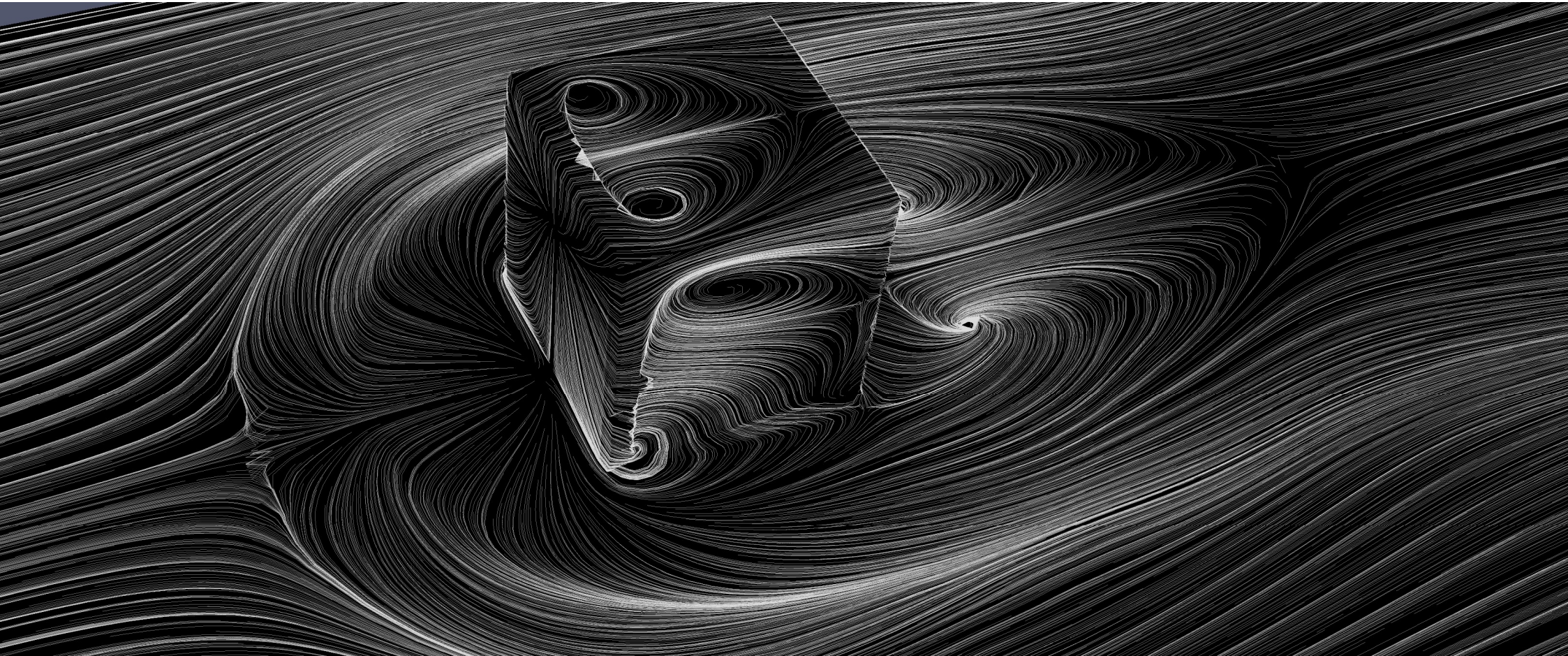


VIND | VIND



CFD til vindlast, muligheder og begrænsninger

1 ud af 7 Millennium Problems

Navier–Stokes Equation

This is the equation which governs the flow of fluids such as water and air. However, there is no proof for the most basic questions one can ask: do solutions exist, and are they unique? Why ask for a proof? Because a proof gives not only certitude, but also understanding.

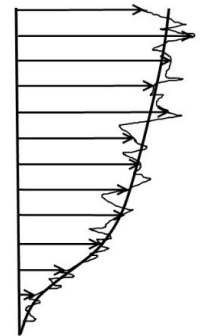
$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = -\nabla \bar{p} + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \frac{1}{3} \mu \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \rho \mathbf{g}.$$

Hvorfor er vindlast kompliceret?

