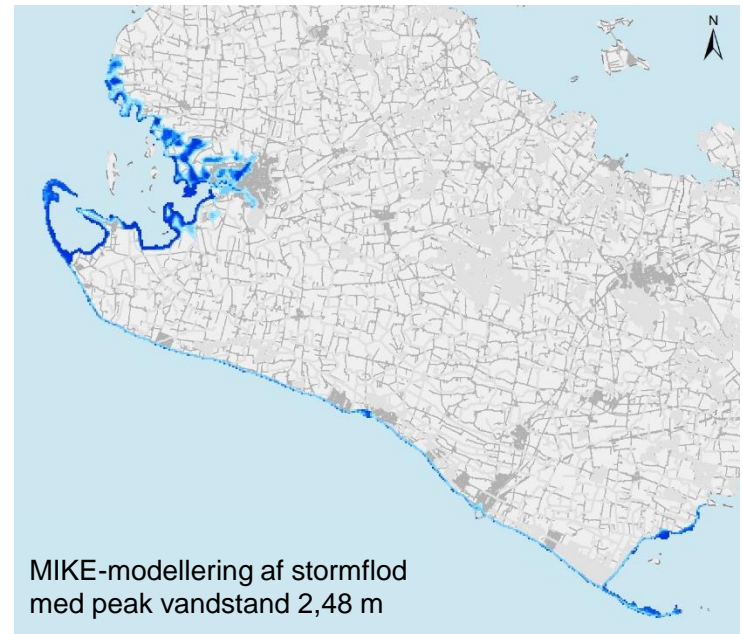
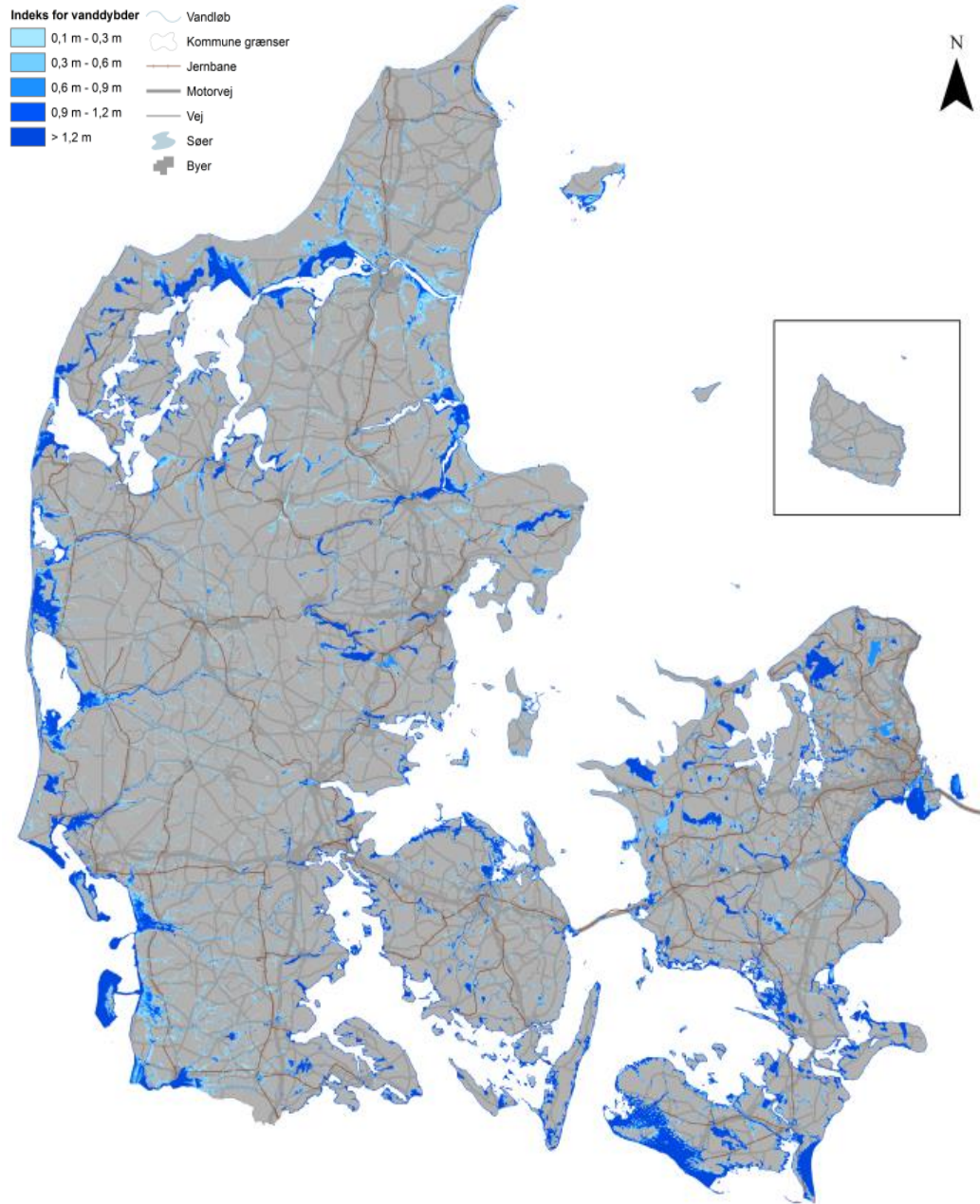


