis magnetlindile salvestamine. Algselt kasutati tavalisi lintmagnetofone (*reel-to-reel*), linti lõiguti tavaliste kääridega ning kleebiti spetsiaalse kleepkandega.

Juba analooghelitöötluse aegadest on kasutatud seadmeid, mis on sisendsignaali kuidagi töödelnud, moonutanud ja siis originaalist erineva väljundsignaali saanud. Selliseid seadmeid nimetatakse signaaliprotsessoriteks (*signal processors*).

Tänapäeval kasutatakse digitaalseid heliredaktoreid (*digital audio editor*), milliste seas oli üks esimesi "*Sound Designer*" firmalt Digidesign (1980.ndate lõpus).

Digitaalne heliredaktor kasutab digitaalseid signaaliprotsessoreid DSP (*Digital Signal Processors*) mis on sageli loodud varasemate analoogseadmete eeskujul.

Digitaalne heliredaktor (*digital audio editor*) on arvutiprogramm helitöötluseks, mis võimaldab:

- digitaalselt salvestada helimaterjali arvuti mäluseadmetele ühest või enamast sisendist (*input*);
- määrata heliklipi alguse, lõpu ja kestuse;
- kombineerida (*mix*) omavahel erinevaid heliklippe, seades seejuures ka nende helitugevust ja panoraamimist (*pan*) stereokanalite vahel;
- rakendada heliklipile efekte.

Tänapäeval räägitakse ka digitaalsetest helitöötlussüsteemidest DAW (*Digital Audio Workstation*), mis on heli salvestamiseks, töötlemiseks ja taasesitamiseks loodud süsteemid. Termin DAW viitab mitmerealisele (*multitrack*) helitöötlustarkvarale koos kõrgekvaliteedilise riistvaraga. Tänapäeval võib praktiliselt iga koduarvuti või mitmerealise helitöötlustarkvaraga ja toimida DAW'ina.

Olemas on kahte tüüpi DAW süsteeme:

- Arvutil põhinevad (*Computer-based DAW*), mis koosnevad kolmest põhiosast: arvuti, ADC-DAC ehk helikaart ja helitöötlustarkvara. Sellist lahendust eelistavad näiteks paljud kommertsraadiojaamad.
- Integreeritud süsteemid (*integrated DAW*), mis koosnevad mikseripuldist (*mixing console*), kontrollpaneelist ja digitaalsest liidesest ühel seadmel. Sellised süsteemid olid eelistatud, kuni arvutid muutusid DAW tarkvara jaoks piisavalt võimsateks.

Helitöötlusvõtteid, efekte saab sõltuvalt kasutatavatest vahenditest rakendada reaaliajajas (*realtime*) või mitte-reaaliajajas (*non-realtime*).

Helitöötluses eristatakse ka destruktiivseks (*destructive*) ja mitte-destruktiivset (*nondestructive*) lähenemist. Destruktiivse töötamise puhul salvestatakse kõik muudatused originaalfaili ehk selle esialgset kuju moonutatakse jäädavalt. Mitte-destruktiivse töötamise

puhul jäävad originaalfailid muutmata kujule, sellisel juhul toimub kõigi töötlusvõtete salvestamine nn projektifaili ning tulemus eksporditakse eraldi failina.

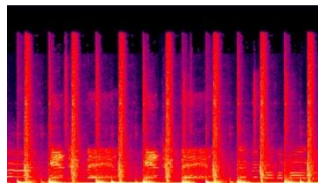
### Heliklipi vaatarežiimid

Digitaalse helitöötluse üheks eeliseks võrreldes analoog-helitöötlusega on võimalus heli vöнкеkõverat (*waveform*) näha. Enamus helitöötlusprogramme pakub vöнкеkõvera vaatlemiseks kahte üksteisest põhimõtteliselt erinevat režiimi:

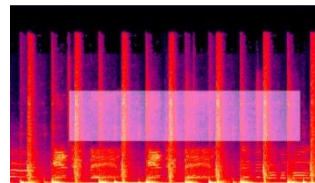
- lainekuju (*waveform*) – heliklipi näidatakse positiivsete ning negatiivsete haripunktide seeriana või siis heliklipi amplituudi graafikuna;
- spektraalne kuju (*spectral view*) – heliklipi näidatakse sageduskomponentidena. See võimaldab näha, millised sagedused ja millises mahus on heliklipis esindatud. Sageduskomponente näidatakse värvidega tumesinisest erk-kollaseni, mida suurema amplituudiga on vastav sageduskomponent, seda eredama värvusega ta paistab. Selles vaatarežiimis saab valida (*select*) heliklipi mingist piirkonnast vaid soovitud sageduspiirkonna (näiteks 10 sekundi ulatuses vaid sageduspiirkonna 500 – 5000 Hz).



