

K. Budal og L.C. Iversen: "Samanhengen mellom absorbert energi og volum for ein del bølgekraftverk". Notat publisert i "Seminarium om kostnadsberäkningar för vågenergi. Göteborg 25-27 januari 1983. Föredrag sammanställda av Lennart Claeson." Grupprapport GR:54 från Gruppen för Vågenergiforskning, pp. 6:1-6:11

Januar 1983

SAMANHENGEN MELLOM ABSORBERT ENERGI OG VOLUM FOR
EIN DEL BØLGJEKRAFTVERK

K. Budal og L. Chr. Iversen
Institutt for eksperimentalfysikk
NTH, Trondheim.

INNLEIING

Det er ingen enkel samanheng mellom energiproduksjonen per volumening og energikostnaden for eit bølgekraftverk. Ein slik storleik kan likevel gi ein viss informasjon. Dersom volumeffektiviteten er stor/liten kan det tyde på høge/rimelege byggjekostnadar i forhold til energiproduksjonen. Ein grunn til dette er sjølvst at eit stort volum krev mykje byggjematerial. Ein annan grunn er at eit stort volum gir store bølgepåkjenningar. Konstruksjonen må difor vera ekstra solid og krev dessutan solid forankring (vond sirkel).

Det er mulig at det hadde vore like naturleg å sjå på energiproduksjonen i forhold til overflatearealet av konstruksjonen eller på energiinnteningstida. Men desse storleikane er vanskelegare å få tak i. Vi har difor valt å halda oss til volumeffektiviteten i det følgjande:

Dersom vi går ut frå at kostnaden for systemet er proporsjonal med volumet, bør kraftverket dimensjonerast slik at volumeffektiviteten er maksimal.

Vi skal i det følgjande sjå på korleis volumeffektiviteten kan påverkast for ein del typer bølgekraftverk.

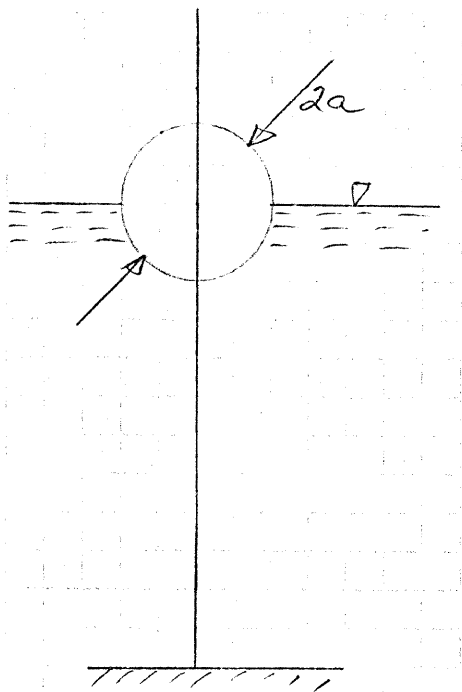
1. Diverse prosjekterte kraftverk i irregulære bølger.

Type	K(kW/m)	P_a (kW)	$V(m^3)$	$\frac{P_a}{V} \left(\frac{kW}{m^3} \right)$
Bøyen (NTH)	30	200	620	0,32
Bristol sylindren	48	1300	2700	0,23
Clam	51	2700	54000	0,05
Svingande væskesøyle (Kværner Brug)	30	1280	75000	0,017

Merk at bøyen og den svingande væskesøyla, som i følgje NVE's evaluering gir omlag same energikostnad, har vesentleg ulike

P_a/V -verdier. Det er difor vanskeleg å trekke konklusjonar ved å samanlikna ulike typer kraftverk. Derimot kan det vera verdifulle å sjå på faktorar som kan påverka volumeffektiviteten for ein gitt type kraftverk.

