



BME, Hidak és Szerkezetek Tanszéke

# Szélterhelés vizsgálata kettős modális transzformációval (DMT)

---

## Hunyadi Mátyás

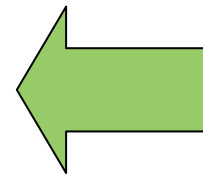
# Tartalomjegyzék

- Kapcsolódás
- Szél hatásának vizsgálata frekvencia térben (Eurocode)
- Saját ortogonális felbontás (POD)
- Szél hatása kettős modális felbontással (POD)
- Konvergencia, összehasonlítás



# Szélhatások

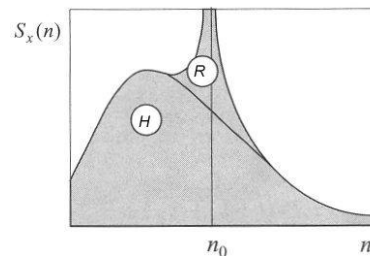
- Kvázi-statikusan állapot  
→ erőtenyező
- Dinamikus vizsgálat  
→ átviteli függvény
- Aeroelasztikus hatások  
(öngerjesztett erők)  
→ derivatívumok



# Modálanalízis

- $x = V\eta$
- frekvencia térben:  
teljesítmény sűrűség függvény (TSF)

$$S_{x,x} = V S_{\eta,\eta} V^T$$



# A szél struktúrája

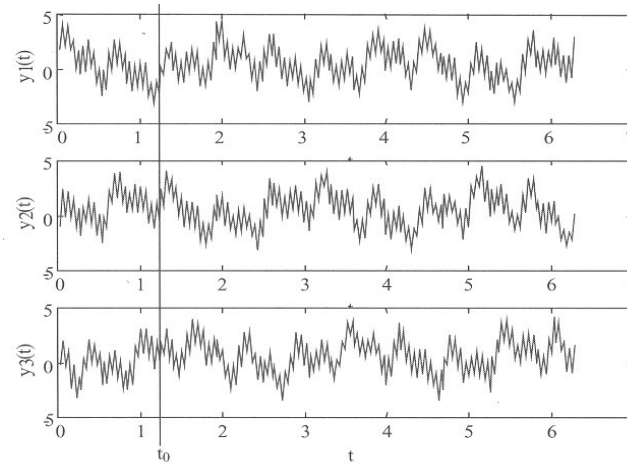
- Örvényes, turbulens struktúra

- $\bar{U} + u(t)$

- Lüktető rész: Gauss folyamat

- Torlónyomás  $p = \frac{1}{2} \rho (\bar{U} + u(t))^2 \approx \frac{1}{2} \rho (\bar{U}^2 + 2\bar{U}u(t))$

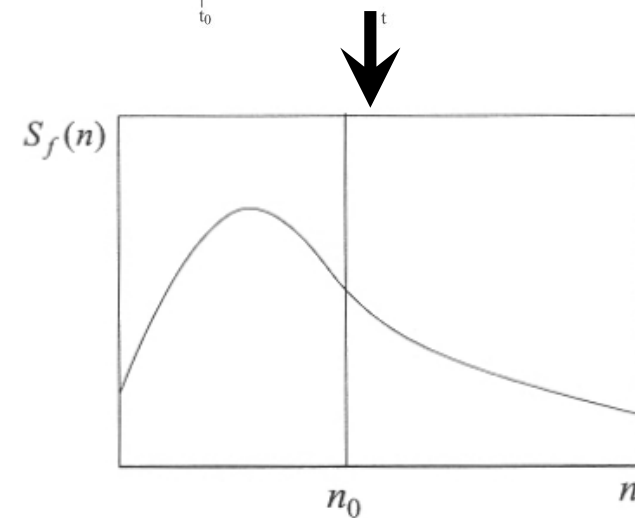
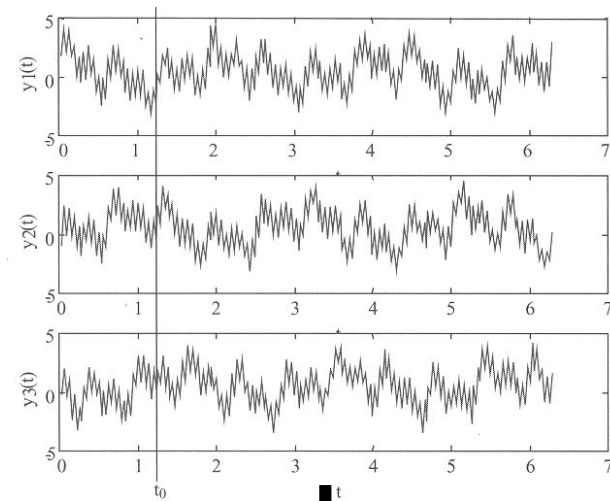
- Lineáris szélesebbég – torlónyomás kapcsolat



