



VLF sändarantennor - verkningsgrad och bandbredd

Arne Lindblad
arne.lindblad@foi.se

Presentation 17 maj Grimeton
IEEE EMC SOCIETY, SWEDEN CHAPTER

Foto: Försvarsmakten/Johan Lundahl

Innehåll

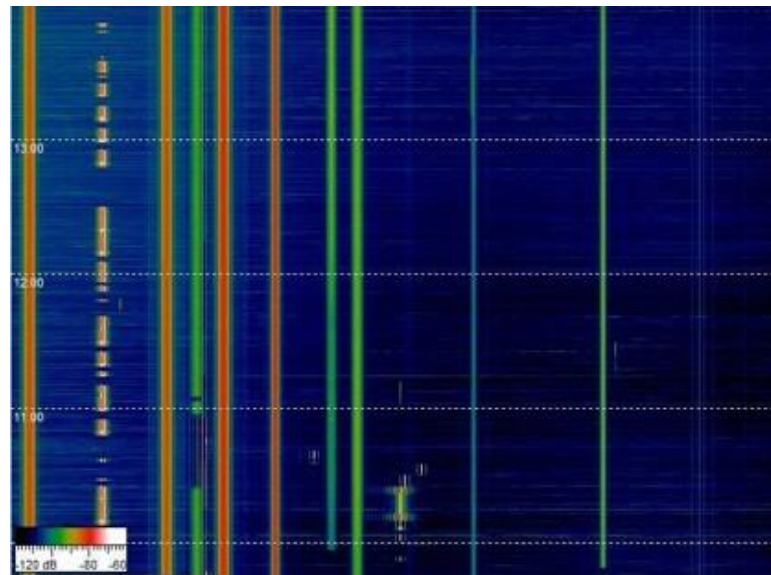
- Frekvensområde
- Användning
- Antenntyper
- Simulering av antenntyp TLM

Radiofrekvenser under 300 kHz

Band	Description	Frequency Range	Wavelength
ELF	Extremely low frequency	3 Hz - 30 Hz	100,000 km - 10,000 km
SLF (ELF)	Super low frequency	30 Hz - 300 Hz	10,000 km - 1,000 km
ULF	Ultra low frequency	300 Hz - 3 kHz	1,000 km - 100 km
VLF	Very low frequency	3 kHz - 30 kHz	100 km - 10 km
LF	Low frequency	30 kHz - 300 kHz	10 km - 1 km