2. Flytande, kuleforma bøye.



Bølgjene: periode T
amplitude η

Bøyen: masse $m = \frac{2}{3} \pi a^3 \rho$
medsvingande masse m'
eigenperiode T_0
utsvingsamplitude s
dempingsresistans R_L

Den absorberte effekten i regulære bølgjer er:

$$P_a = \frac{1}{2} R_L \omega^2 s^2$$

Dersom $s > 0,6 a$, blir det vesentlege viskøse tap. Forlanger difor $s \leq 0,6 a$. Ser på to tilfelle:

A Passivt system:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\pi a^2 \rho g}{m + m'}} \quad , \quad R_L \text{ er optimalisert}$$

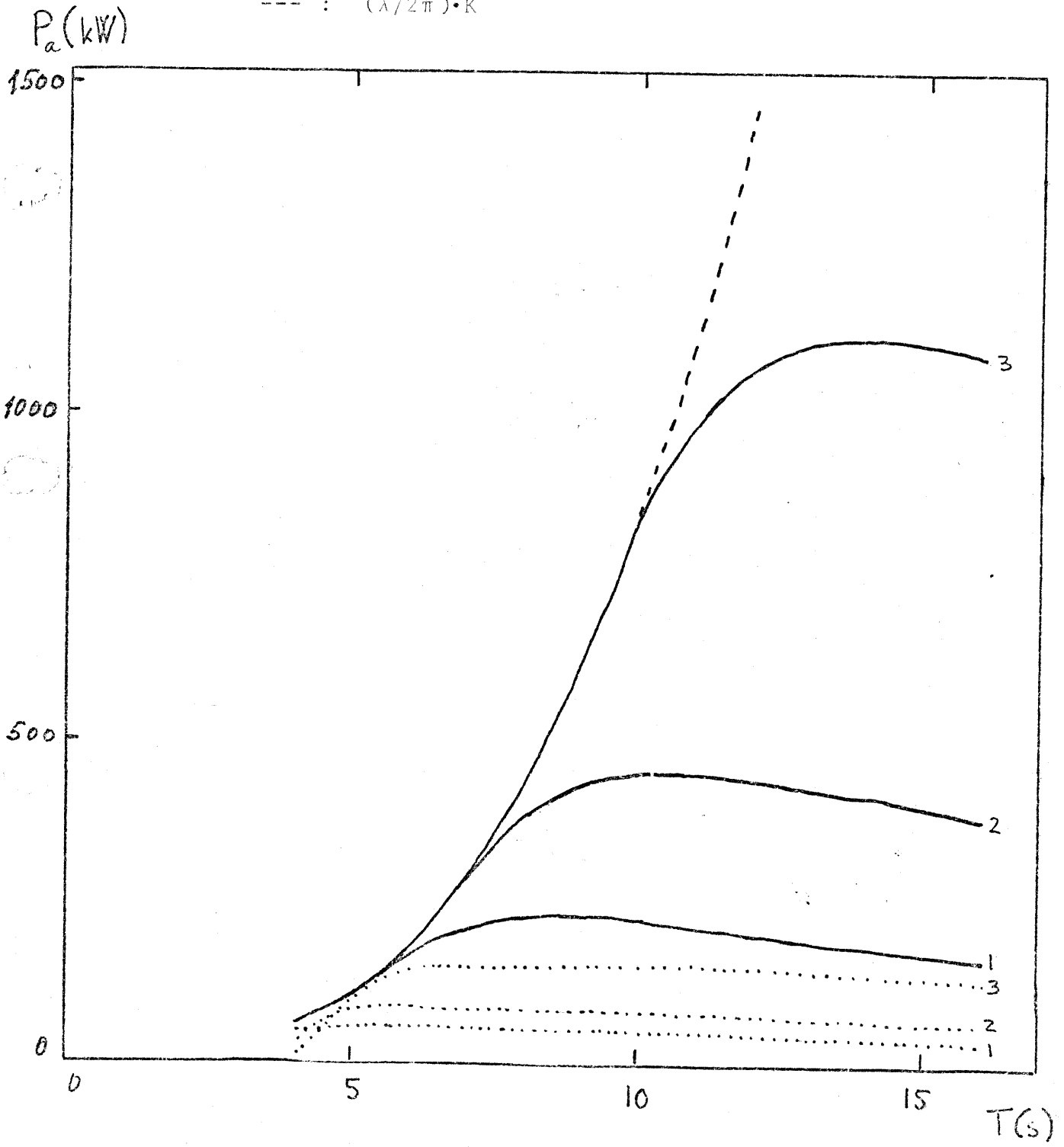
NB! Stor bandbreidde.

B Fasestyrt system

$(\omega = \omega_0)$, R_L optimalisert

NB! Stor bandbreidde.