# A szélöket

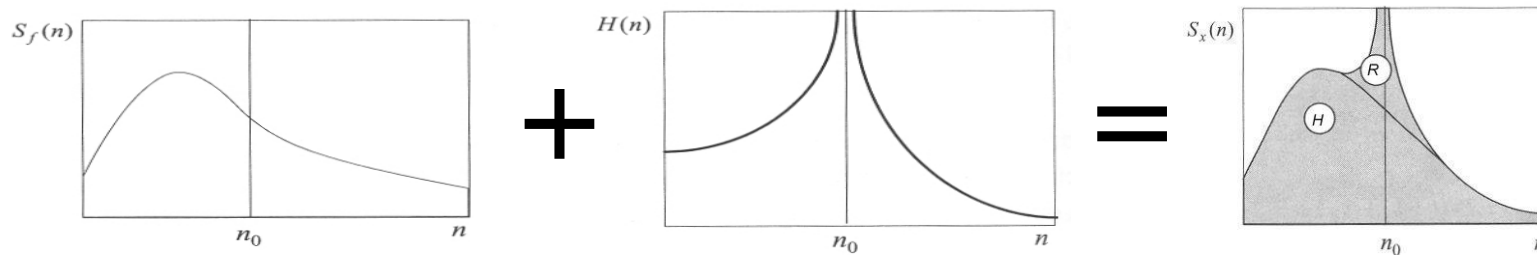
- Időlépcsős dinamikai vizsgálat
  - Generált tehertörténet
  - Többszöri futtatás az átlagoláshoz
- Frekvenciatérbeli analízis (Davenport 1967)
  - Szélörvények frekvenciája
  - Szerkezet sajátfrekvenciája
- Teljesítmény sűrűség függvény (TSF)

$$S_u(z, n) = \frac{6,8 f}{(1 + 10,2 f)^{5/3}} \quad f = \frac{n L(z)}{\bar{U}(z)}$$



# Szerkezeti válasz

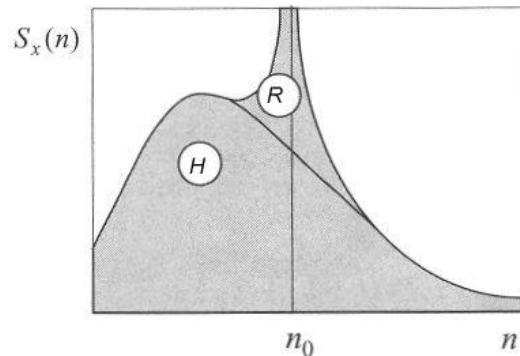
- Vizsgált válasz
  - Elmozdulás, gyorsulás ( $x, a$ )
  - Igénybevétel ( $N, V, M$ )
- Modálanalízis
- Teher TSF + szerkezeti átviteli függvény = válasz TSF



2010.07.20.