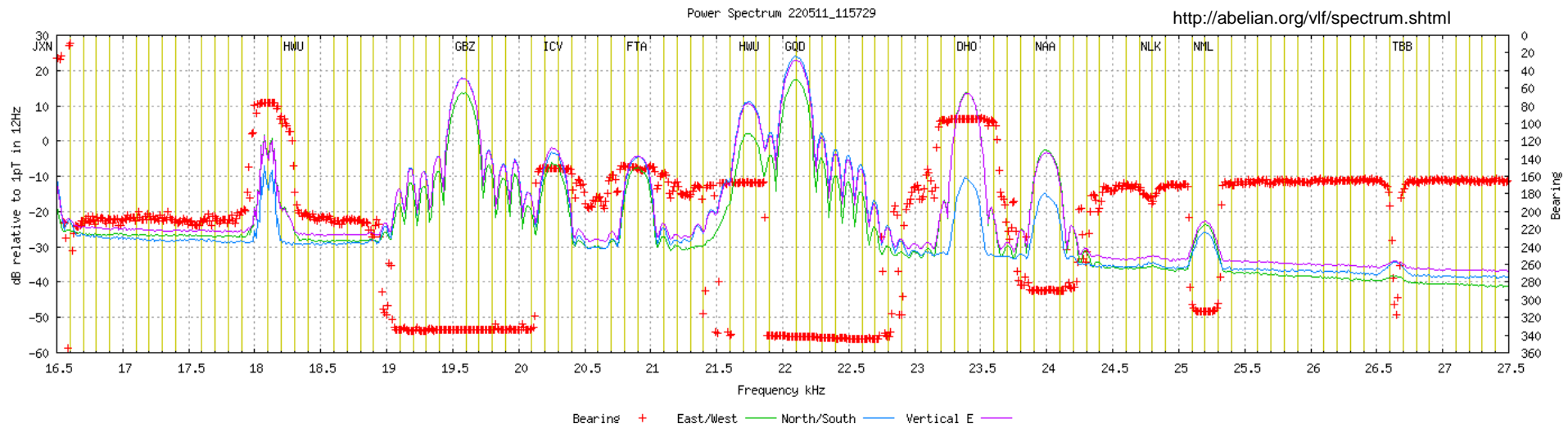
Användning av VLF

- Låga frekvenser kan tränga ner en bit i vatten
 - Används för kommunikation till ubåtar
- Vågutbredningen är stabil och når långt
 - Används/har använts till tidssignaler och positioneringssystem



Vattenfallsplott av sändningar till ubåtar

Spektrum VLF från Todmorden UK, 53.703N 2.072W



- Sändningar mestadels MSK och FSK

Modulation	Baud	Bandwidth 3 dB
MSK1	50	30
MSK1	200	120
MSK1	300	180
MSK4	4 x 50	120
FSK ±25 Hz	50	85
FSK ±42,5 Hz	100	150

Tidssignaler och positionssystem

[kHz]	Användning
11,9 – 15,6	"Alpha" RSDN-20, Positionssystem
20,5 – 25	"Beta" RJH, Tidsignal
60	MSF, Tidsignal
77,5	DCF77, Tidsignal, Radiostyrda klockor
90 – 110	Loran-C /eLoran/ Chayka
283,5 – 325	DGNSS, SWEPOS i Sverige

Risker för konflikter

- Vid CEPT ECC möte WG SE i Berlin januari 2017 diskuterades bl.a. Wireless power transmission (WPT) t.ex. för laddning av elbilar
- ETSI föreslår:
 - 19 – 21 kHz → VLF-kommunikation till ubåt
 - 59 – 61 kHz → Tidssignal
 - 79 – 90 kHz
 - 100 – 300 kHz → Loran och DGPS
- CISPR föreslår:
 - 19 – 25 kHz → VLF-kommunikation till ubåt
 - 36 – 40 kHz → LF-kommunikation till ubåt
 - 55 – 65 kHz
 - 79 – 90 kHz

Sändarantennner för VLF

- Alla antenner är elektriskt små – även om de är väldigt stora
 - Grimeton sänder på 17,2 kHz alltså 17,44 km våglängd
- En låång antennlina (Novik)
- Öka radierad effekt genom att öka strömmen med en toppkapacitans
- Multimastantennner
 - TriDeco (t ex. Cutler, Anthorn, Krasnodar)
 - Parallella monopoler (t ex Rhauderfehn)
 - Grimeton
- Enkelmast
 - Paraplyantenn (Toploaded umbrella monopole - TLM) (t ex Skelton)