Joonis 1 lainekuju (waveform)



Joonis 2 spektraalne kuju (spectral view)



Joonis 3 spektraalne kuju, osa valitud

**NB!** Spektraalsel kujul vaatlemine on väga kasulik näiteks müratasanduse puhul!

### Elementaarsed toimetamisvõtted

Ka kõige väiksemate võimalustega helitöötlusprogramm lubab helifaili toimetada. Seega saab alati sooritada järgmisi toiminguid:

- **delete** või **clear** kustutab selekteeritud osa.
- **insert silence** lisab helifailile soovitud pikkusega osa vaikust (helilõigu, mille amplituud on 0).
- **trim** on operatsioon, mis kõrvaldab heliklipist ebasoovitavad lõigud, jättes alles vaid selekteeritud osa. Hõlbustab näiteks klipi algusest ja lõpust musta osa kustutamist. Mitmetes programmides kannab nime **crop** või **trim/crop**.



Joonis 4 heliklipp enne trimmimist



Joonis 5 sama heliklipp pärast Trimmimist

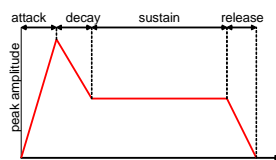
Loomulikult saab kasutada ka traditsioonilist kopeeri/lõika/kleebi (*copy/cut/paste*) meetodit.

Kaasaegsed programmid pakuvad ka suurt hulka efekte, mida saab jagada viide kategooriasse:

- amplituudiefektid (*amplitude based effects*);
- viivitusel põhinevad efektid (*time delay effects*);
- vöнкеkõvera moonutavad efektid (*waveform distortion effects*);
- sagedusefektid (*frequency response effects*);
- kombineeritud efektid.

Efektide rakendamisel puutume sageli kokku akustika parameetritega:

- *attack* ehk reageerimisaeg on aeg, mis kulub helisignaalil maksimumamplituudi (*peak amplitude*) saavutamiseks;
- *sustain level* ehk ülalhoitav tase on amplituud, mis püsib kuni heli tekitamiseks rakendatud jõudu ikka veel rakendatakse;
- *initial decay* ehk langus on aeg, mis helil kulub maksimumamplituudilt *sustain* tasemele langemiseks;
- *release* ehk vabanemisaeg on aeg, mis kulub heli *sustain* amplituudi tasemelt taas nulli langemiseks.



Joonis 6 Akustika parameetrid

Mitmete efektide puhul saab neid parameetreid muuta ning sellega määrata, kuidas tulemus kõlab.

## Amplituudiefektid

Need efektid põhinevad signaali tugevuse (helitugevuse) varieerimisel.

- **DC OFFSET** on üks esimesi toiminguid, mida võib audiofaili korralikuks muutmiseks vaja minna. Nähtus nimega *DC offset* (*Direct Current Offset*) ilmneb tavaliselt siis kui tehnika, mida helide digiteerimisel kasutatakse pole korralikult maandatud, eriti sageli juhtub seda odavate helikaartide puhul.

*DC offset* on hästi näha, kui salvestada paar sekundit vaikust ja seda siis helitöötlusprogrammi aknas vaadata. Kui *DC offset* ilmneb, siis on salvestus nähtav 0-voldi teljest pisut üleval või allpool.



Joonis 7 Helisalvestis, millel on näha DC offset

Tavaliselt pole see suur probleem, aga kui kasutada tugevat kompressiooni (näiteks RealAudio, mp3 või Liquid Audio), siis võib märgata madalat mürisevat häält. Lisaks tekivad sellise veaga helikliipi lõikumisel algusesse ja lõppu häirivad krõpsud (sest heli võnkekõver ei hakka peale 0-voldi joonelt)

Selle vea kõrvaldamiseks pakubki enamus helitöötlusprogramme *DC offset* operatsiooni, mille tulemusena helisalvestus end automaatselt 0-voldi joonele tsentreerib.



Joonis 8 DC offset on eemaldatud

Sama tegevus kannab erinevates programmides veel nimetusi **offset**, **DC** või **DC Bias**.

- **gain** helivaljuse suurendamiseks/vähendamiseks. Sama tegevus kannab mitmetes programmides nimetust **Volume** või isegi **Amplify**.
- **mute** seab helikliipi valitud osa amplituudi väärtusele 0, ehk muudab helikliipi osa vaikuseks. Operatsioon kannab sageli nimetust **force to silence** või lihtsalt **silence**.