- $|n| = 1 \text{ m}$
- 1 : $V = 233 \text{ m}^3$
- 2 : $V = 555 \text{ m}^3$
- 3 : $V = 1780 \text{ m}^3$
- : Fasestyrt system
- ... : Passivt system
- : $(\lambda/2\pi) \cdot K$



$\eta = 1 \text{ m}$

1 : $V = 233 \text{ m}^3$

2 : $V = 555 \text{ m}^3$

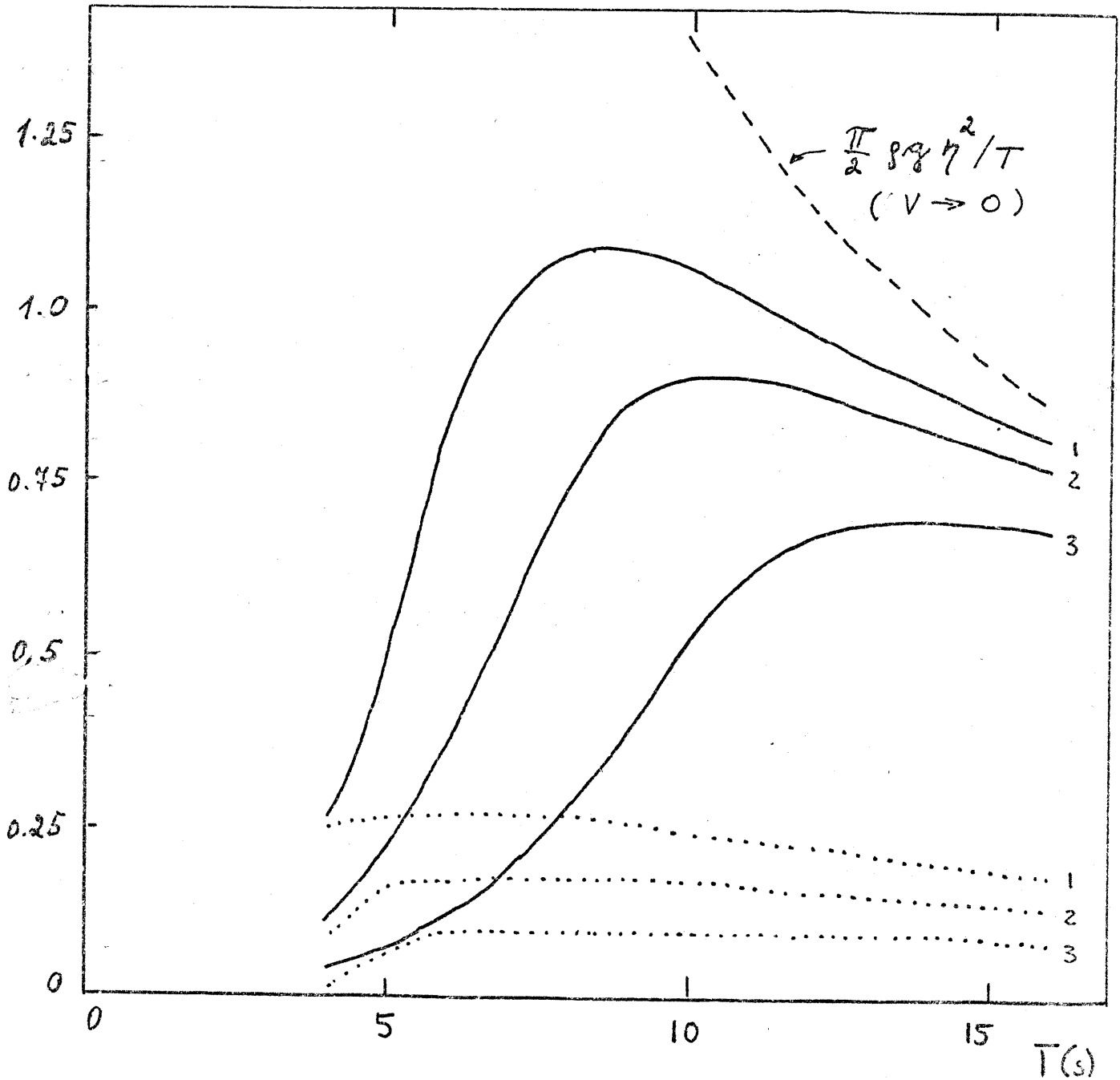
3 : $V = 1780 \text{ m}^3$

— : Fasestyrt system

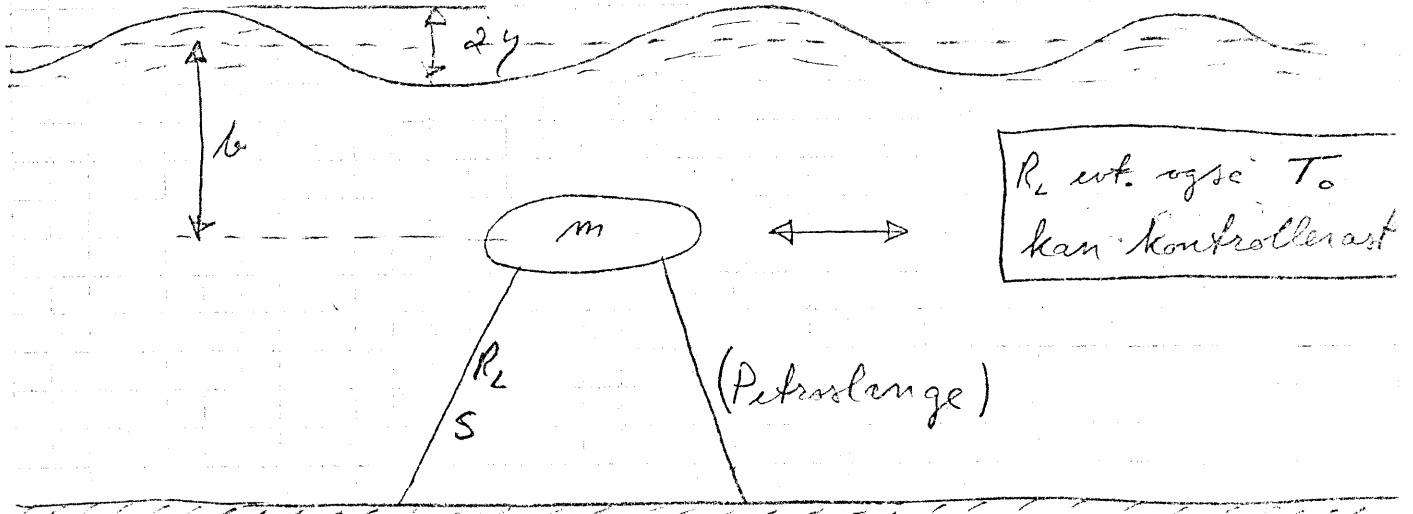
... : Passivt system

--- : $0.25 \rho g \omega \eta$

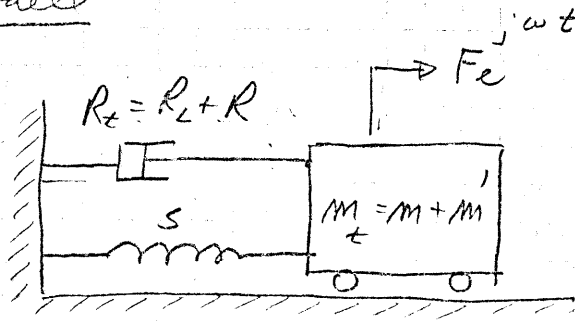
$(P_a/V) \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^3} \right)$



3. Neddykka, resonansavstemt lekam. Jaging.



Modell



- R_L : lastresistans
- R : strålingsresistans
- m_t : medsvingende masse

Bøyeamplituden

$$s = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 m_t - S)^2 + \omega^2 R_t^2}}$$