VIND | VIND

CFD benyttes allerede til design af biler og fly. Vindlast på bygninger er imidlertid mere kompliceret. Det har tre hovedårsager:

- Den indkomne strømning er ikke uniform. Vinden er i sig selv turbulent, og bygningerne befinder sig i vindens grænselag – Atmospheric Boundary Layer
- Bygninger er som udgangspunkt ikke aerodynamiske. Turbulens ved skarpe kanter er kompliceret
- I forhold til bygninger ønsker man ud over gennemsnitslasten også et estimat for lokale spidsbelastninger



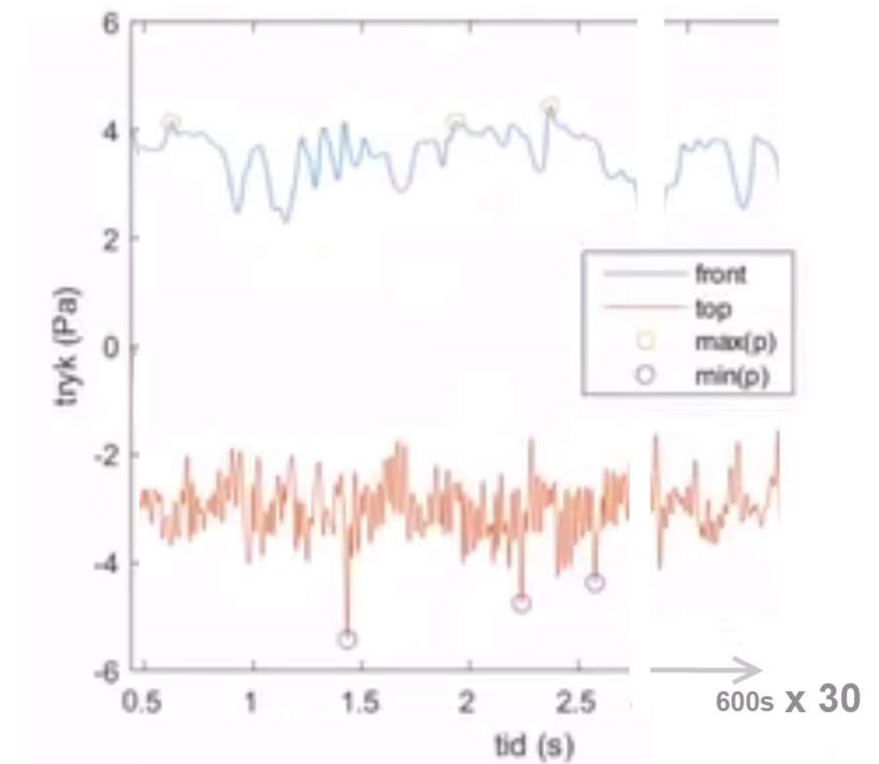
Den dimensionerende vindlast svarer til det kraftigste vindstød gennem konstruktionens levetid

Block Maxima

- 10 minutter bloklængde
- Maximaværdier er Gumbel distribuerede

$$f_g(x) = \frac{1}{\sigma} e^{-(z - e^{-z})}, z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

- Den dimensionerende vindlast 78%-fraktilen
- For 5% konfidensinterval skal der bruges 30 blokke