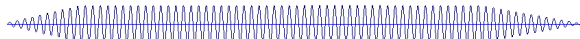
- **normalize** seab helitugevuse nii suureks kui võimalik ilma, et tekiks moonutused (*distortion*). *Normalize* funktsioon on olemas praktiliselt igal helitöötlusprogrammil, sageli on ta peidetud *Amplify* funktsiooni alla. *Normalize* kalkuleerib, kui suureks on võimalik helitugevus muuta enne, kui saab liiga palju. Kasutaja võib endale pisut mänguruumi jätta ning normaliseerida oma faile 90 – 95% võimalikust maksimumist.
- **noise gate** võimaldab määrata lävendi (*threshold*), millest väiksema amplituudiga signaalid ehk nõrgemad helid vaigistatakse ära (*mute*). Selle abil saab kõrvaldada taustamüra salvestuse vaikuse lõikudest. Sisuliselt on tegemist dünaamikaavardaja (*expander*) erijuhuga.

Parema tarkvara puhul saab *Noise Gate*'i puhul lisaks signaali lävendile määrata järgmiseid parameetreid:

- **hold time** määrab aja, kui kaua peab signaali tugevus püsima allpool määratud läve enne kui ta vaigistatakse (*gated*).
- **attack time** määrab aja, kui kulub läve ületava tugevusega signaalil kulub vaigistatud (*gated*) olekust valjenemiseks (*fade in*).
- **release time** määrab aja, kui kaua kulub lävest nõrgemal signaalil vaigistatud (*gated*) olekusse hääbumiseks (*fade*).

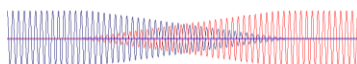
Nende parameetrite seadmisega on võimalik vältida moonutusi, mis tekivad kasuliku signaali osa vaigistamisel ning väljapeetud/ülal hoitud (*sustained*) nootide järsul lõppemisel.

- **fade in/fade out** on efektid, mis võimaldavad mingit helilõiku sujuvalt valjemaks muutes alustada ja sujuvalt vaiksemaks muutes lõpetada.



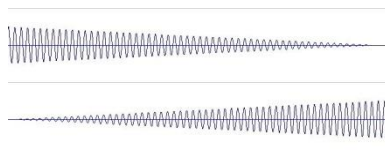
Joonis 9 Helikliip, millel on rakendatud fade in ja fade out efektid

- **crossfade** on mõnede programmide poolt pakutav efekt, mis kombineerib kaks heli portsjonit nii, et üks muutub sujuvalt vaiksemaks, kuni lõppeb ja teine samal ajal valjeneb (kombinatsioon efektidest **mix** ja **fade in/fade out**).



Joonis 10 crossfade efekt

- **pan** ehk **panning** (panoraamimine) muudab stereokanalite helivaljust teineteise suhtes pöördõrdeliselt miinimumist maksimumini ehk nihutab heli sujuvalt ühest stereokanalist teise. Kui lähtesignaal on monofooniline (ühe kanaliga), siis teisendatakse see automaatselt stereoheliks.

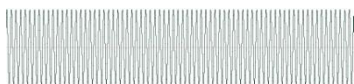


Joonis 11 panoraamimine (*pan*)

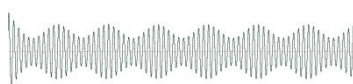
Selle efekti korral on paljudel programmidel valida 3 varianti: vasakult paremale (left to right), paremalt vasakule (right to left) või graphic, mille korral saab ette anda täpse graafiku, mille järgi "liikumine" kahe kanali vahel toimub.

- **dynamic effects** (dünaamikaefektid) mõjutavad heli dünaamikat:

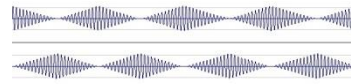
- **compressors** (kompressorid ehk dünaamikavähendajad) vähendavad heli dünaamilist ulatust (*dynamic range*) vastavalt kasutaja määratud suhtele. Näiteks suhe 3:1 tähendab, et iga 3 dB sisendi kohta on vaid 1 dB väljund. Kompressorid on kasulikud, kui salvestatakse suure dünaamika ulatusega või lühikese kestusega materjali (näiteks trummimängu), vältides ajutisi signaali ülekoormusi ja võimaldades keskmiselt kõrgema tasemega signaali salvestamist. Kompressioon võimaldab ka soovimatu dünaamilise varieerumisega signaali enam-vähem püsival tasemel hoida. Kompressori kasutamise suurendab taustamüra, eriti kohtades, kus peaks olema vaikus, seetõttu kasutatakse teda tavaliselt koos *noise gate* efektiga. Selle efekti puhul saab paremal juhul seada:
  - **threshold** ehk lävend on signaali tase, millest alates kompressor sekkub. Kõik lävendist nõrgemad signaalid jäävad puutumata (välja arvatud juhul, kui varasema lävendi ületamise järel pole kompressor veel vabanenud).
  - **attack** ehk reageerimisaeg määrab aja, kui kaua peab signaal lävendit ületama enne kui kompressor rakendub. Lühikese reageerimisaja puhul kõrvaldatakse kõik signaali haripunktid, pika reaktsiooniaja puhul aga saavutatakse rafineeritum, vähem märgatav kompressiooniefekt.
  - **release** ehk vabanemisaeg määrab, kui kaua kompressor peale rakendumist mõjub. Kui reaktsiooni ja vabanemisaeg on seatud aeglaseks, siis tekitab kummaline "pumpav" heli.
- **limiters** (piirikud) ei lase signaalil ületada etteantud väljundtaset, hoolimata sisendtasemest. Väga populaarsed on kompressori ja piiriku kombinatsioonid, sest piirik võimaldab peale kompressori kasutamist valida soovitud maksimaalse taseme (liialt palju kompressiooni kasutades saame dünaamika vähesuse tõttu tuhmi heli).
- **expanders** (dünaamikaavardaja) omavad kompressoritele vastupidist mõju. Suhe 1:3 tähendab, et iga 1 dB sisendsignaali kohta saadakse 3 dB väljundsignaali. Kombinatsioon salvestamisel kompressori kasutamisest ja taasesitamisel dünaamikaavardi kasutamisest on klassikalise müratasandi aluseks. Sellist kombinatsiooni nimetatakse sageli **companding**.
- **tremolo** (väriheli) on efekt mis pidevalt, mingi sagedusega varieerib helitugevust miinimumi ja maksimumi vahel. Stereo tremolo korral võib luua panoraamimiseefekti (*pan*).



Joonis 12 originaalsignaali



Joonis 13 tremolo



Joonis 14 stereo tremolo

Mõned tremoloefektid toimuvad ruudukujulise võnkekõvera, mille korral ei toimu helitugevuse sujuvat muutust vaid saavutatakse järsk muutus, mis tekitab automaadivalangu sarnase heli.

Korraliku tarkvara puhul laseb efekt seada:

- **rate**, sagedus mille järgi helitugevust moduleeritakse;
- **mix**, mis määrab, kui palju segatakse moonutamata ja moonutatud signaali. Miinimumi puhul on tegemist puhta, moonutusteta, maksimumi korral aga täielikult moonutatud heliga.

- **attack delay** on efekt, mis simuleerib tagurpidi mängimist. Ta toimib heli *attack*'i viivitades (*delay*), heli algus valjeneb eksponentsiaalselt (*exponentially fades*).

### Viivitusel põhinevad efektid

---

Need efektid põhinevad originaalheli kombineerimisel iseenda osadega, mis lisatakse teatud viivituse (*delay*) järel.