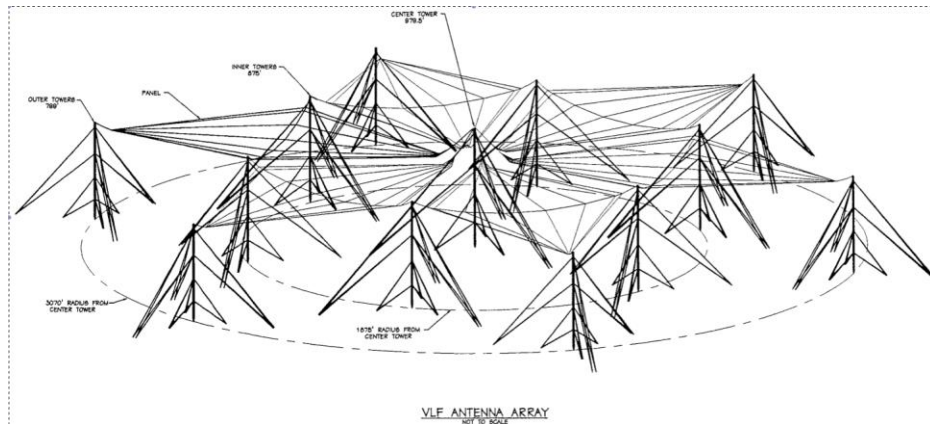


Foto: Forsvarets forum, Norge

Large VLF antenna - TriDeco

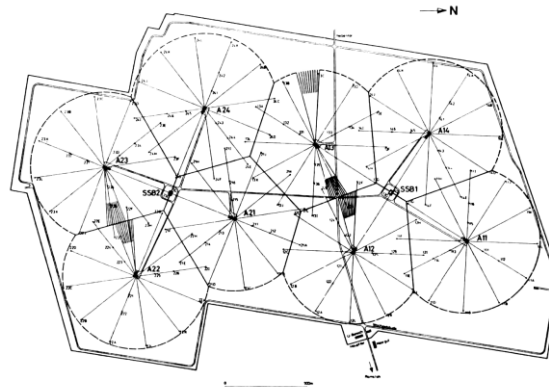
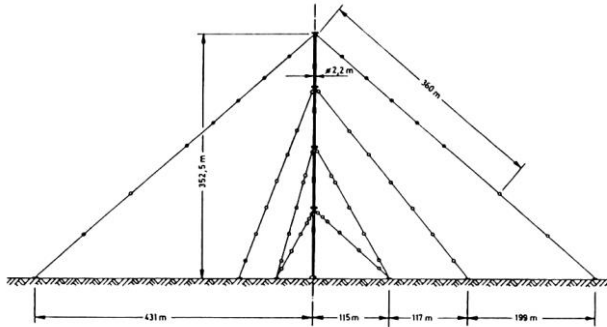
- A large topload capacitor net is supported by several masts
- Gives high radiation efficiency and reasonable bandwidth
- Costs are very high

TriDeco antenna systems at Cutler in Maine, US



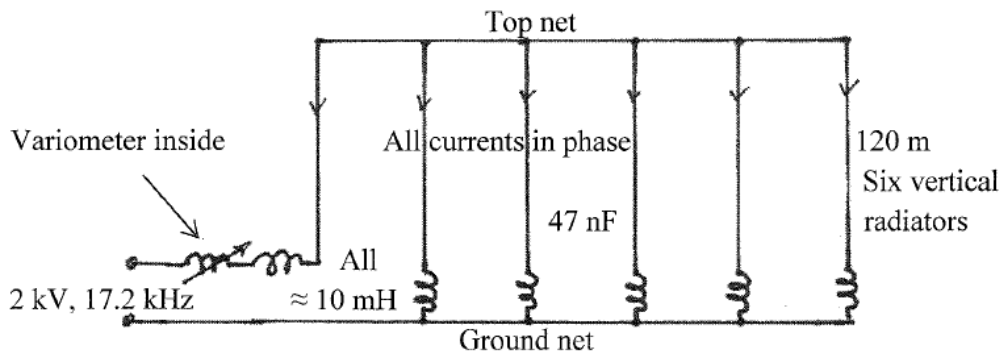
Rhauderfehn NATO transmitter in Germany

- Eight parallel working toploaded monopoles
- About 85 % efficiency at 23.4 kHz
- 120 Hz BW