National kortlægning af oversvømmelse – dynamisk modellering

København
18. April 2024

Karl-Søren Geertsen





Indhold

- **Hvad er SFINCS?**
 - **Bærende ligninger**
- **Et dynamisk oversvømmelseskort på stor skala**
- **Nationale model-input**
- **Fundamentale forbedringer af tidligere kortlægning af oversvømmelsesfare**
- **Fremtidig perspektiver med SFINCS i KDI**

Hvad er SFINCS?

Super-Fast Inundation of CoastS



- **Udviklet af Deltares**
- **Blev Open Source model d. 16/11 2022**
- **KDI deltog i lancering + præsentation af SFINCS-arbejde**
- **En pragmatisk oversvømmelsesmodel, som kun inddrager de væsentligste elementer i beregningerne**
- **Bruger en ny metode (subgrid), som gør en hurtig, simpel model, mere præcis.**

SFINCS balances a high computational efficiency with adequate accuracy.

Deltares



Bærende ligninger SFINCS

- SFINCS er bygget på de samme bærende ligninger som LISFLOD-FP (Bates et al., 2010) – Local Inertial Equations (LIE)
- Men i SFINCS momentum ligningerne, er der tilføjet et advektionsled (vigtigt i forhold til bidrag fra bølger) og et wind stress led, således, at den løser Simple Shallow water Equation (SSWE) (Leijnse et a., 2021).

Numerical implementation momentum equations

The full numerical implementation of the momentum equations in SFINCS is presented here. The implementation of the computation of the fluxes (q) is based on Bates et al. (2010). The differences with the Bates et al. (2010) implementation are the addition of the advection terms adv_x and adv_y as well as wind shear terms $\tau_{w,x}$ and $\tau_{w,y}$. For grid indices one is referred to Fig. 2.

$$q_{x,m,n}^{t+\Delta t} = \frac{\left[\theta q_{x,m,n}^{t+\frac{1-\theta}{2}} (q_{x,m+1,n}^t + q_{x,m-1,n}^t) \right] - \left(g h_{x,m,n}^t \frac{(\zeta_{m+1,n}^t - \zeta_{m,n}^t)}{\Delta x} + \overbrace{adv_x} + \overbrace{\frac{\tau_{w,x}}{\rho_w}} \right) \Delta t}{(1 + g \Delta t m^2 q_{x,m,n}^t / h_{x,m,n}^{t,7/3})} \quad (A)$$

$$q_{y,m,n}^{t+\Delta t} = \frac{\left[\theta q_{y,m,n}^{t+\frac{1-\theta}{2}} (q_{y,m,n+1}^t + q_{y,m,n-1}^t) \right] - \left(g h_{y,m,n}^t \frac{(\zeta_{m,n+1}^t - \zeta_{m,n}^t)}{\Delta y} + \overbrace{adv_y} + \overbrace{\frac{\tau_{w,y}}{\rho_w}} \right) \Delta t}{(1 + g \Delta t m^2 q_{y,m,n}^t / h_{y,m,n}^{t,7/3})} \quad (B)$$

Momentum equation: givet ved flux beregninger i x og y retning.

$$\Delta t = \alpha \frac{\Delta x}{\sqrt{gh_{max}}}$$

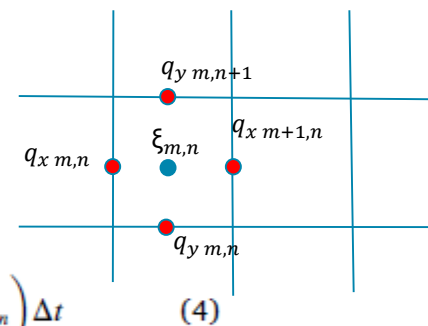
CFL kriterie til stabilitetskontrol af model tidsskridtet.

