

Hifi-skolan!

Hur stark – storle



...t kan du spela? Vilken spelar roll!

Hifi SKOLAN

Vilka ljudtryck mäktar dina högtalare med? Vilken konarea krävs för 110 dB? Lugn, vi reder ut begreppen och fortsätter i nästa nummer. **Av Mats Svensson**

Små högtalare som är minst lika bra som stora PA-anläggningar – så låter det ofta i annonskampanjer och produktblad för nästa fantastiska miniatyrprodukt som ska ta plats i våra välbesigade hem. Kan det verkligen vara så och hur bra kan det egentligen bli med modern högtalartechnologi? Vad är det som sätter begränsningarna? Det försöker vi reda ut i denna hifi-skola.

I takt med Moores lag om dubbelt så många transistorer på samma kiselyta vartannat år som motor i vår tekniska utveckling, så drivs många konsumentprodukter mot att de ska ta allt mindre och mindre plats i vårt samhälle. Kommer ni ens ihåg hur en tjock-TV såg ut? Eller radiogrammofonerna stora som sideboards som tog musik och underhållning hem till oss under 40- och 50-talen? Idag vill många av oss att våra högtalare ska hänga med i den utvecklingen, och inte heller de ska få ta någon fysisk plats i våra hem.

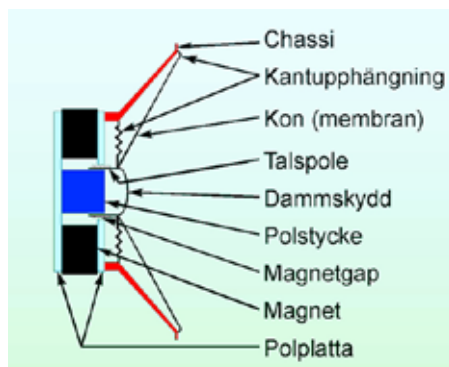
Vinstsvultna tillverkare är inte sena att försöka tillfredsställa oss konsumenter på den punkten i sin jakt på ny lönsamhet, så idag översköls vi av fantastiska små lillputthögtalare, stenhårt marknadsförda att de är minst lika bra som sina äldre, föräldrade, gigantiska storebröder från stenåldern. Men kan de påståendena verkligen stämma och vad sätter gränserna för hur bra det kan bli?

För att förstå det behöver vi först titta på vad som behövs för att kunna skapa ett ljud med viss styrka och vilka begränsningar det finns i ett vanligt högtalarelement som kan förhindra det. Det handlar artikeln om i detta nummer. I ett kommande nummer tittar vi närmare på den hjälp elementen får av olika högtalarprinciper och sin närmaste omgivning för att skapa ljudtrycket. Och hur starkt du kan förvänta dig att ljudet faktiskt blir i ett normalt lyssningsrum med din anläggning.

Först, låt oss avliva myten med en gång – en liten högtalare kan **aldrig** spela lika starkt som en lika välgjord, större högtalare. Hur starkt ljud du kan få ur en högtalare är ren

fysik och det handlar om mängden luft den klarar av att flytta i takt med musiksignalen. Och skyffla luft är naturligtvis enklare om du är stark och har en stor skyffel. Men visst finns trots det en del fog i reklampåståendena, att moderna högtalare som utnyttjar den tekniska utvecklingen i material och produktionsteknik kan skapa ljud som aldrig någonsin begränsningarna hos äldre högtalare tillät.

För att bättre förstå det behöver vi först se hur ett högtalarelement är uppbyggt, vad det är som skapar ljudet och vilka begränsningar som finns för hur starkt elementet kan spela. Rent teoretiskt är det **Maxwells** elektromagnetiska ekvationer som skapar ljud av den elektriska signalen vi skickar in till elementet. De lagarna beskriver att när en ström går igenom en tråd som befinner sig ett magnetfält, skapas en kraft som trycker tråden åt ett visst håll beroende på strömmens



Genomskärning av ett konhögtalarelement.



Och så här ser det ut i verkligheten.

riktning och styrka. I högtalarelementet är det talspolen som är tråden i det magnetfält som högtalarmagneten skapar tillsammans med polstyckena i elementet (se bild 1).

För att konen ska kunna röra sig när talspolen trycker på behöver den vara löst upphängd i sitt chassi och det är vad kantupphängningen vi ser som avslutning på varje normal konhögtalare hjälper till med. Det finns dessutom alltid ytterligare en upphängning i normala konelement, spider på engelska, som sitter från själva talspolen ut till chassiet (syns tydligt på bild 2). Tillsammans delar de på uppgiften att stabilisera högtalarsystemet under sin rörelse.