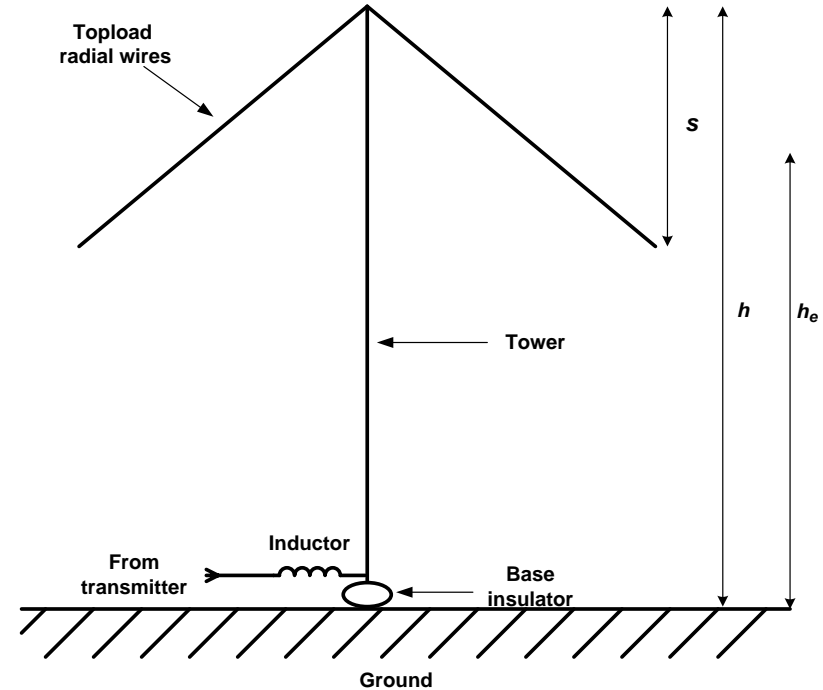
Grimeton - SAQ

- Sex master, 120 m höga, bär upp toppkapacitanslinor
- I marken finns ett jordnät och ett upplyft jordat balansnät finns delvis under masterna
- Radiatorlinor förbinder topplinorna med stora spolar
- Allt är avstämt till sändarfrekvensen



Toploaded monopole - TLM (1)

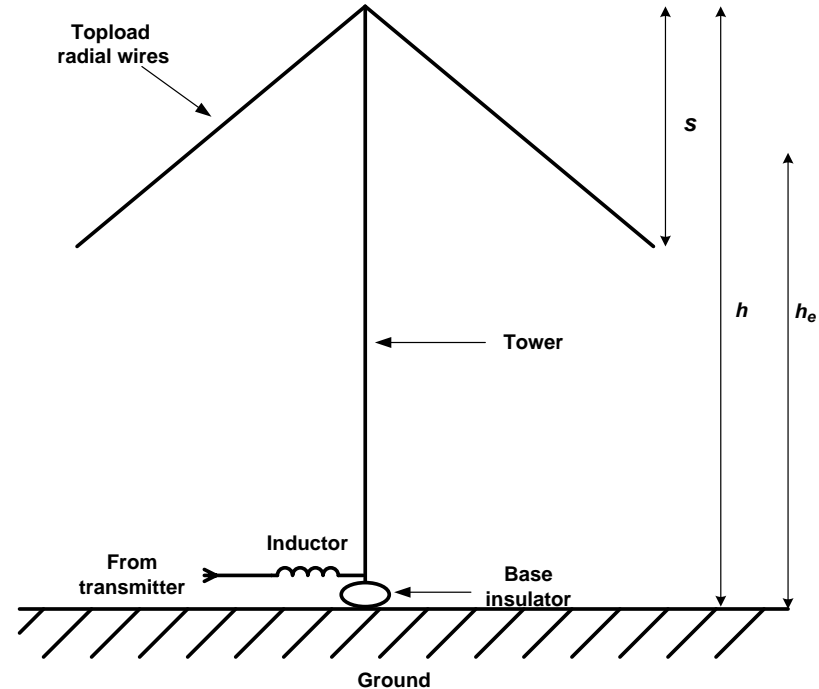
- A compromise between cost and performance
- Radial wires forms a top capacitor
- The mast is isolated and radiating



Toploaded monopole - TLM (2)