Kobling i mellem flux og vandstand

$$\zeta_{m,n}^{t+\Delta t} = \zeta_{m,n}^t + \left(\frac{(q_{x,m-1,n}^{t+\Delta t} - q_{x,m,n}^{t+\Delta t})}{\Delta x} + \frac{(q_{y,m,n-1}^{t+\Delta t} - q_{y,m,n}^{t+\Delta t})}{\Delta y} + \overbrace{S_{m,n}} \right) \Delta t$$

Vandstand løst i tid og rum

Source – Regn/infiltration



Mere om SFINCS

- **SFINCS kan også bruges uden advektion, hvor bølgebidrag (opskyl) ikke tages med. Dette har vi arbejdet med indtil videre**
- **Vi har heller ikke wind stress med i beregningerne. Vi har anvendt den simpleste version af SFINCS indtil videre**
- **SFINCS benytter et underliggende subgrid til opslagsværk af fint opløselig terræn-data**
- **Fordele vs ulemper (subgrid)**
 - En grov model = mere præcis i det hydrodynamiske grid.
 - Er rigtig god til at opfange strømningsveje (plads til vand).
 - Vil overse lokalt terræn (strandvolde etc) hvor disse ikke er linjeført.

What are subgrid features?

Subgrid features are a method in which flux computations are performed on a coarser grid than the update of the water levels which is done on a much finer resolution. In this way computations can be sped up, while still using high resolution information of topography and bathymetry.

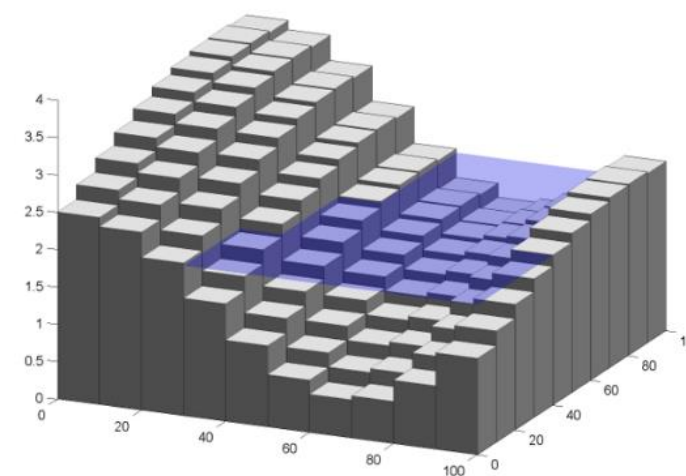


Fig. 10 Example subgrid features within one grid cell

Dynamisk oversvømmelseskort på stor skala

- SFINCS modellerer gradienter i de kystmære vandstande under en stormflod (dynamisk model)
- Oversvømmelsen, beregnet af den simple og hurtige model, genbregnes på en højere opløst terrænmodel – højtopløseligt oversvømmelseskort
- Oversvømmelseskortet er rensset, således der er forbindelse imellem oversvømmelse og havet