# Szerkezeti válasz

- Válasz TSF = válasz a szélőkésből



$$\tilde{x}^2 = \int_0^{\infty} S_x(n) dn \approx x_B^2 + x_R^2$$

- → szélső válasz értéke

$$x_{\max} = \bar{x} + g\tilde{x} = \bar{x} + g\sqrt{x_B^2 + x_R^2}$$

- Három rész:
  - átlag,
  - háttér (H; B)
  - rezonáns (R)





# Eurocode

- Szélteher

$$F_w = c_f \underbrace{\frac{1}{2} \rho \bar{U}^2}_{\bar{F}_w} \left( 1 + 2k_p I_u \sqrt{B^2 + R^2} \right)$$

- Részletes számítás a háttér és rezonáns tag kiszámításához




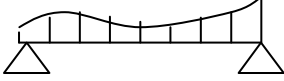
# Szerkezet térbeli kiterjedése

- Koherencia figyelembevétele
- EC-ben: egyszerű szorzó

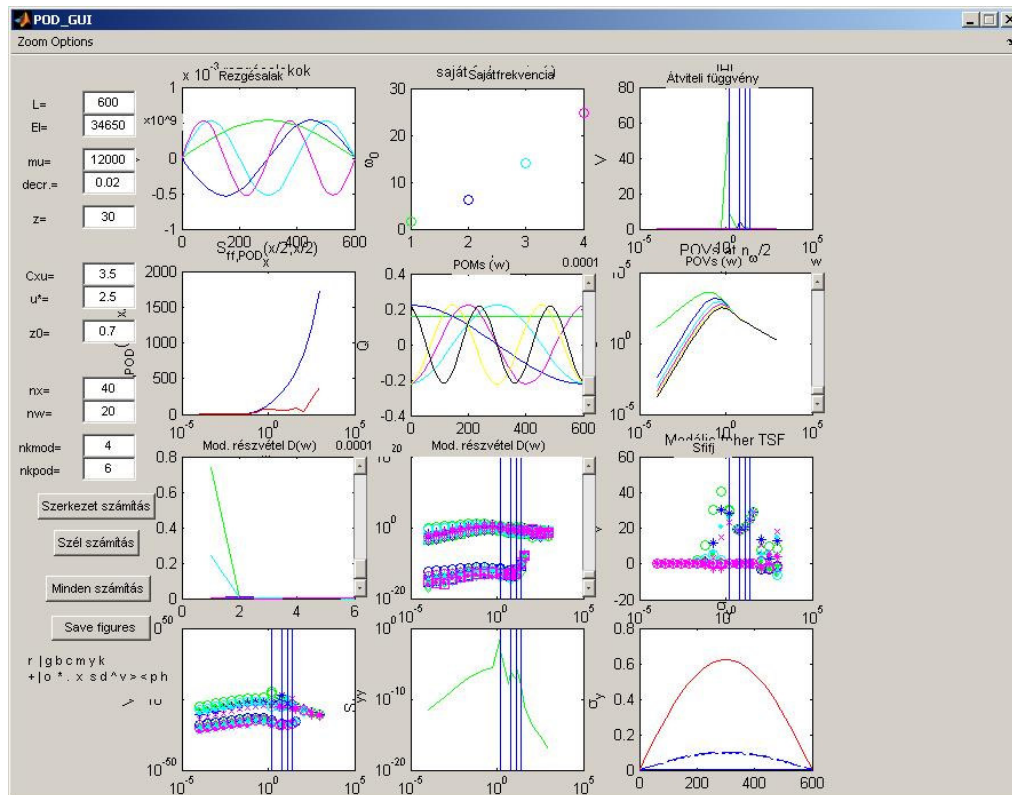


2010.07.20.

# Kettős modális transzformáció (DMT)

1. Szerkezet viselkedése (modálanalízis) 
  2. Szélteher kiterjed a szerkezet hossza mentén → szélteher struktúrája (POD) 
- Szélteher-módusok hatása a szerkezet sajátrezgéseire
  - $\Sigma\Sigma$  = szerkezeti válasz szélső értéke





Szerkezet

Szél

Dinamikus hatás



2010.07.20.