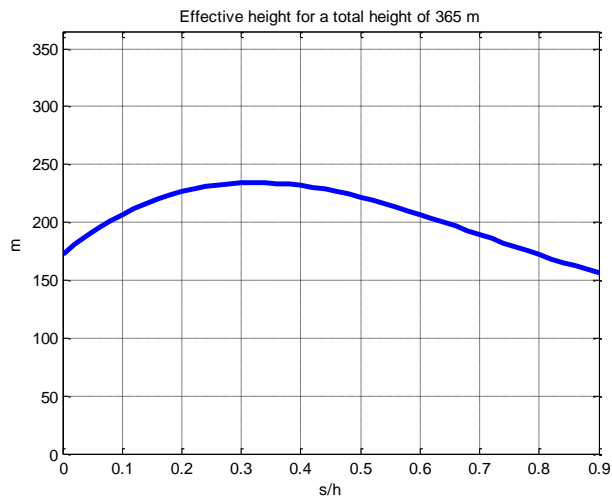
- An impedance matching coil is needed
 - Forms a serial resonant circuit with the top capacitor
- Increasing s raises the current in the mast – but current in the radial wires counteracts the radiating
- The effective height h_e is less than h
- Ratio s/h influence h_e and bandwidth

- Radiating resistance is $R_s = 160\pi^2 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2$



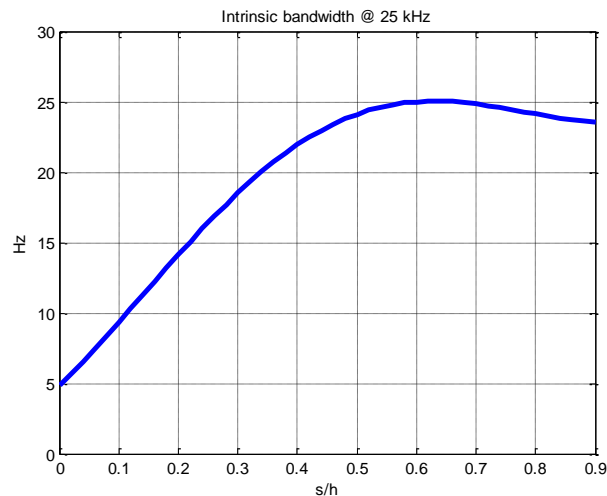
Simulations of an TLM antenna

- Input data to the simulation:
 - Mast 365 m
 - 12 radials at an angle of 45°



Effective height peaks at $s/h = 0.3$

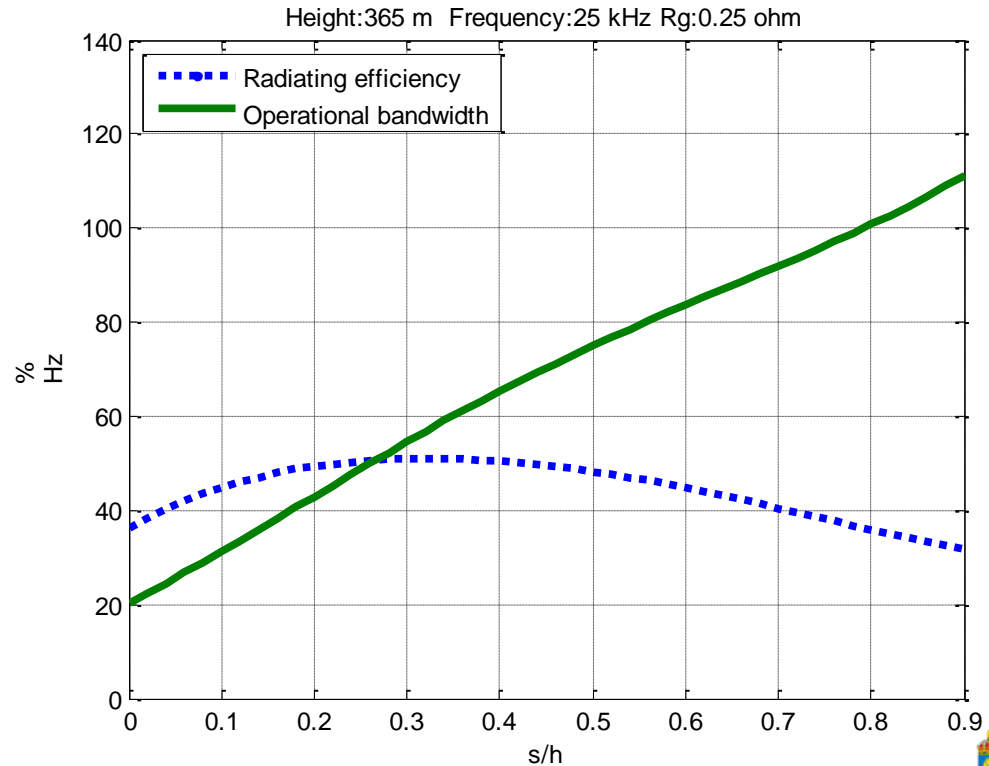
- Based on formula and data by:
 - P. Hansen, "High Power Very Low Frequency/Low Frequency Transmitting Antennas," Milcom 1990
 - J. Belrose, "VLF/LF Transmitting Antennas", AGARD Conf. on ELF/VLF/LF Radio Propagation and Systems Aspects, 1992.