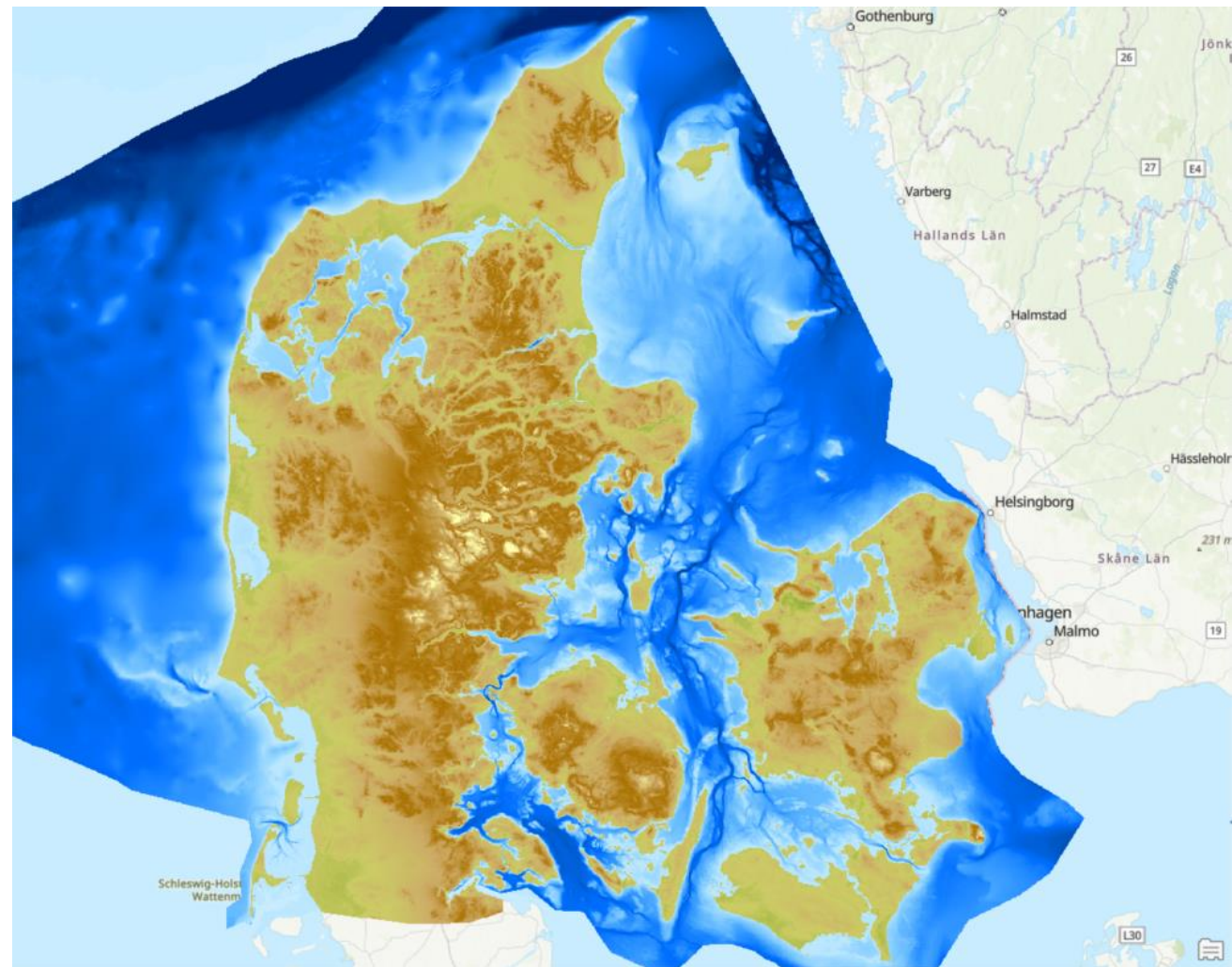
Højtopløseligt oversvømmelseskort baseret på de dynamiske processer langs de danske kyster!

Modelopsætning

- **National model har et overordnet hydrodynamisk beregningsnet på 100x100m, subgrid 5x5m.**
- **Struktureret og retlinet beregningsnet, alle beregningsceller har samme størrelse.**
- **KDI nationale SFINCS-model kan beregne den landsdækkende oversvømmelsesfare på få timer**
- **I fremtiden vil opløsningen kunne forbedres ved brug af et ikke-struktureret beregningsnet (graduering i beregningscellestørrelse.)**

Nationale model-input (højdemodel og farvandsmodel)

- **SDFI - Danmarks højdemodel opskaleret til 5x5m.**
 - Udvalgte vandløb er indbrændt i højdemodellen
- **GeoDanmark – Hydrologiske tilpasninger er anvendt**
- **GST - National farvandsmodel (50x50m)**



Nationale model input (Defineret ruhedskort)

- Mannings ruhedskoefficient er baseret på U.S. Army Corps of Engineers' (USACE) overfladetyper.