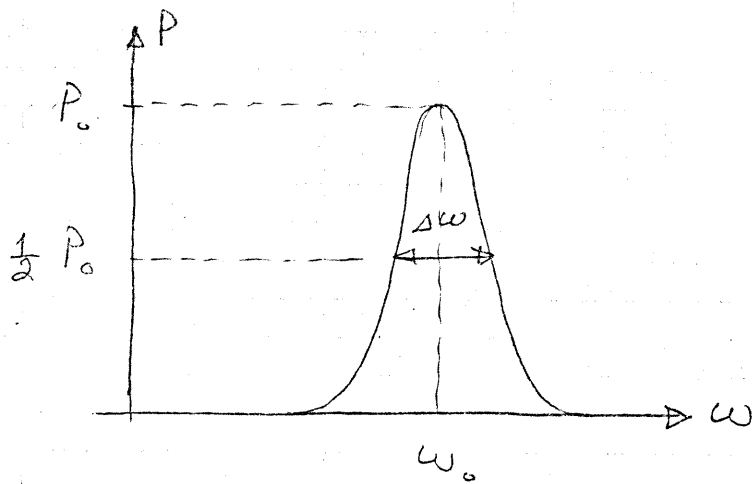
Absorbert effekt

$$P = \frac{1}{2} R_L \omega^2 s^2$$

$$\omega = \omega_0 = \sqrt{S/m_t} :$$

$$\Rightarrow s = s_0 = F/\omega_0 R_t$$

$$P = P_0 = \frac{1}{2} R_L F^2 / R_t^2$$



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{s}{m_t}}$$

$$\Delta\omega = R_t/m_t$$

Liten lekam:

$$R_t = R_L + R \approx R_L$$

$$F \approx \omega^2 m_t e^{-k b \eta}, \quad k = \frac{\omega^2}{g}$$

$$\Rightarrow s_0 \equiv \frac{e^{-k_0 b}}{\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}$$

$$P_0 = \frac{\omega_0^3 e^{-2k_0 b}}{2 \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)} \quad m_t \eta = \frac{1}{2} \omega_0^3 e^{-k_0 b} m_t s_0 \eta$$

Her er

$$m_t = m + m' = m + \mu \rho V$$

der V er volumet av lekamen.

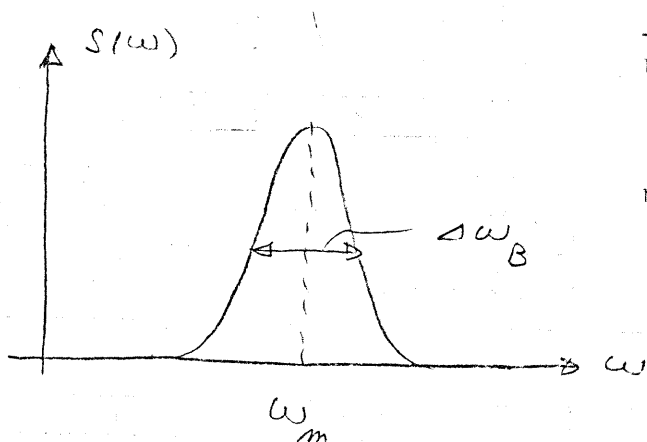
Set: $m \approx \rho V$ (liten oppdrift)

Då er: $m_t \approx (1 + \mu) \rho V$

Altså:

$$\frac{P_0}{V} \approx \rho \frac{1 + \mu}{2} \frac{\omega_0^3 e^{-2k_0 b}}{\frac{\Delta\omega}{\omega_0}} \eta^2 = \rho \frac{1 + \mu}{2} \omega_0^3 e^{-k_0 b} \cdot s_0 \eta$$

Irregulære bølger



$$\overline{\eta^2(t)} = \int_0^{\infty} S(\omega) \cdot d\omega$$

$\eta(t)$ = bølgeutsvinget

Regulering:

- 1) Resonansavstemmer systemet slik at $\omega_0 = \omega_m$
- 2) Regulerer R_L slik at P er optimal, d.v.s. $\Delta\omega \approx \Delta\omega_B$.