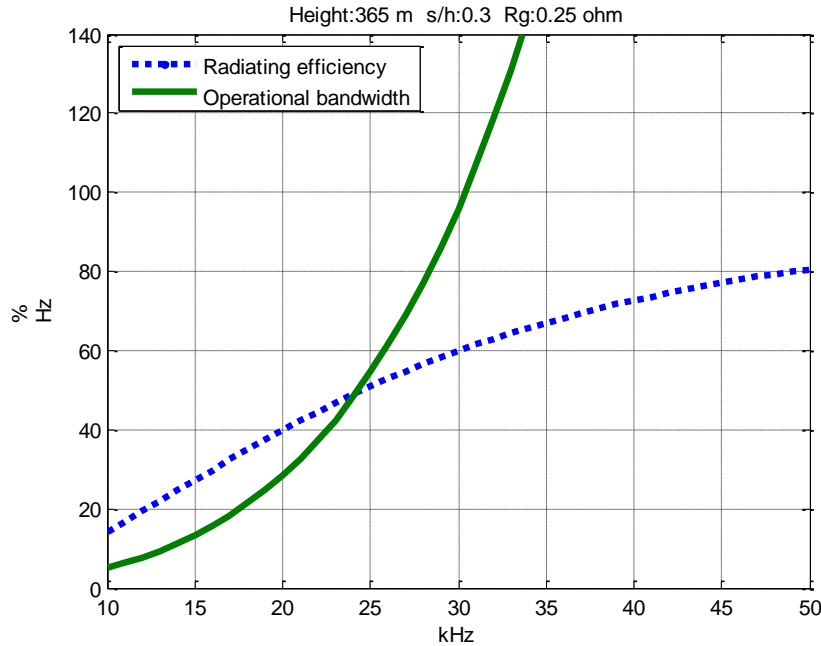
Intrinsic bandwidth peaks at $s/h = 0.65$