Atmospheric Boundary Layer

VIND | VIND

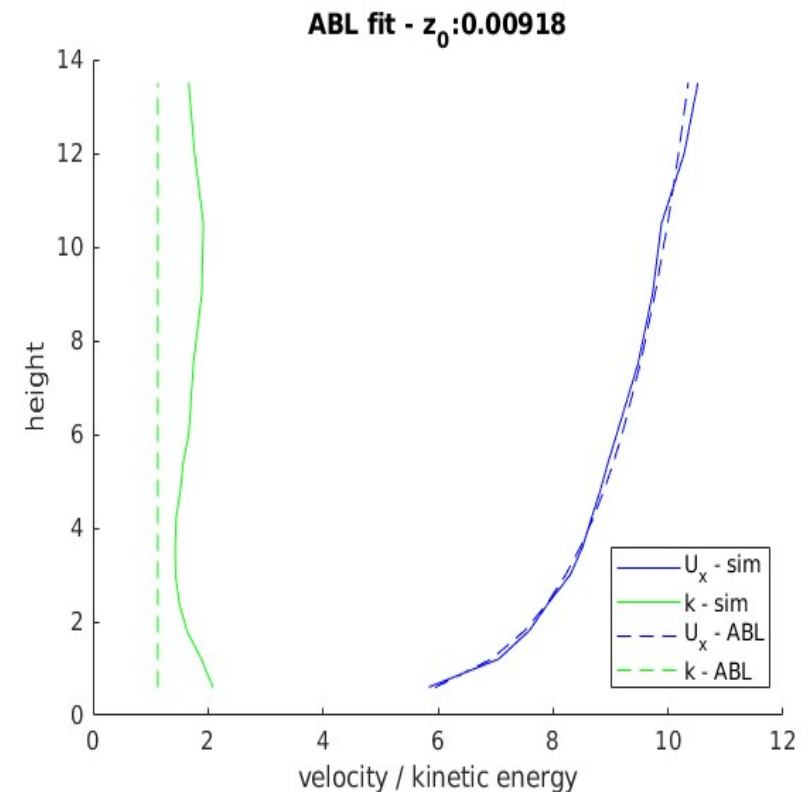
Turbulensen modelleres typisk med en turbulensintensitet ($I_u(z)$) og –energi ($k(z)$) for at spare beregningstid

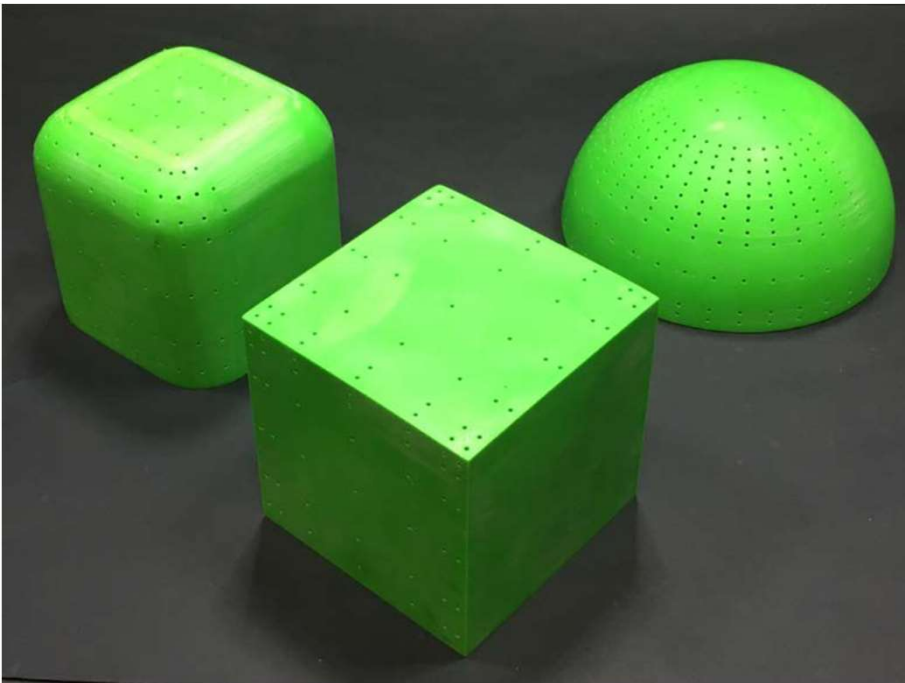
- Dette er en RANS tilnærmelse, der ikke fanger ekstremværdier

Fuldt udviklet turbulens kræver LES

- ABL kan simuleres med periodisk zone eller en fuld vindtunnel
- Problem: I beregningerne “dør” turbulensen, og resulatererne er ikke retvisende
 - Løsning: Modellerer inverse energy cascade

Dette er pt. den største beregningstekniske udfordring i forhold vindlastberegningerne med CFD





Benchmark til Selv-Evaluering

Holger Hundborg Koss
(DTU Civil Engineering)

Leika Jørgensen (Vind-Vind)
Per Jørgensen (Vind-Vind)
Nina Gall Jørgensen (Rambøll A/S)
(Danish Technological Institute – DTI)