- **digital delay** pakub ajalisel viivitusel põhinevaid efekte. Originaalsignaali kombineeritakse lühikese viivituse järel tema koopia.
  - Moduleeritud (*modulated*) viivitused kuni 5 ms tekitavad nn. “toruefekti” (*flanging*), mille populariseerijaks oli Jimi Hendrix.
  - Viivitused 10-60 ms tekitavad “kooriefekti” (*chorus*), mis justkui tihendab heli.
  - Viivitused kuni 80 millisekundit põhjustavad “kahe pilli efekti” (*doubling*) justkui kaks sarnast heliallikat toimiksid koos.
  - Pikemad moduleerimata (*unmodulated*) viivitused kostavad kajana (*echo*).
- **flange** või **flanger** on *digital delay* üks erijuht, mille korral viivitust moduleeritakse vahemikus 0 – 5 ms sagedusega 0,5 Hz. Paljud helitöötlusprogrammid pakuvad valida ainult eelseadeid. Paremal juhul saab seada:
  - *depth* määrab maksimaalse viivituse.
  - *rate* määrab moduleerimise kiiruse.
  - *delay* määrab minimaalse kasutatava viivituse, mis omakorda määrab efekti minimaalset intensiivsust.
  - *feedback* juhib efekti väljundi tagasi sisendisse ja võimaldab sellega saavutada äärmuslikke tulemusi. Seda võimalust esineb harvem.
- **chorus** efekt on oma nime saanud selle järgi, et ta muudab vokaalmaterjali salvestuse selliseks nagu oleks kaks või enam inimest kõnelenud/laulnud. Loomulikult võib seda efekti kasutada mistahes helimaterjaliga. Originaalsignaali kombineeritakse viivitusega tema koopia, mille helikõrgust tavaliselt ka pisut moduleeritakse. Viivituse kestust varieeritakse pidevalt kindla sagedusega miinimumi ja maksimumi vahel. Tüüpiliselt varieerub viivitus vahemikus 40 – 60 ms. Parema tarkvara puhul saab seada:
  - *rate* määrab moduleerimise kiiruse, aeglase modulatsiooni korral saavutatakse tagasihoidlik heli rikkamaks muutumine (*fattening*), kiire modulatsiooni korral aga ekstreemsem, kihisevam/mulisevam efekt.
  - *depth* reguleerib modulatsiooni intensiivsust.
- **echo** on kajaefekt. Kaja tekitatakse originaalsignaali tema koopia viivitusega kopeerimisel. Mitmekordse kaja saamiseks juhitakse kaja väljund uuesti läbi atenuaatori ehk summuti/nõrgesti (*attenuator*) sisendisse. Atenuaator määrab kajade languse (*decay*) ehk iga kaja sumbumise kiiruse.

Väga lühikese viivitusega (5 – 15 ms) kaja väikese *decay* väärtusega, muudavad vokaalsalvestuse metalseks ehk roboti-laadseks.
- **reverb** või **reverberation** (reverberatsioon ehk järelkõla ehk kaikumine) on efekt, mida kasutatakse akustilise ruumi simuleerimiseks. Igas ruumis kuuleme me lisaks originaalhelile veel tema peegeldusi seintelt, laest, põrandalt jne.

Reverberatsiooni aeg (*reverberation time*) on defineeritud kui aeg, mis kulub heliimpulsi (nagu näiteks plaksatus, kärgatus) nõrgenemiseks 60dB võrra esialgsest tasemest. Reverberatsiooni tuleb arvesse võtta näiteks kontserdihallide ehitusel. Orkestrimuusika jaoks sobiva reverberatsiooni aja saavutamine on võimalik vaid siis, kui iga kuulaja kohta on ruumi 5 m<sup>3</sup>! See on väga kallis, seepärast kasutatakse tänapäeval digitaalseid reverberaatoreid.

Odavam tarkvara võimaldab kasutada valmisprogrammeeritud akustilisi ruume (näiteks: suur ruum (*big room*), kanjon (*canyon*), kirik (*church*), metallpaak (*metal tank*)). Kallim tarkvara laseb määrata heli peegelduste arvu, intensiivsust, pausi pikkust nende vahel jne.

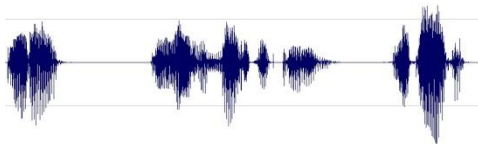
- **phasing** või **phaser** või **phase shifter** kombineerib omavahel originaalsignaali ja viivitatud signaali mille faasi pidevalt nihutatakse (*shift*). Tekib osaline tühistus (*cancellation*) ja osaline rikastamine (*enhancement*). Efekt oli populaarne 1970-ndatel aastatel, praegu kasutatakse vaid ulmelistes soundides. Hea helitöötlusprogrammi puhul saab sellel efektil seada:
  - *rate* määrab faasi muutumise kiiruse.
  - *depth* määrab kui palju faasi muudetakse.
  - *feedback/resonance* määrab, kui suur osa efekti väljundist juhitakse tagasi sisendisse.
  - *Mix/Level* määrab kui palju viivitatud signaali originaaliga kombineeritakse.

### Võnkekõverat moonutavad efektid

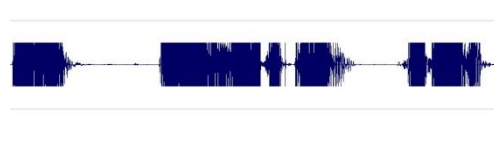
---

Need efektid põhinevad originaalsignaali moonutamisel mittelineaarsete teisaldusfunktsioonide abil (*transfer function (non-linear)*). Kasutatakse peamiselt kolme funktsiooni:

- *Symmetrical/Asymmetrical clipping*, signaali korrutatakse tugeva piiriku funktsiooniga (*hard-limit transfer function*). Sümmetrilise puhul toimuvad ühesugused teisendused võnkekõvera positiivsel ja negatiivsel poolel (0-voldi joonest üleval ja allpool).
- *Half wave/full wave rectification*
- *Arbitrary waveform shaping*, signaali korrutatakse meelevaldse (*arbitrary*) funktsiooniga.
- **distortion** lisab heliklipile moonutusi kasutades tavaliselt ülalpool mainitud funktsioone.