Ett diskantelement fungerar i princip på samma sätt. Fast här använder tillverkarna idag oftast så kallade domeelement (kolla in det här numrets Milstolpe!), där endast dammkåpan utgör hela konen. Utan någon yttre kon kan upphängningarna sammanfalla, så både domemembranet och kantupphängningen sitter direkt på talspolen och den får sköta stabiliseringsjobbet på egen hand.

I den här genomgången utgår vi för enkelhetens skull från att alla funktioner och delar i elementet fungerar perfekt som de ska upp till sin teoretiska gräns. Så är det naturligtvis inte i verkligheten, med olinjäriteter i upphängningen och magnetfältet, mättnads- och termiska effekter i metallerna och andra materialofullkomligheter. De gör alla slutresultatet ännu mindre optimala än de enkla begränsningar vi diskuterar fortsättningsvis i denna artikel. Men förenklingen ger ändå en god fingervisning av förmågan hos högtalarna. Dessutom blir det mycket enklare att förklara och räkna på olika exempel.

När musiksignalen strömmar genom talspolen i sitt magnetfält rör sig konen alltså i takt med den resulterande kraften. Det här funkar bra så länge samma mängd talspole befinner sig i ett konstant magnetfält. Men om konen fortsätter sin färd bort från jämviktsläget (utgångsläget utan någon insignal) börjar till slut talspolen lämna magnetfältet i polstyckets magnetgap.

Eftersom då en mindre mängd talspole påverkas av magnetfältet avtar kraftens styrka och den orkar inte längre på samma sätt driva konen ytterligare bort från jämviktsläget. Inget mer ljud kan komma ur högtalaren och den har nått sin gräns för hur mycket



Den lilla 5,25-tummaren från B&W PM1 och det högklassiga men enkla filtret av första ordningen (6 dB per oktav), innebär klara begränsningar för hur högt högtalaren kan spela.

ljud den kan alstra. Denna maximala förflyttning av konen kallas för linjärt förflyttningsmax (X_{max}), och det är faktiskt ganska enkelt att skapa sig en god uppfattning om vad den är när du studerar specifikationerna för ett element.

I dessa specifikationer brukar man hitta uppgifter över hur lång talspolen är samt på hur långt magnetgapet är. I vår enkla modell blir då X_{max} skillnaden mellan dessa uppgifter. Och då ska vi komma ihåg att elementet rör sig både utåt och inåt, så X_{max} är ett håll är hälften av det totalt tillgängliga skillnaden mellan talspolens längd och magnetgapet.

Just denna linjära förflyttningsförmåga är något som moderna högtalarelement och materialteknologi lyckats utveckla. Så här har reklamkampanjerna till viss del rätt sina påståenden. Ett bra högtalarelement rör sig idag gärna runt 7–8 millimeter kring sitt jämviktssläge utan besvär. Där ett äldre element oftast fick problem om förflyttningen översteg någon enstaka millimeter. Förvisso ser vi att även gamla element rör sig mer än någon millimeter när vi spelar musik på stark nivå, men de arbetar inte längre inom sitt linjära område och förvrängningen av ljudet ökar därmed dramatiskt.

Det finns till och med högteknologiska subbaselement som klarar av att slå över två centimeter linjärt åt respektive håll. Snacka om att kunna pumpa luft! Diskantelement däremot är betydligt mer blygsamma med denna förmåga och begränsar vanligen sitt linjära område till en bra bit under en millimeter. Mellanregisterelementet ligger däremellan, runt ett par tre millimeter, där domevarianter oftast är mer slaglängdsbegränsade än sina konmotsvarigheter.

Hur starkt ett element teoretiskt kan spela beror alltså på hur stor total volym luft den kan förflytta, det vill säga konytan gånger slaglängden. Så kan du enkelt räkna ut vad dina högtalare har för förutsättningar i jämförelse med andra. Det funkade också alldeles utmärkt att låta fler små element samarbeta för att öka den totala ytan, en teknik många pelar-

högtalare använder sig av. För det är den sammanlagda ytan som har betydelse för möjligt ljudtryck, plus som sagt, hur långt den ytan kan förflytta sig.