<http://www.windengineering.byg.dtu.dk/download>

Valg af formfaktorer

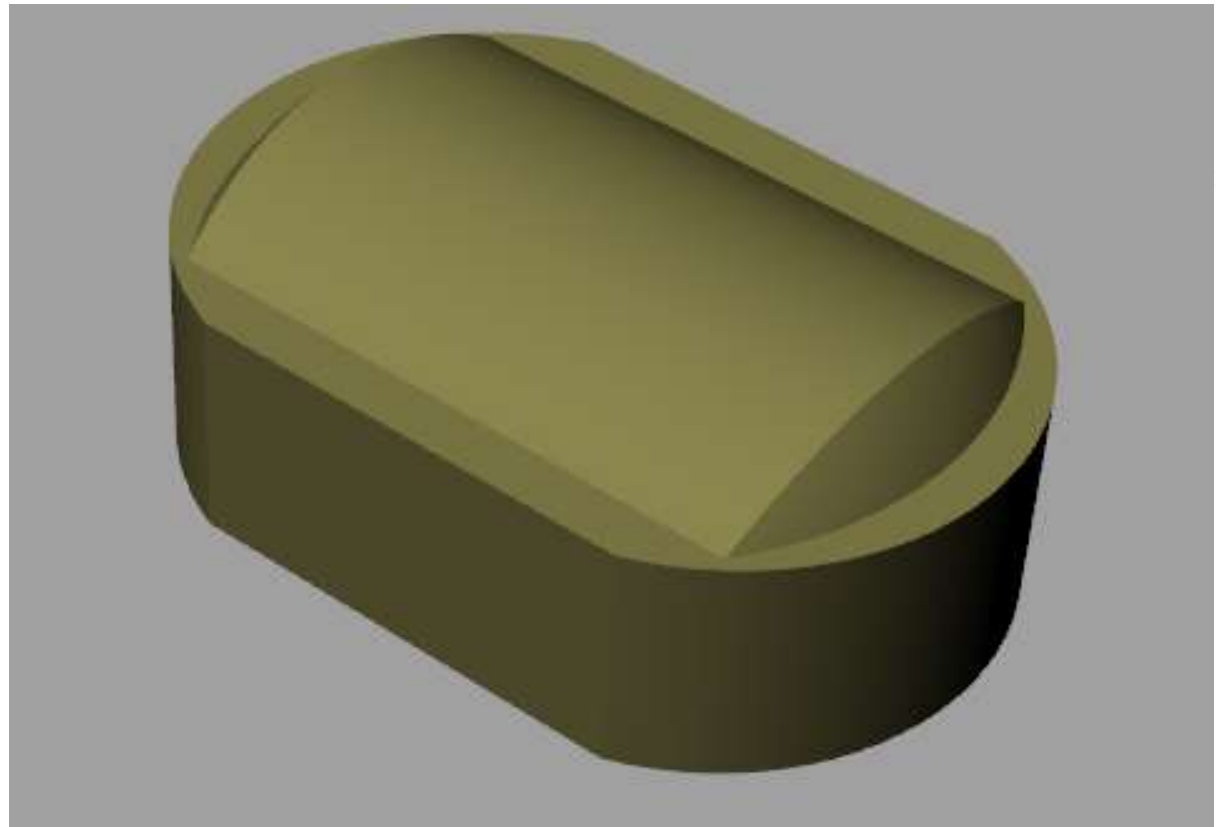
- Mere kvalificeret vurdering af normens formfaktorer

Designoptimering

- RANS -> LES

Simulering af laster

- LES
- Forstærkning i forhold til normen
- Reduktion i forhold til norm kræver massive datamængder



Laster kan simuleres, men det er beregningstungt

- Standardteknologi er ikke tilstrækkelig i praksis
- Større computer
 - Clustercomputer
 - Beregning på GPU (grafikkort)
- Udvidet statistik
 - 2D ekstremværdistatistik
 - Maskinlæring
- Avancerede turbulensmodeller
- Højere ordens CFD



Resultater fra CFD (afspil video)

VIND | VIND

Video...