Overfladetype	n [s/m ^{1/3}]
Søer og vandløb	0,023
Markblokke 2021 og vådområder	0,035
Kratbevoksning og hede	0,050
Land uden polygon	0,060
Sand og klit	0,070
Lav bebyggelse	0,100
Skov	0,120
Veje, bygninger, høj bebyggelse, bykerne, parkeringsområde og startbane	0,140



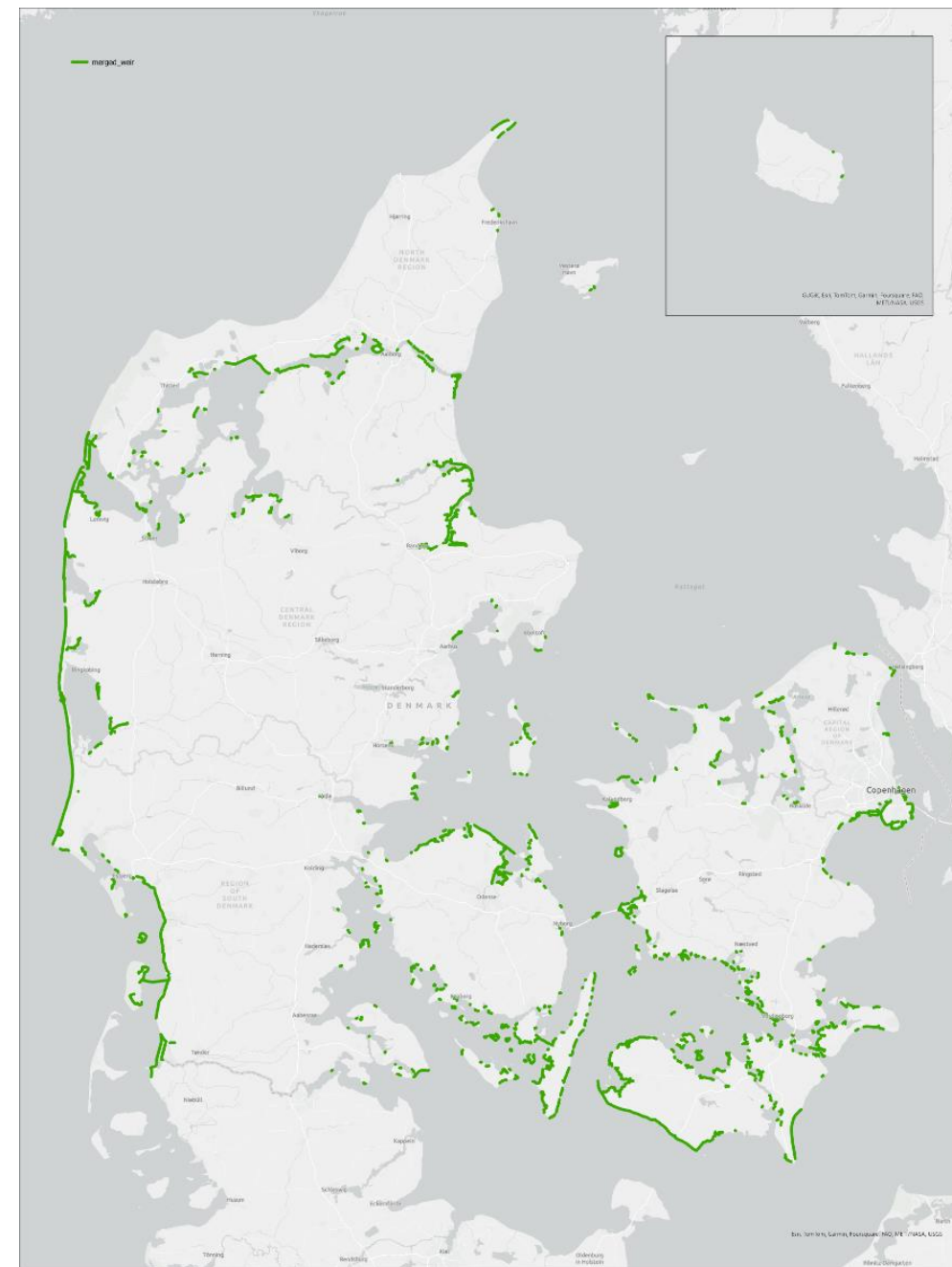
Nationale model input (Højvandsstatistikker)