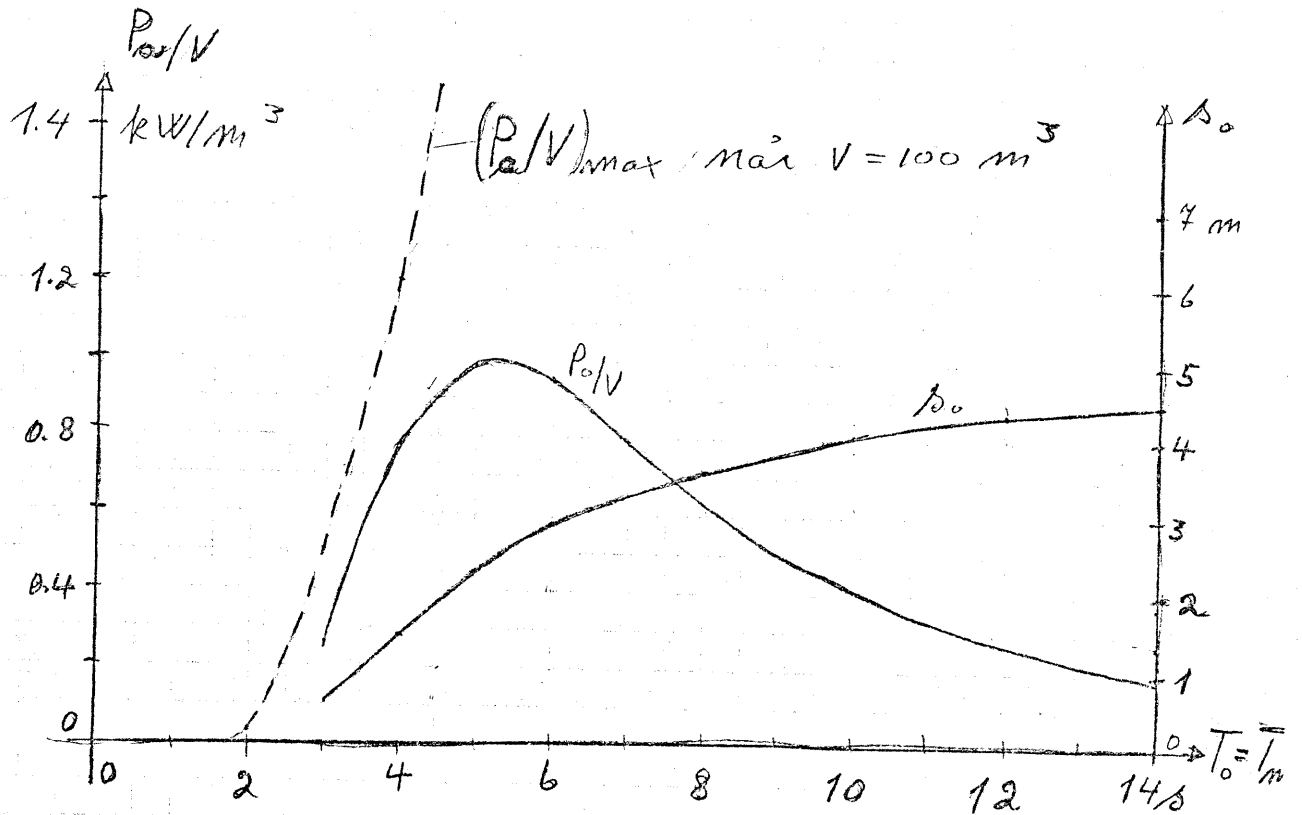
Merk at uten mulighet til å regulere ω_0 , representerer $S(\omega)$ årsmiddlespektret. Då er $\Delta\omega_B$ stor. Då må også $\Delta\omega$ vera stor og P_0/V bli tilsvarande liten.

I eit smalt bølgespektrum kan vi for $\frac{P_a}{V}$ nytta formulen for P_0/V med $\eta = \bar{\eta}$, der $\bar{\eta}$ er den gjennomsnittlege bølgeamplituden.

Eksempel: Liten ($R \approx 0$), stråumlineforma ($\mu \approx 0$) lekam.
Smalt bølgespektrum. Vi forlanger $\Delta\omega/\omega_0 = 0,2$.

$$\Rightarrow \frac{P_a}{V} \approx 2,5 \rho \omega_0^3 e^{-2k_0 b} \bar{\eta}^2$$

Set $b = 5 \text{ m}$, $\bar{\eta} = 1 \text{ m}$:

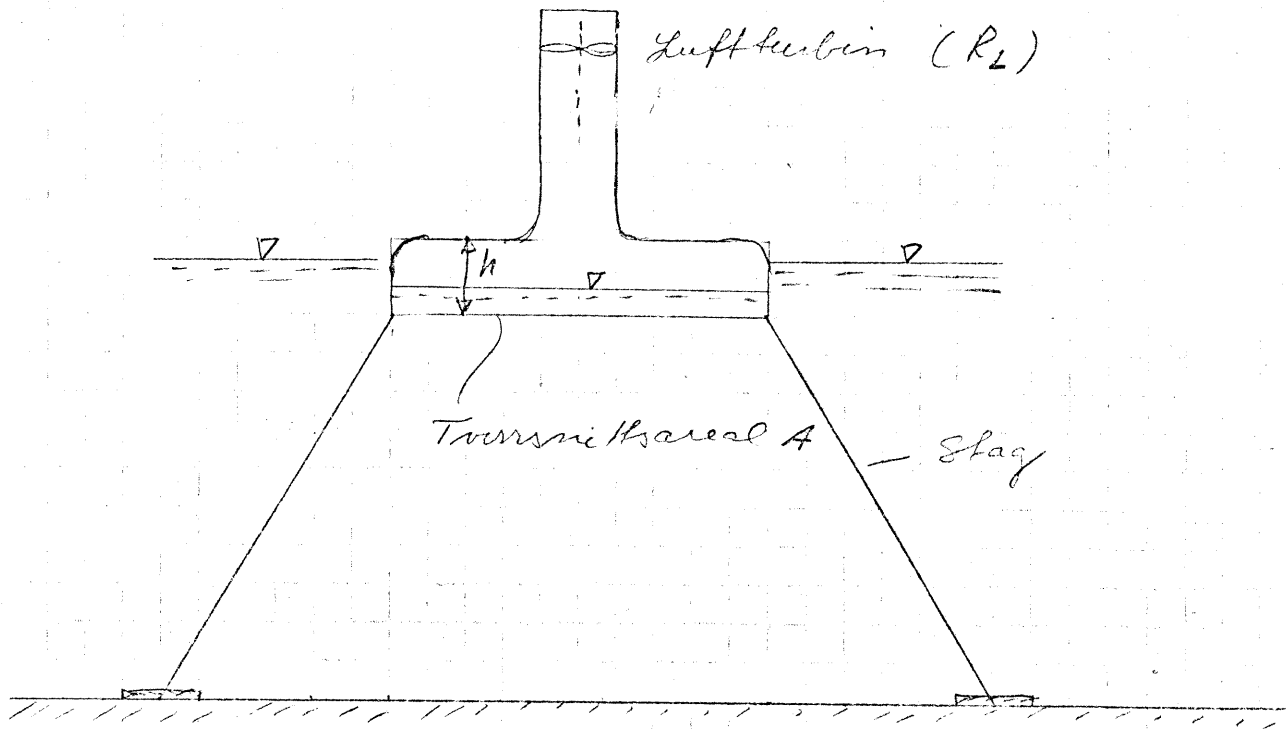


Utan resonansavstemning ($S = 0$) er den optimale energiabsorpsjonen per volumening for lekamen

$$\frac{P_a}{V} \approx 0,25 \rho \omega^3 e^{-2kb} \frac{1}{\bar{\eta}^2},$$

alts\u00e5 1/10 av resultatet med resonansavstemning, men bandbreidda er st\u00f8rre.

4. Enkel svingende væskesøyle.



Har $\lambda \gg \sqrt{A}$

- Då er:
- 1) Strålingsresistansen er neglisjerbar.
 - 2) Eksitasjonskrafta, $F_0 \approx A \rho g \eta$, der η er bølgeamplituden.

Optimaliserer lastrestansen R_L . Den optimale energiabsorpsjonen blir

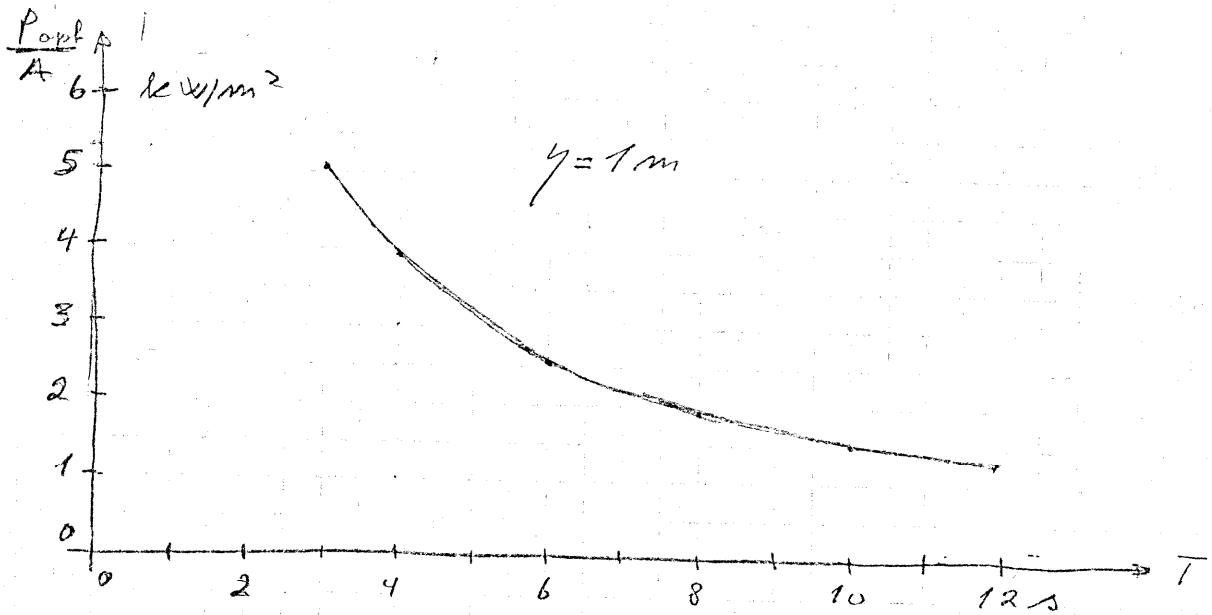
$$P_a \approx \frac{1}{4} \rho g A \omega \eta^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{P_a}{A} = \frac{1}{4} \rho g \omega \eta^2,$$