Så även om moderna högtalarelement har utvecklat sin linjära slaglängdsförmåga spelar ändå storleken på elementet fortfarande en betydande roll för hur mycket luft elementet klarar av att pumpa. I förrförra numret (Hifi & Musik nr 9/2011) testade vi golvhögtalaren **Wilson Audio Sophia 3** och den lilla stativhögtalaren **Bowers & Wilkins PM1**. Med

sitt 10-tumselement kan Wilson Sophia flytta avsevärda mängder luft i basregistret. Har den lilla PM1 någon chans mot Sophia, som vissa framfusiga reklamkampanjer för småhögtalare påstår?

Låt oss anta att Wilsons moderna element klarar av bortåt en centimeter i linjär slaglängd. För att den lilla 5-tums i PM1 ska återge samma ljudtryck som Sophia måste den då kunna förflytta sig över 3,5 centimeter! Detta för att elementets yta ju är proportionell mot radien upphöjt till två, så storlekskillnaden får kvadratisk betydelse på slaglängden. Och 3,5 centimeters slaglängd för 5-tummaren är naturligtvis en omöjlighet, vilket vi också konstaterade i våra lyssningsintryck för PM1. Och då är den högtalaren ändå en riktigt bra liten högtalare. Storleken *spelar* alltså definitivt roll.

Notera att ovanstående exempel är påhittade för att illustrera principen, vi hade kunnat välja princip vilken annan lika stor golvsare och jämfört med vilken liten stativhögtalare som helst.

Förmågan till långa slaglängder går normalt ut över verkningsgraden för elementet. Även om moderna materialval och finare toleranser

i tillverkningen till viss del kan kompensera detta, så har vanligen element med lång slaglängd en lägre verkningsgrad. Du behöver alltså mer förstärkareffekt in för att skapa samma ljudtryck.

Men med dagens effektstarka transistorförstärkare är detta oftast inget problem. Se bara vilka groteska kraftresurser tillverkarna ofta specificerar för sina aktiva subbashögtalare (och de behövs för att över huvud taget få ut något ljud ur de trögdrivna elementen). Äldre rörförstärkare behövde hjälp av betydligt bättre verkningsgrad hos högtalarna för att kunna fylla normala rum med välljud. Detta är en anledning till att äldre element vanligen prioriterade verkningsgraden högre än fysiska förmågan att pumpa mycket luft, och att de följaktligen inte klarar av att spela lika starkt som sina moderna syskon.

Maximal kapacitet hos högtalarelementen sätts alltså av konens yta samt hur långt den kan röra sig, det vill säga volymen luft den kan förflytta. Men hur ser behoven ut i olika frekvensområden? Det är nästa område vi nu tittar vidare på.

I sitt normala arbetsområde, där tonkurvan ska vara mer eller mindre rak, behöver ett element flytta olika mängder luft beroende på frekvens för att återge samma ljudnivå. Faktum är att elementet måste flytta så mycket som hela fyra (4) gånger mer luft för varje halvering av frekvensen. Eller om du vill uttrycka det i decibel, så ökar konrörelsen med 12 dB per oktav lägre frekvens.

Det betyder alltså att elementet måste röra sig fyra gånger så långt för att skapa samma ljudtryck som en oktav högre upp i frekvens. Det ställer naturligtvis stora krav på elementen i deras lägre register – den lägsta basen för bas-elementen, vid övergången till mellanregistret och för diskantelementets undre gränshögtalare. Där måste elementen kunna röra sig betydligt större sträckor för att skapa samma ljudnivå som högre upp inom sitt arbetsområde.

Den uppskattade slaglängden på en centimeter hos Wilson Sophias 10-tums element räcker till att skapa ett ljudtryck på 97 dB en meter från högtalaren i fritt fält vid 40 hertz. Samma förmåga att röra sig ger ett maximalt ljudtryck på 109 dB bara en oktav högre upp, och ytterligare +12 dB vid 160 hertz. En stativhögtalare med ett 6,5-tumselement som klarar en slaglängd på sju millimeter, kan alstra en ljudnivå på 94 dB vid 60 hertz och 106 dB vid 120 hertz. Vid 40 hertz är förmågan begränsad till 88 dB, 9 dB lägre än för Wilson Sophia.

Så stora baselement med lång slaglängd har som vi redan förstått en definitiv fördel i det lägsta basregistret. Och intuitivt tänker vi på basområdet när vi resonerar kring vad som krävs av högtalare för att pumpa luft och återge musik med full kraft. Men faktum är att du ofta har lika stora utmaningar betydligt högre upp i frekvens.