Joonis 15 heliklipp enne moonutamist



Joonis 16 heliklipp pärast moonutamist

### Sagedusefektid

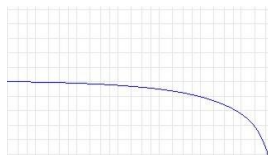
---

Need efektid põhinevad originaalsignaali filtreerimisel või selle sageduse (*frequency*) moduleerimisel.

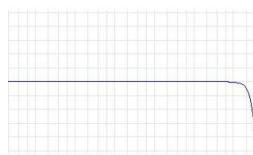
**Filter** tähendab üldiselt vahendit, mis muudab valitud sageduste suhtelist helitugevust (*relative volume*) signaalis. Sageli kasutatakse filtri tähistamiseks ka terminit EQ (*equalizer*). Enamasti leiab helitöötlustarkvara kasutaja kõrvuti nii filtri kui ka EQ ning nende puhul on tegemist erinevat tüüpi filtritega ja seega pisut erineva otstarbega tööriistadega.

Kõigil filtritel saab määrata piiriksageduse ehk lõikesageduse (*cutoff*), mis on üldiselt defineeritud sagedusena, mille helitugevust filter muudab (enamasti vähendab) 3dB võrra.

Vaadates diagrammi, mille järgi filter heli erinevaid sagedusi mõjutab, näeme kõverat, mille kalle (*slope*) võib olla suurem või väiksem.



Joonis 17 Lauge kaldega mõjukõvera filter

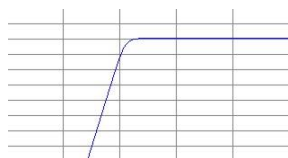


Joonis 18 Järsu kaldega mõjukõvera filter

Seda kallet mõõdetakse detsibellidega oktavi kohta. Tavaliselt kasutatakse filtreid, millede mõjukõvera kalle on 6, 12, 18 või 24 dB oktavi kohta. Näiteks 6 dB korral muutub lõikesagedusest 1 oktavi võrra kõrgema või madalama sageduse juures 6 dB, kahe oktavi võrra kõrgema või madalama sageduse juures juba 12 dB jne. Filtri mõjukõvera kalle (*slope*) kannab sageli nimetust *rollof*.

Mõjukõvera kuju järgi liigitatakse filtreid järgnevalt:

- *Highpass* ja *lowpass* filtrid, mis lasevad läbi kõrgeid sagedusi (*highpass*) ning lõikavad ära madalaid (*low-cut*) ja vastupidi madalaid sagedusi läbi laskvaid (*lowpass*) ning kõrgeid sagedusi eemaldavaid (*high-cut*). Need on kõige lihtsamad filtrid ja mõjutavad kõiki sagedusi, mis jäävad lõikesagedusest (*cutoff frequency*) üles- või allapoole. Samas ei võimalda nad määrata fikseeritud sumbumise (*attenuation*) ulatust ega laia sagedusulatuse võimendamist (*boost*).

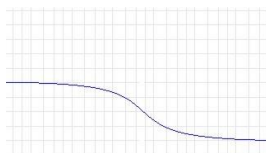


Joonis 19 Highpass filter



Joonis 20 Lowpass filter

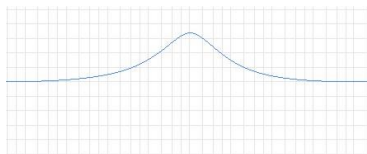
- *Shelving filter* või *shelving EQ* võimaldab erinevalt *highpass* ja *lowpass* filtritest just laia sagedusulatuse võimendamist või summutamist fikseeritud ulatuses. Ka seda tüüpi filtri mõjukõveral on kalle kuid see tasandub peale lõikesagedust.