når utsvingsamplituden på væskesøyla er

$$s = \eta / \sqrt{2}$$

og fasevinkelen mellom eksitasjonskrafta og farten er

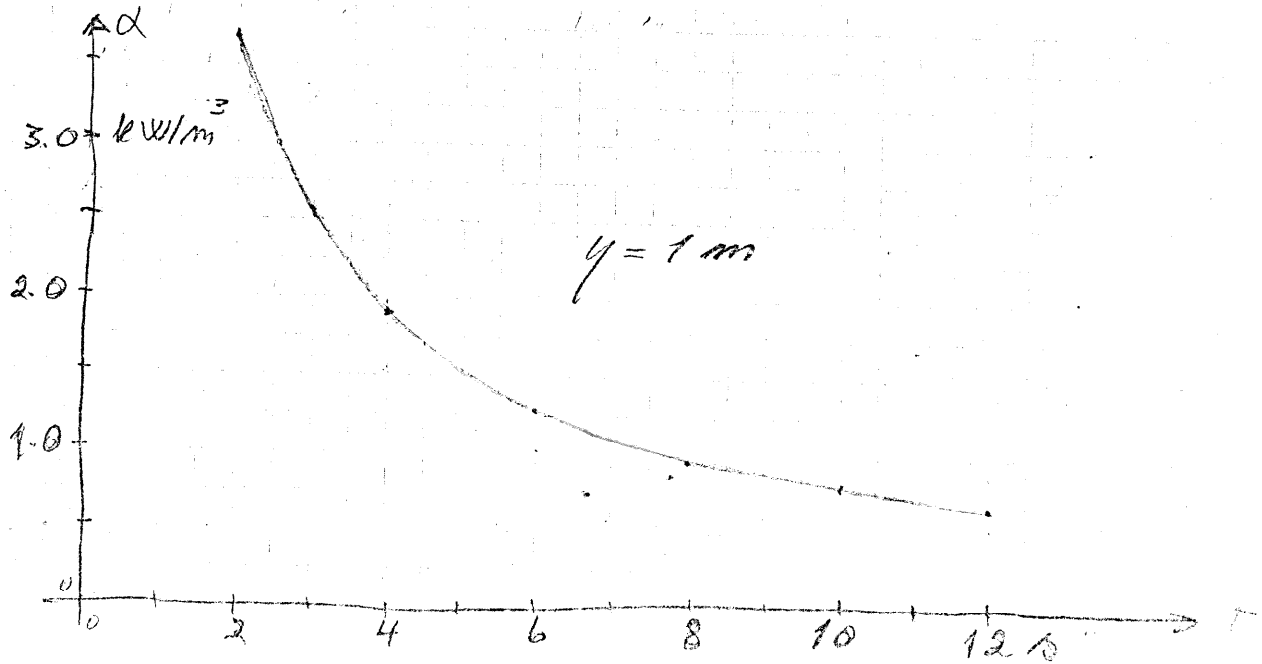
$$\varphi = 45^\circ$$



Må ha: $h \geq 2\eta$

Då er: $V = Ah \geq A2\eta$

Altså: $P_{opt}/V \leq \frac{1}{8} \rho g \omega \eta = \alpha$



Merk at P_a/V kan aukast ved fasestyring av systemet.