



NTNU
Institutt for elektronikk og telekommunikasjon
Akustikk

Faglig kontakt under eksamen:

Jan Tro, 95267777

Peter Svensson, 99572470

Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, Gløshaugen.

**EKSAMEN I TT3010: AUDIOTEKNOLOGI OG ROMAKUSTIKK,
7,5 studiepoeng, 20. desember, 2010.
Eksamenstid: 09:00-13:00**

Tillatte hjelpemidler: C - Typegodkjent kalkulator, med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidet av NTNU.

Sensur: 10. januar 2011.

Husk å redegjøre for antakelser som du gjør for å løse oppgavene!

Oppgavenes betydning for vurderingen er oppgitt som prosentandel.

Lykke til!

OPPGAVE 1. (Akustikk og instrument, 30%)

En trompet, - egentlig et langt rør på omlag 1.40 m, har 3 ventiler som kopler inn 3 forskjellige rørbøyler.

Ventil nr. 2 kopler inne et ekstra rør som senker grunntonen med en halv tone (dvs. et halvtonetrinn som er en tolvtedel av en oktav).

Ventil nr. 1 kopler inne et ekstra rør som senker grunntonen to halvtonetrinn, og den tredje ventilen senker grunntonen tre halvtonetrinn.

Når vi spiller på trompeten, må vi kombinere alle ventilene.

- a.** (10%) Hvis vi trykker inn (legger til) alle tre ventilene, skulle det bety en senking av grunntonen med seks halvtoner. Dette stemmer ikke helt. Hvorfor?

Løsning: Hver tillagte rørlengde er spesiallaget for å gi korrekt lengde (og ny tone) når én ventil trykkes ned. Når vi trykker ned neste ventil, er jo utgangsrøret allerede endret (blitt lengre) og den tillagte rørlengden er nå ikke helt korrekt. Når vi trykker ned enda en ventil (legger til enda en "feil" rørlengde), blir feilen enda større og godt hørbar.

- b.** (15%) Hvis vi tar utgangspunkt i grunntonen til en enstrøken **G** etter standardisert temperert skala (392.0 Hz), hva er forskjellen i frekvens på den ønskede tempererte grunntonen **Dess** (277.18 Hz), seks halvtoner ned fra **G**, og den grunntonen vi teoretisk får når vi trykker ned alle tre ventilene på trompeten?

Hint: En tolvtedels oktav tilsvarer en faktor på 1.0595, dvs. 5.95 % endring i frekvens.

*Løsning: Grovt regnet kan vi anta lengden på hele røret lik L ; tilleggsrøret for en halvtone lik $0,0595 * L$; tilleggsrøret for en hel tone (to halve) lik $0,1225 * L$ ($1,0595^2 = 1,1225$); tilleggsrøret for tre en og en halv tone (tre halve) lik $0,1892 * L$ ($1,0595^3 = 1,1892$). (Tenker altså ikke på endekorreksjoner). Sammenlagt utgjør disse rørlengdene $1,3712 * L$, mens en halv oktav (seks halvtoner fra **G** til **Dess**) forlanger en rørlengde på $1,4142 * L$ ($1,0595^6 = 1,4142$). Feilen er på omlag 3% som utgjør omlag **8 Hz**.*

- c.** (5%) Når vi snakker om inharmonisitet i en streng, bruker vi formelen

$$f_n = n f_1 [1 + (n^2 - 1) A],$$

hvor A er definert som

$$A = \frac{\pi^3 r^4 E}{8 T L^2}$$

Forklar hva bokstavene f , n , og E står for.

Løsning: f betegner "frekvens", n betegner "overtonenummer" og E betegner "elastisitetsmodul", og sier altså noe om materialeegenskapene til strengen.

OPPGAVE 2. (Romakustikk, 35%)

Vi har et auditorium under bygging, med dimensjonene 12 m (bredde) *20 m (lengde) *5 m(høyde). Før stolene har blitt montert, så er det på gulvet tregulv, på tre av fire vegger og i taket er det gipsplater. Den fjerde veggen (bakveggen) har akustikkplater.

- a. (10%) Hva blir etterklangstiden i oktavbåndet 500 Hz i rommet før stolene er montert?

*Løsning: T60 beregnes med Sabines ligning: $T = 0.16 * V / A$ hvor $A = S_{gulv} * \alpha_{gulv} + S_{bakvegg} * \alpha_{bakvegg} + S_{rest} * \alpha_{rest}$. Alle numeriske verdier her er gitt, så T kan beregnes.*

- b. (15%) Nå monteres stoler som dekker 70% av gulvarealet. Hva blir da etterklangstiden i oktavbåndet 500 Hz?

*Løsning: Her blir det en liten modifikasjon sammenlignet med a: termen $S_{gulv} * \alpha_{gulv}$ erstattes med $S_{gulv} * 0.3 * \alpha_{gulv} + S_{gulv} * 0.7 * \alpha_{stoler}$. T kan da beregnes på nytt.*

- c. (10%) Absorpsjonskoeffisienten som er oppgitt for stolene er med en person i. Det er viktig at absorpsjonskoeffisienten for stolen uten person i ikke skiller altfor mye (normalt sett har stolen uten person lavere abs.koeff. enn stolen med person). Hvis vi ønsker at et auditorium som er tomt (f eks ved opptak uten publikum) skal gi en etterklangstid som ikke avviker mer enn 10% fra en helt fylt sal, hvor lav kan absorpsjonskoeffisienten for stolen være i 500 Hz oktavbåndet?