- Før, var screeningen baseret på en ekstremværdi = vandstand
- Nu er det en vandstandskurve
- Kurver er standardiseret, baseret på historiske hændelser målt ved stationerne



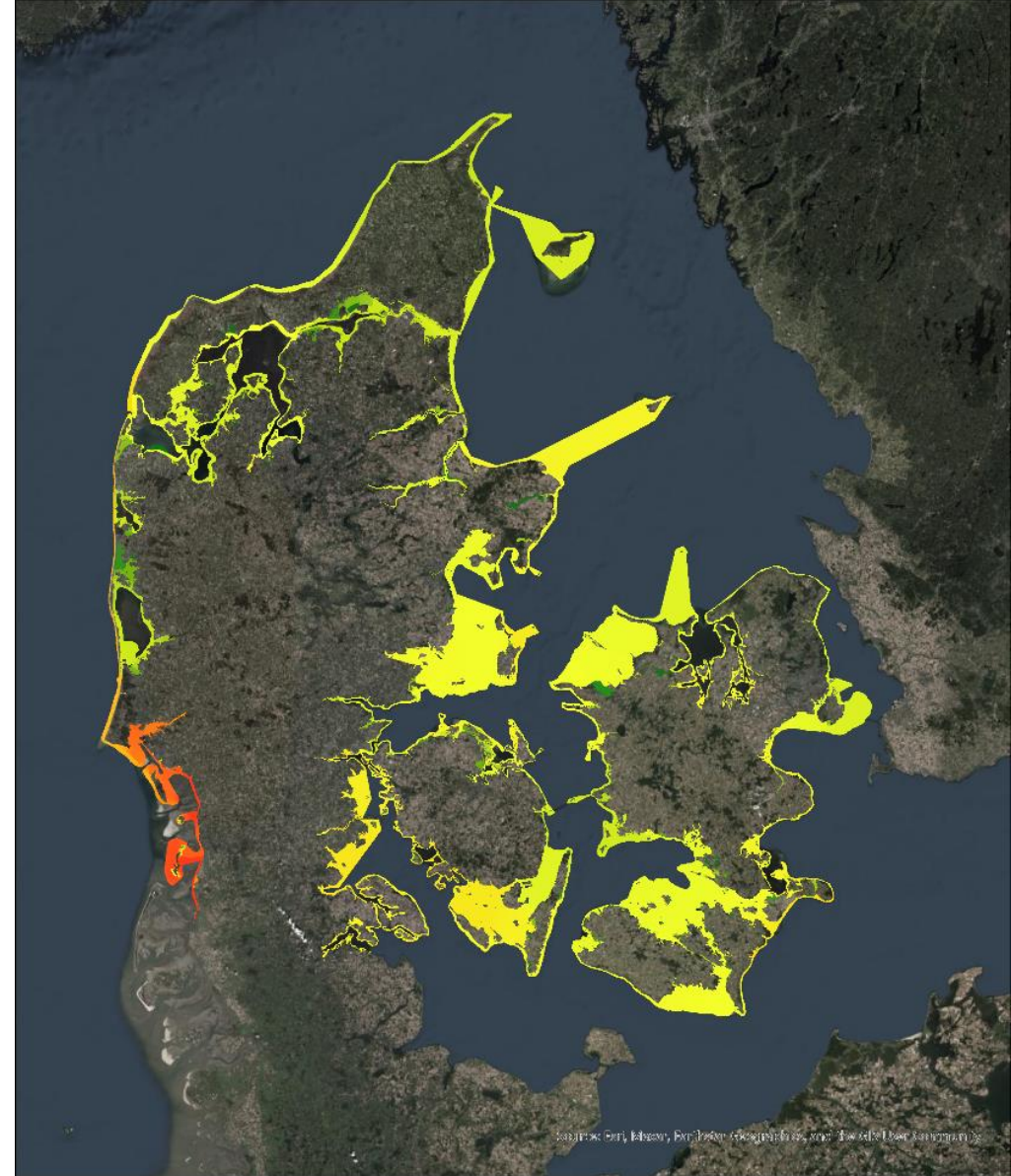
Nationale model input (Overløbslinjer)