Joonis 21 Shelving filter

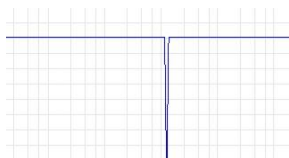
- *Peaking filter* laseb määrata mõjutatava sagedusriba mõlemat otsa ja võimaldab seega manipuleerida tunduvalt kitsamate sagedusulatustega. Sellise filtri mõjukõver on kella kujuline (*bell curve*). Sellise filtri puhul saab määrata:
  - täpset sagedust riba keskel (*center frequency*), mille ümbruses signaali tugevust muuta soovitakse;
  - soovitud muutuse tugevust (*gain* või *slope* mõnikord ka *cut/boost*);
  - sagedusriba laiust (*bandwidth*), mõõdetakse -3dB punktidega kummagil pool kesksagedust;
  - *Q* (nagu *Quality*, vahel ka *Resonance* või *Emphasis*) on mõjukõvera selektiivsus ja kirjeldab kitsalt või laialt filter mõjub. Mida suurem on *Q* väärtus, seda täpsemalt, kitsamale sagedusribale filter mõjub. *Q* väärtuse arvutamiseks jagatakse kesksagedus (*center frequency*) ribalaiusega (*bandwidth*).





Joonis 22 *Peaking filter*

- *Notch filter* ehk kitsastõkkefilter on selline *peaking filter*, mille  $Q$  on väga suure väärtusega ehk mis mõjutab väga kitsast sageduspiirkonda.



Joonis 23 *notch filter*

*Notch filter*

- **filter** on enamuse helitöötlusprogrammide koosseisus just kõige lihtsamad *highpass* ja *lowpass* filtrid, milledele sageli on lisatud võimalus määrata mitte ainult lõikesagedus (*cutoff*) vaid vahemik, mis kas säilitatakse (*band pass*) või eemaldatakse (*band stop*)

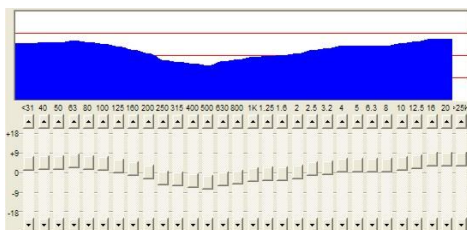


Joonis 24 *Band pass filter*



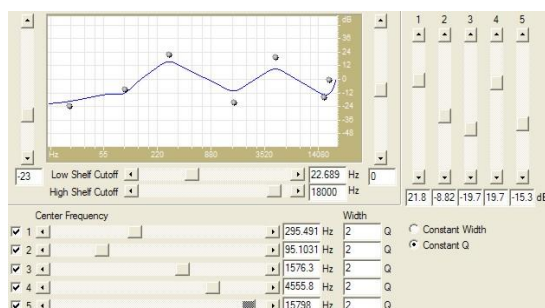
Joonis 25 *Band stop filter*

- **smooth** on filtril põhinev efekt, mis rõhutab madala sagedusega helisid.
- **emphasize** on filtril põhinev efekt, mis rõhutab kõrge sagedusega helisid.
- **EQ** ehk ekvalaiser (*equalizer*) on tööriist, mis koosneb hulgast *peaking* filtrist ja pakub mehhanismi erinevate sagedusribade (*band*) helitugevuse vähendamiseks/suurendamiseks helikvaliteedi parandamise eesmärgil. Kõige odavam, lihtsam ja levinum võimalus on korrigeerida vaid kõrgeid ja madalaid helisid (*bass & treble*), nagu seda saab teha ka mikserprogrammiga, enamuse kaasaskantavate, auto ja kodu stereoseadmetega. Ekvalaiseriks nimetatakse siiski sellist seadet, millel on võimalus reguleerida kolme (*low, middle, high*) või enam sagedusriba. Kolme ribaga ekvalaiserit nimetatakse sageli DJ-stiilis ekvalaiseriks (*DJ-style EQ*). Paremad seadmed ja tarkvara pakuvad võimalust reguleerida stereokanaleid eraldi, kummagi puhul isegi 30 või enam sagedusriba.
  - **graafiline ekvalaiser** (*graphic equalizer*) võimaldab reguleerida fikseeritud sagedusribade tugevust (*cut/boost*). Ei saa määrata sagedusriba laiust (*bandwidth*) ja sagedust riba keskel (*center frequency*). Graafilist ekvalaiserit kasutatakse väljundsignaali üldiseks parandamiseks kompenseerimaks kõlarite ja/või keskkonna akustilisi puudujääke.