# Szél modális felbontása

- Szélesebesség TSF felbontása

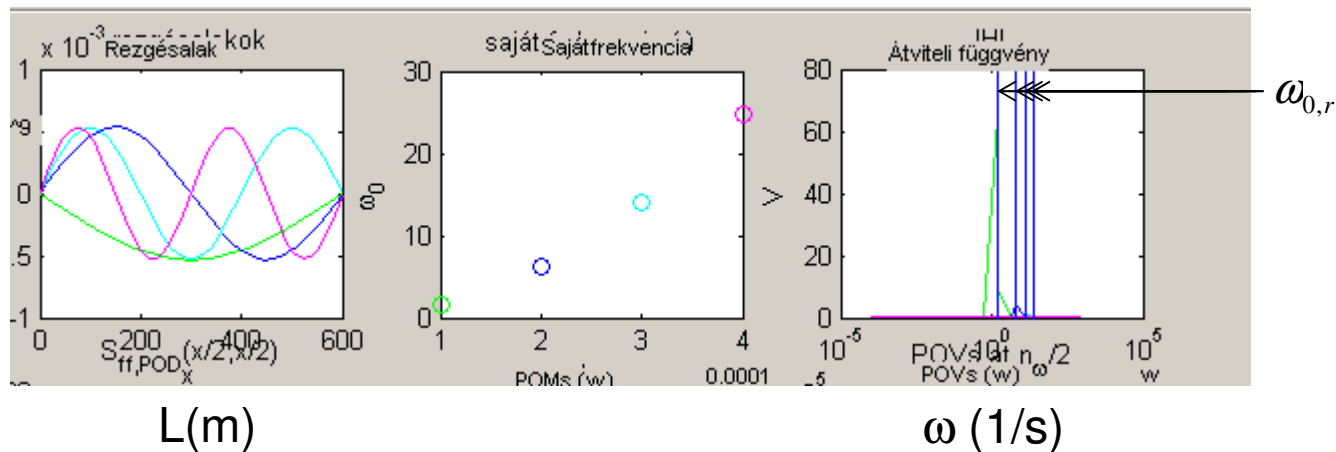
$$S_{uu} = Q G Q^T$$

- Keresztmodális részvétel  $D = V^T C_d Q G^{1/2}$

- Szélteher TSF  $S_{f_i f_j} = Q G Q^T$



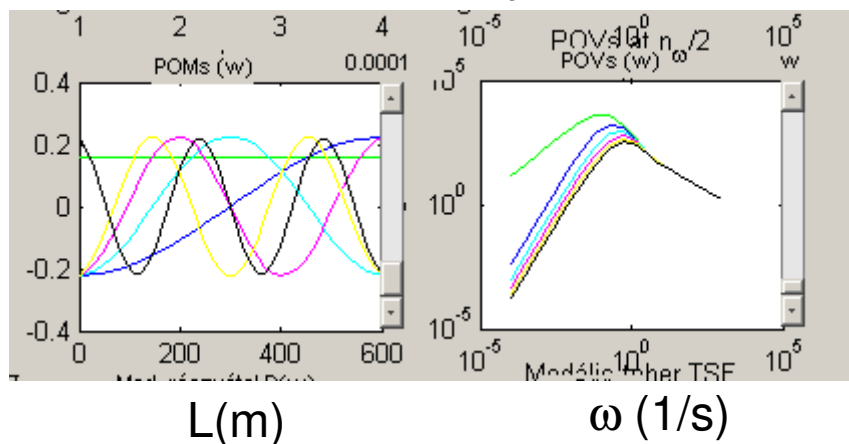
# Modálanalízis



Módusok

Sajátvektor