Including losses in the simulation

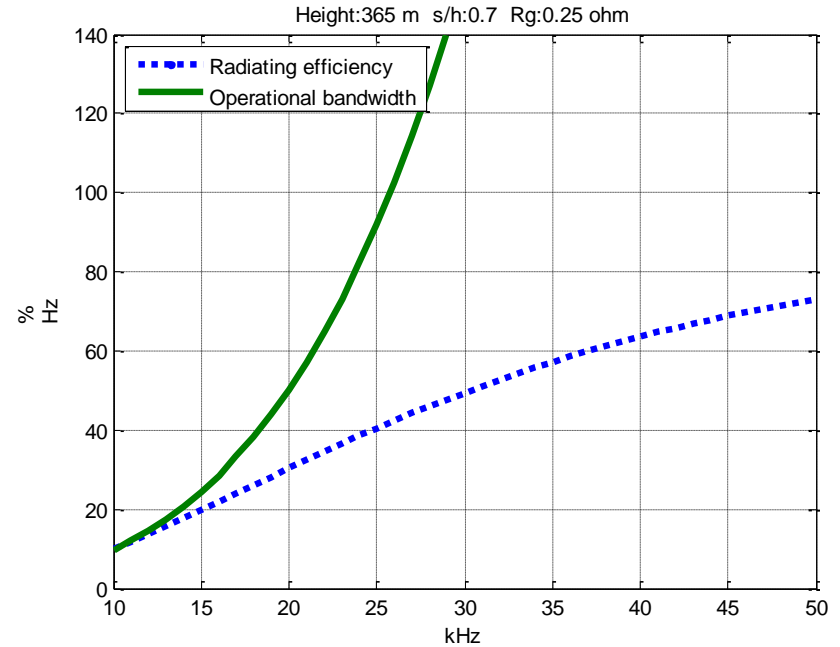
- Loads and losses:
 - Coil Q-factor = 1000
 - Ground resistance 0.25 Ω
 - Power amplifier loading
- Losses cause
 - Increase in bandwidth
 - Decrease in efficiency



Bandwidth and efficiency versus frequency



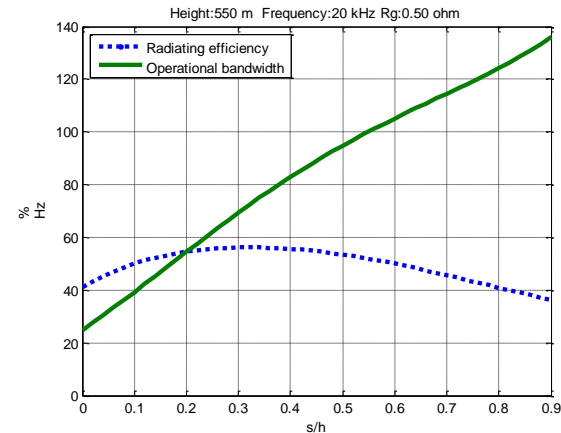
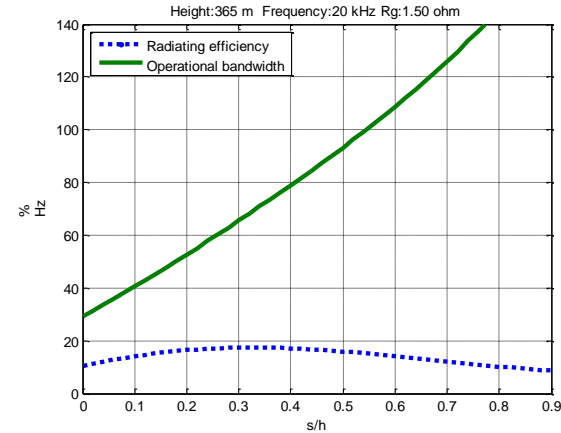
Ratio s/h optimised for efficiency



Ratio s/h optimised for bandwidth

Methods to increase the bandwidth

- Extra losses increase BW
 - 200 baud MSK but only 13 % efficiency @ 20 kHz
- Increasing height to 550 m
 - 200 baud MSK with 43 % efficiency @ 20 kHz
- Dynamic antenna tuning
 - Suitable for constant envelope modulations as MSK
- Use multiple antennas



Avslutning – Frågor?

Mer om VLF-antenner finns i rapport:

VLF sändarantenner - en översikt

Författare: Tore Lindgren, Arne Lindblad

Kan beställas gratis som pdf från foi.se med länk:

[FOI-R--4506--SE](http://foi.se/FOI-R--4506--SE)