Joonis 26 30 ribaga (band) graafiline ekvalaiser

- **parameetriline ekvalaiser** (*parametric equalizer*) koosneb mitmest peaking filtrist ja laseb määrata täpset filtri kesksagedust (*center frequency*), sagedusriba laiust (*band width*) ja sagedusriba tugevust (*cut/boost*). Parameetrilisi ekvalaiserid kasutatakse näiteks reaalajas helide (*live sound*) parandamiseks. Üldiselt on kasutusel 4 või 6 ribaga parameetrilised ekvalaiserid. Osadel parameetrilistel ekvalaiseritel on Q väärtus fikseeritud, neid nimetatakse pool-parameetrilisteks (*semi-parametric*) ekvalaiseriteks.



Joonis 27 6 ribaga (band) parameetriline ekvalaiser

Mõningad lisavõimalused muudavad ekvalaiseriga helitehniku jaoks paindlikuks tööriistaks, näiteks võimalus ekvalaiseriga osa välja lülitada, mis laseb kergesti võrrelda originaalsignaali ja n.ö. parandatud.

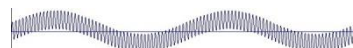
- **Wah Wah** on efekt, mille puhul suurima helitugevusega sagedusriba (*peak frequency*) nihutatakse pidevalt madalatest kõrgete sagedusteni ja tagasi. Põhimõttelt sarnane ekvalaiseriga. Efekt on nime saanud selle järgi, et tulemus sarnaneb "wah wah" ütlemisele.
- **pitch shift** muudab helikliipi tämbrit, jättes klipi pikkuse muutumatuks. Selle efekti erijuhuks on **octaving**, mille puhul sagedusspektrit nihutatakse üles või alla oktaavi kaupa.
- **vibrato** on efekt, mille käigus helikõrgust (*pitch*) varieeritakse mingi kindla sagedusega miinimumi ja maksimumi vahel.
- **pitch bend** muudab helikliipi tämbrit, sageli lubatakse seda teha nn piirikjoone (*envelope*) abil, mis annab ajas huvitavalt muutuva tulemuse. Mõjutab ka klipi pikkust (sarnaneb lindi venitamisega). Mõnedes programmides kannab nime **doppler**.
- **ring modulation** on efekt, mille käigus signaali moduleeritakse mingi matemaatilise funktsiooniga, näiteks koosinusfunktsiooniga korrutamise teel. Antud näite korral on koosinusfunktsiooni kõver kandesignaali (*carrier*), millega sisendsignaali moduleeritakse. Sama efekti tuntakse ka kui **double sideband modulation**.



Joonis 28 originaalsignaali



Joonis 29 moduleeriv võnge



Joonis 30 moduleeritud signaali

Seda efekti on kasutatud vanades ulmefilmides robotliku kõne loomiseks.

- **vocoder** on efekt, mis võtab kaks signaali, tavaliselt mingi muusikainstrumenti salvestuse ja inimehääle (*voice*) ning moduleerib üht (*process signal*, tavaliselt muusikainstrumenti salvestus) teisega (*control signal*, tavaliselt inimehääle).

### Muud efektid

---

- **mix** on efekt, mis kombineerib erinevad portsjonid helisid üheks terviklikuks.
- **time compress/expand** muudab helifaili esituse kiirust ilma sagedusi (tämbrit) muutmata. Efekt pakub tavaliselt ka esituse venitamist ja mõnedel juhtudel ka helikõrguse muutmist (näiteks meesterahva hääl kõrgemaks, nagu naisterahva hääleks. Sageli kannab efekt nime **stretch**).
- **reverse** pöörab heliklipi tagurpidi.



Joonis 31 heliklipp õigetpidi

Joonis 32 heliklipp tagurpidi (reverse)

Seda töövõtet kasutatakse näiteks "võõrkeelse" jutukõmina tekitamiseks ning mitmete "tagurpidi" efektide tekitamiseks (näiteks eel-kaja ehk *pre-echo*).

- **invert/Flip** peegeldab võnkekõverat keskjoone (0-voldi joone) suhtes. Kuuldavat muudatust kaasa ei too kuid on hea erinevate klippide kombineerimisel visuaalse sobitamise jaoks (teatud võngete kokkuseadmisel).
- **swap Channels** vahetab omavahel ära vasaku ja parema kanali.
- **resampling** või sageli vaid **down-sampling** võimaldab muuta helifaili diskreetimis-suurust, näiteks võib 16 bitise audiofaili konverteerida 8 bitiseks (eesmärgiga kasutada seda faili igivanade helikaartidega arvutitel või lihtsalt andmemahu vähendada). Vastupidine konverteerimine on tavaliselt mõttetu kuna kasutaksime kehvast helikvaliteedi juures faili salvestamiseks lihtsalt kaks korda rohkem andmeid.