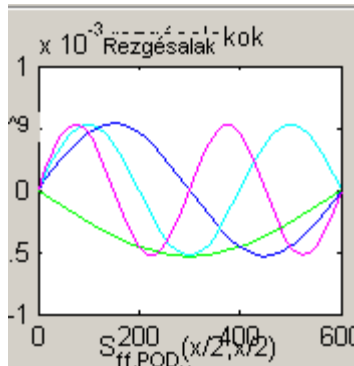
Átviteli függvény



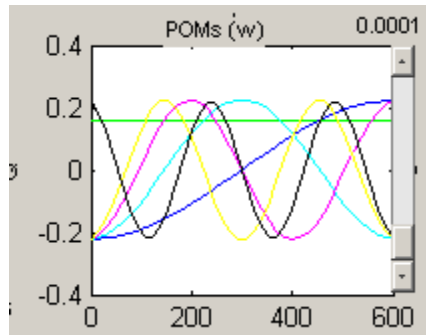
sajátértékek:  $\omega$  függvényében



# Keresztmodális részvételi mátrix

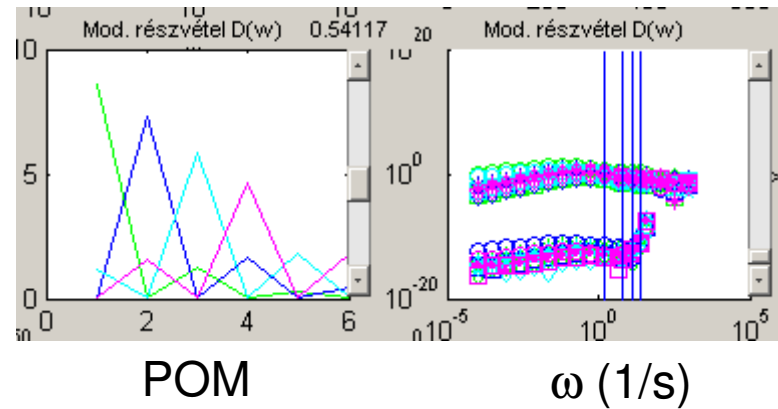


$i$ -edik szerkezeti sajátalak



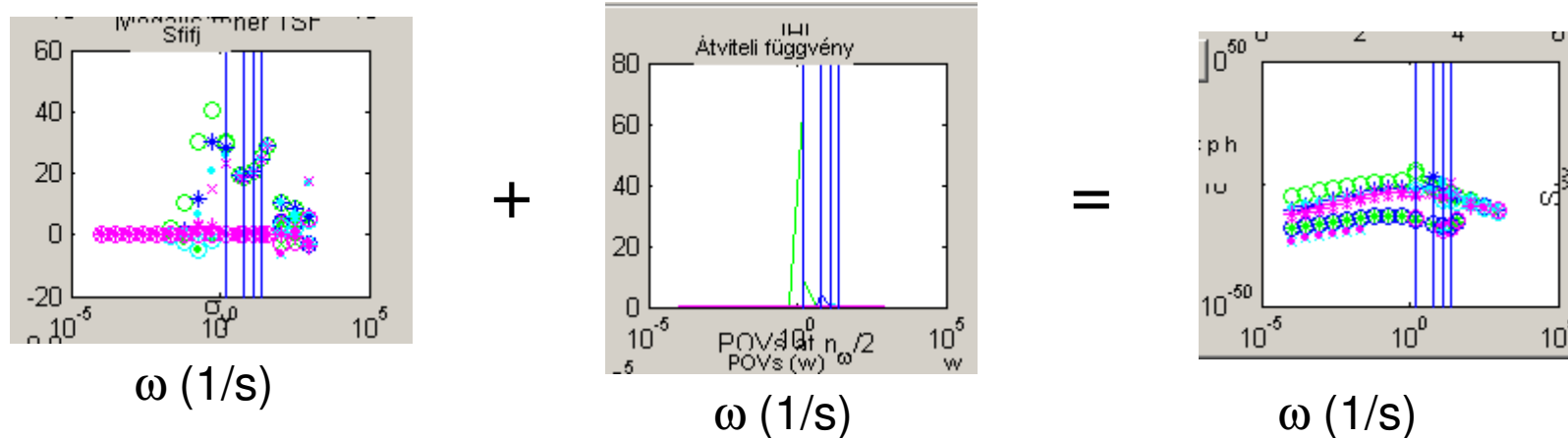
$j$ -edik szél sajátalak (POM)