Ett diskantelement är nämligen litet för

att kunna sprida ljudet bra upp till de allra högsta övertonerna. Och ett litet element kan inte flytta mycket luft, speciellt inte när den linjära slaglängden dessutom ofta ligger en bra bit under en halv millimeter. En 1-tums diskantdome med en slaglängd på 0,25 millimeter klarar max av ett ljudtryck på 101 dB vid en normal delningsfrekvens som 2.200 hertz. Så begränsad strålningssyta och slaglängd är minst lika stora bekymmer i diskanten som för den lägsta basen.

Lägg därtill att flacka filter som är på modet bland flertalet högtalartillverkare med sina goda fas- och tidsegenskaper inte hjälper till att begränsa konutslagen ens under delningsfrekvensen, och problemen för diskantelementen blir ännu större. Som ni minns ökar kraven på konutslag med en faktor fyra för halva frekvensen, vilket vi kan omvandla till decibelmättat 12 dB/oktav. Flacka, tidskorrekta första ordningens filter dämpar bara signalen med 6 dB/oktav, så trots filter ökar konutslagen under delningsfrekvensen hela vägen ner till elementets egna undre gränshfrekvens.

Det stackars diskantelementet tvingas nu röra sig långt utanför sitt optimala område. Och även om det kommer mindre ljud från

elementet vid dessa lägre frekvenser, så skapar de stora förflyttningarna kraftig förvrängning samt övertoner som stör de signaler som ska komma med full kraft från diskanten. Samma element som i räkneexemplet ovan

rör sig över två (2) millimeter vid 750 hertz (en inte helt ovanlig egenresonansfrekvens för ett modernt diskantelement) med ett första ordningens filter vid 2.200 hertz! Och ni

förstår hur hopplöst illa det elementet kommer låta vid starka ljudnivåer.

Faktum är att inte ens ett andra ordningens filter på 12 dB/oktav (som är mer än vanligt i högtalartillämpningar) minskar konutslagen under delningsfrekvensen. Men konutslagen ökar i alla fall inte längre, så finns det marginal vid gränshfrekvensen klarar sig elementet hela vägen ner. Under sin egen resonansfrekvens begränsar elementet själv sitt konutslag och ljudnivån sjunker med 12 dB/oktav. Så det farligaste området är från delningsfiltrets gränshfrekvens ner till elementets egen resonansfrekvens.

Traditionella mellanregisterelement på 3–4 tum har normalt sett inga större problem att röra sig tillräckligt mycket för att kunna alstra starka ljudtryck ner till sin undre del-

ningsfrekvens. Mellanregisterdome kan däremot få det tufft med låga frekvenser, precis som sina diskantsyskon. Och var vaksam på kraven från flacka enkla filter även för mellanregisterområdet.

I den här första delen av "Hur starkt kan du spela" har vi tittat på en enkel modell för vilka egenskaper hos elementen som bestämmer maximal möjlig ljudnivå, samt hur mycket luft elementen måste klara av att flytta för att alstra ett visst ljudtryck vid en viss frekvens. Storleken spelar roll, plus förmågan att röra sig. Vill du spela starkt behöver du stora element med lång slaglängd. Och så har vi höjt ett extra varningsfinger för flacka filter till diskant- och mellanregisterelement...

I andra avsnittet kommer vi in på vilken hjälp elementen kan få av olika högtalarprinciper och sin närmaste omgivning för att alstra ljudtryck i ett rum. Och så räknar vi lite på vilken ljudnivå du egentligen kan förvänta dig av din anläggning i ditt eget lyssningsrum... var snäll mot dina högtalare till dess!

H&M

"en liten högtalare kan aldrig spela lika starkt som en lika välgjord, större högtalare"



Så högt spelar olika element

Formel för max ljudtryck:

$$SPL_{max} = 20 \times 10 \log \left(\frac{X_{max} \times D^2 \times f^2}{15} \right)$$

SPLmax=20*LOG((Xmax*D^2*f^2)/15)

Där **Xmax** är linjär slaglängd en riktning i millimeter, **D** är elementets diameter i tum och **f** är frekvens i Hz. Nedan en tabell med värdet uträknat för Scan-Speak-element från 4 till 12 tum vid 40, 80 och 120 hertz.

Diameter (tum)	Xmax (mm)	SPLmax @ 40Hz (dB)	SPLmax @ 80Hz (dB)	SPLmax @ 120Hz (dB)
4	3	74	86	93
5,25	4	81	93	100
6,5	6,5	89	101	108
8	9	96	108	115
10	9	100	112	119
12	12,5	106	118	125