*Løsning: vi utgår från T i oppgave b og betegner den T_fullt. Nå ønsker vi at T_tomt skal være $\leq T_{fullt} * 1.1$. Sabines ligning gir da at A_{tomt} må være $\geq A_{fullt} / 1.1$, og altså kan vi beregne en numerisk verdi for A_{tomt} . $A_{tomt} = S_{gulv} * 0.3 * \alpha_{gulv} + S_{gulv} * 0.7 * \alpha_{stoler_tomt} + S_{bakvegg} * \alpha_{bakvegg} + S_{rest} * \alpha_{rest}$ og det eneste som er ukjent her er α_{stoler_tomt} , hvilket altså kan beregnes.*

OPPGAVE 3. (Audioteknologi, 35%)

Vi ønsker vi å vite hvor høyt en høyttaler kan spille i et gitt rom. Vi har en høyttaler med en effekttålighet på 100 W og en virkningsgrad på 1%, dvs den kan produsere maks. 1 W akustisk uteffekt. Vi gjør antakelsen at høyttaleren er omnidireksjonell, dvs direktivitetsfaktorn $Q = 1$.

- d. (10%) Hvis vi kun tar hensyn til direktelyden, hvilket maksimalt lydnivå kan vi da få fra denne høyttaleren i et avstand av 3m? Vi ser kun på en høyttaler, dvs ikke et stereopar.

*Løsning: Lydnivået gis av $L_{p,direkte,maks} = L_{W,maks} + 10 \log(1/(4 * \pi * r^2))$. L_w får vi fra def. av $L_{W,maks} = 10 * \log(W_{maks} / W_{ref})$ hvor $W_{maks} = 1$ W, og vi kan beregne $L_{p,direkte,maks}$.*

- e. (15%) Hvis du nå tar hensyn til etterklangsløyden, hva blir da maks. lydnivå i samme avstand, 3 m? Rommet har et volum på 100 m³ og en etterklangstid på 0.4 sekunder?

Løsning: Nå gis $L_{p,maks}$ av: $L_{p,maks} = L_{W,maks} + 10 \cdot \log(1/(4 \cdot \pi \cdot r^2) + 4/A)$ hvor $A = 0.16 \cdot V/T$ enligt Sabine. Da kan vi beregne $L_{p,maks}$, fordi V og T er kjent i tillegg til r og $L_{W,maks}$.

- f. (10%) Hvis to høyttaler i et stereopar spiller samme signal så kan vi anta at direktelydsnivået blir 6 dB høyere (hvis vi kun hadde hatt direktelyd) men etterklangsnivået blir 3 dB høyere (hvis vi kun hadde hatt etterklangsløyde). Hva blir da maks. lydnivå i rommet fra denne høyttaleren?

Hint: $L_{p,total} = 10 \log(10^{L_{p,direkte}/10} + 10^{L_{p,etterklang}/10})$, hvor $L_{p,direkte}$ er direktelydsnivået og $L_{p,etterklang}$ er etterklangsnivået.

Løsning: som et mellomledd beregner vi $L_{p,maks,etterklang} = L_{W,maks} + 10 \cdot \log(4/A)$. Da har vi $L_{p,maks,etterklang}$ og $L_{p,maks,direkte}$ (fra oppgave d).

Med to høyttaler får vi

$$L_{p,maks,direkte,2} = L_{p,maks,direkte,1} + 6$$

$$L_{p,maks,etterklang,2} = L_{p,maks,etterklang,1} + 3$$

Så kan vi legge disse to nivåene sammen med uttrykket i hintet.

Oppgitte formler og data:

Lydhastighet: $c = 331.4 + 0.6 \cdot t$

hvor t er temperatur i °C (grader celsius).

Etterklangstid (Sabines formel): $RT = \frac{0.161 \cdot V}{A}$

hvor V = romvolum, A = total absorpsjon.

Total absorpsjon $A = \sum_i S_i \cdot \alpha_i$, hvor S_i er arealet for en del av overflaten, og α_i er absorpsjonsfaktoren for den samme del av overflaten.

Lydtrykksnivå i et rom: $L_p = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A}\right)$

Hvor lydtrykksnivå $L_p = 20 \log\left(\frac{P_{rms}}{20 \mu Pa}\right)$,

lydeffektnivå $L_W = 10 \log\left(\frac{W}{10^{-12} W}\right)$, W = effekten,

Q = direktivitetsfaktor til lydkilden

r = avstanden fra kilden til mikrofonen

Oppgitte absorpsjonsfaktorer:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Malt betong	0.1	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Tregulv	0.15	0.11	0.1	0.07	0.06	0.07
Gipsplater	0.14	0.1	0.06	0.05	0.04	0.03
Stoler med person i	0.23	0.40	0.66	0.77	0.80	0.87
Akustikk plater	0.76	0.93	0.83	0.99	0.99	0.94