$$D_{i,j}(\omega)$$



# Megoldás módusokra

- Teher TSF + szerkezeti átviteli függvény = válaszmódusok TSF



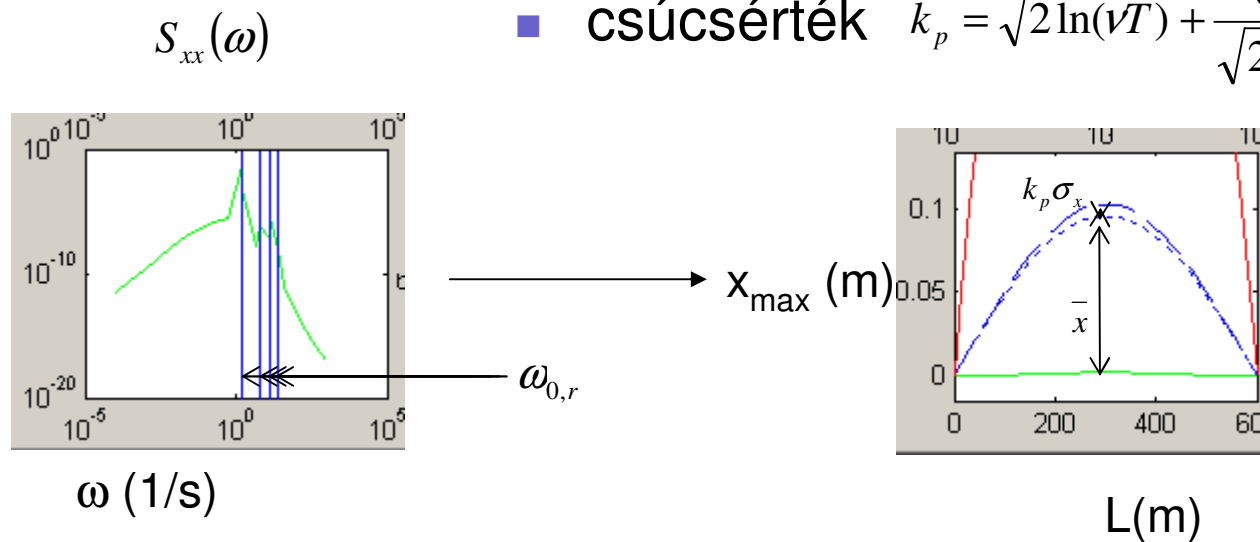
- válaszmódus TSF  $\rightarrow$  válasz TSF





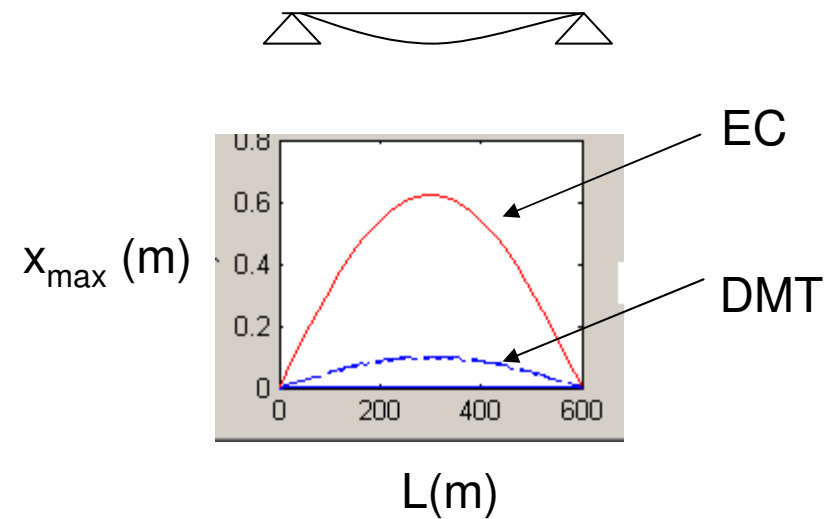
# Elmozdulás-válasz

- válasz szórása  $\sigma_x^2 = \int_0^{\infty} S_x(n) dn$
- válasz szélső értéke  $x_{\max} = \bar{x} + k_p \sigma_x$
- csúcsérték  $k_p = \sqrt{2 \ln(vT)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(vT)}}$



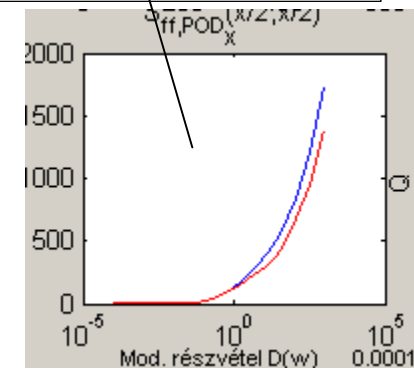
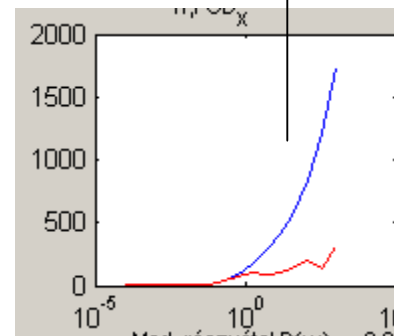
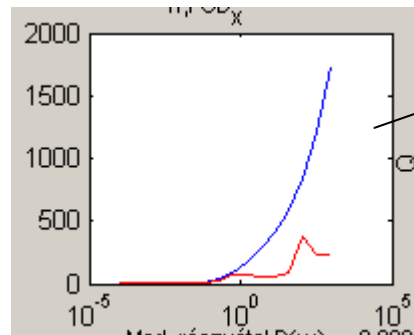
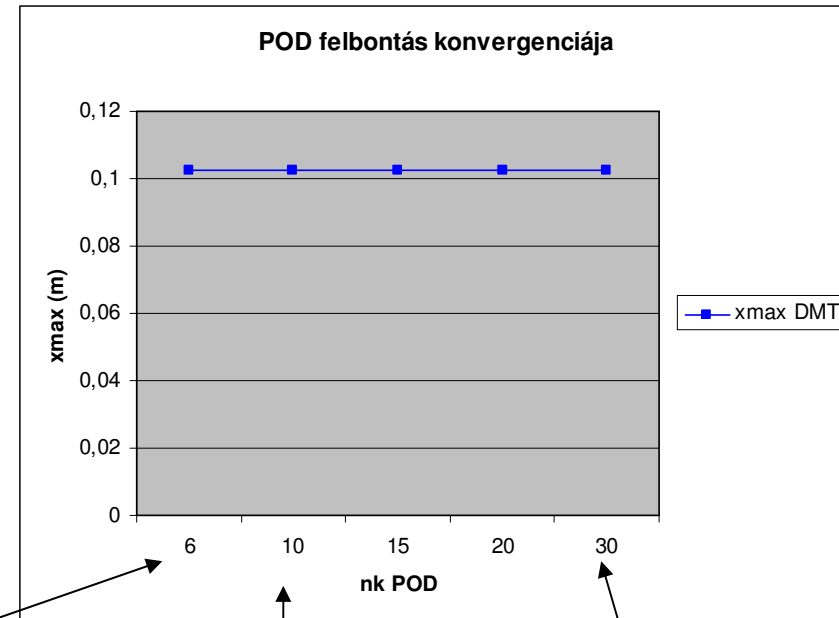
# EC – DMT összehasonlítás

- EC: koherencia nincs még figyelembe véve



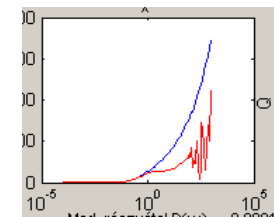
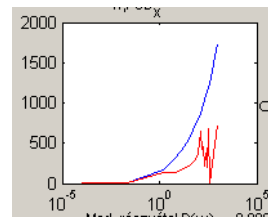
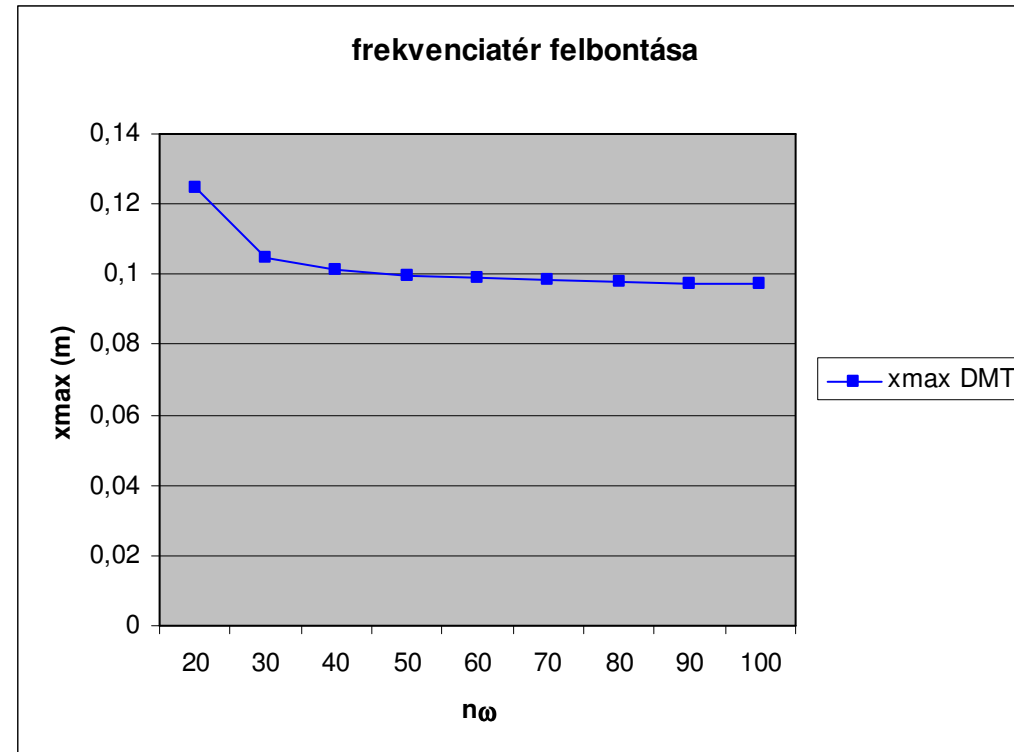
# Teljesítmény hányad

- Figyelembe vett sajátalakok száma:  $n_{k_{\text{POD}}}$
- logaritmus felbontás  $\rightarrow$  válasz konvergenciája kis számnál is



# Konvergencia

- Frekvenciátér felbontása:
  - logaritmikus,
  - $n\omega$  db részre



2010.07.20.

# Kettős modális transzformáció

## ■ Előnyök

- Szabványosított TSF
- Szerkezeti válasz ( $x$ ,  $M$ ) szélső értéke meghatározható

## ■ Hátrányok

- Nem egyidejű válaszok ( $N$ ,  $T$ ,  $M$ )
- Tervezők számára bonyolult a használata



# Következtetések

- POD hatékonysága
  - teljesítménytartalom már kevés sajátalaknál
- $\omega$  tér logaritmikus felbontású legyen
- EC lényeges túllépést ad elmozdulásra



---

Köszönöm a figyelmet!



---

2010.07.20.