- Diger, KDI datasæt = kun havdiger
- Dæmninger af hydraulisk betydning er linjeført
- Klitter, som tjener et oversvømmelsesbeskyttende formål er linjeført

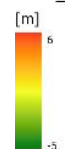


Tre fundamentale forbedringer af tidligere metode

1. De kystnære vandstandsgradienter for en statistisk hændelse modelleres
2. Det kystnære bidrag fra vandløb er medregnet (baseret på en baggrunds-vinterafstrømning).
3. Overløbsformler beregner den tidsmæssige rate for overløb over diger

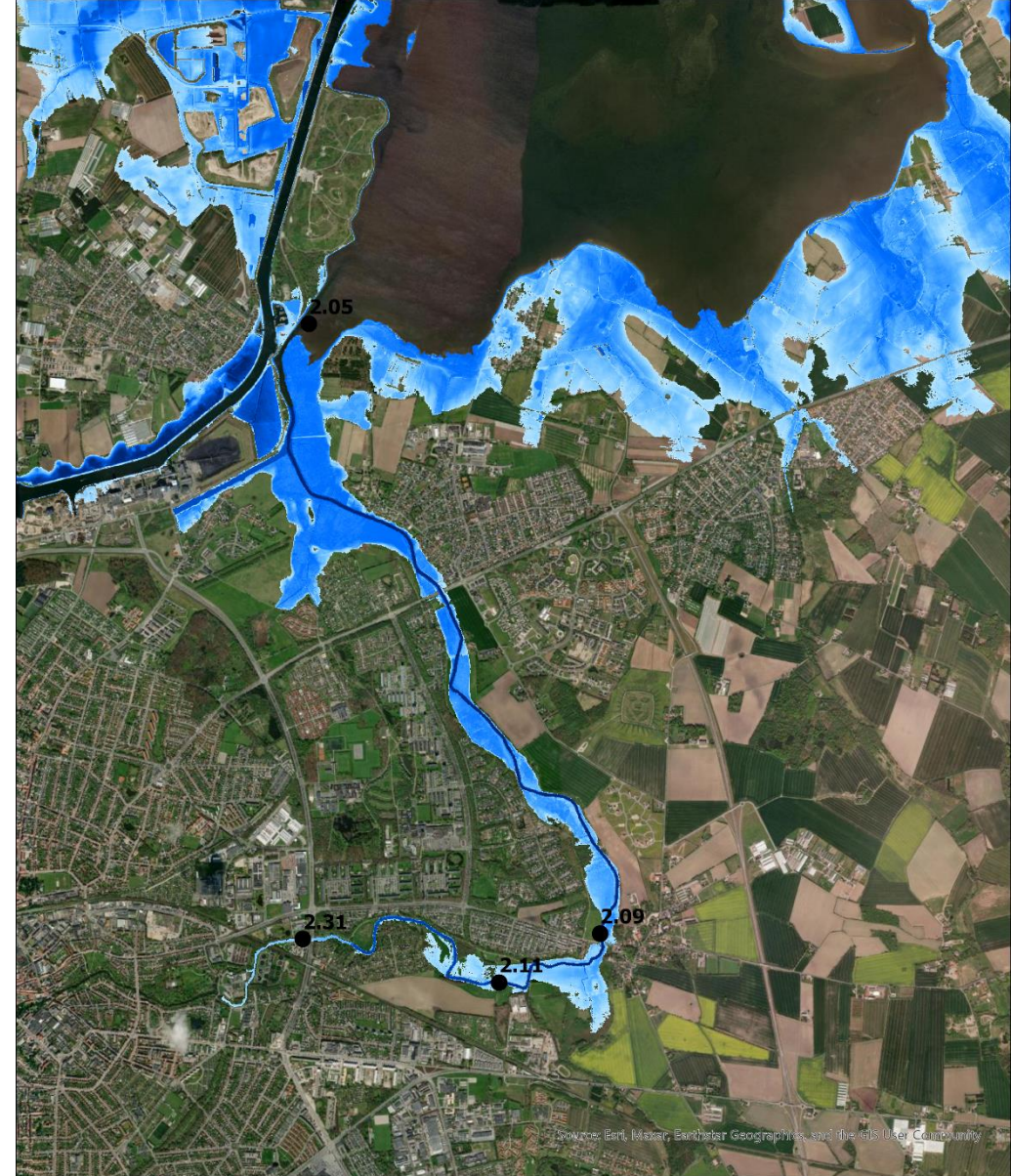


H500_2023_maksimal_vandstand

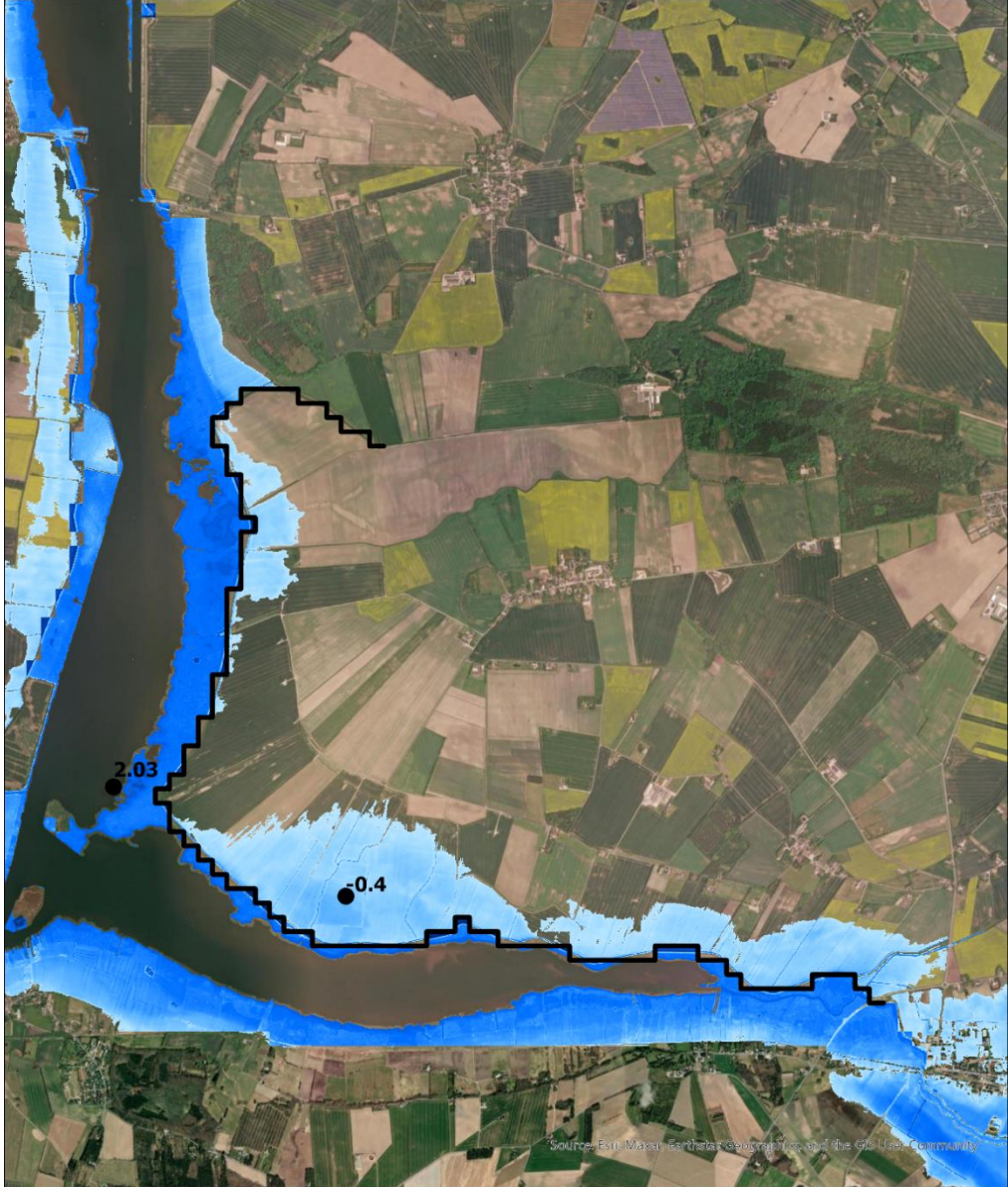
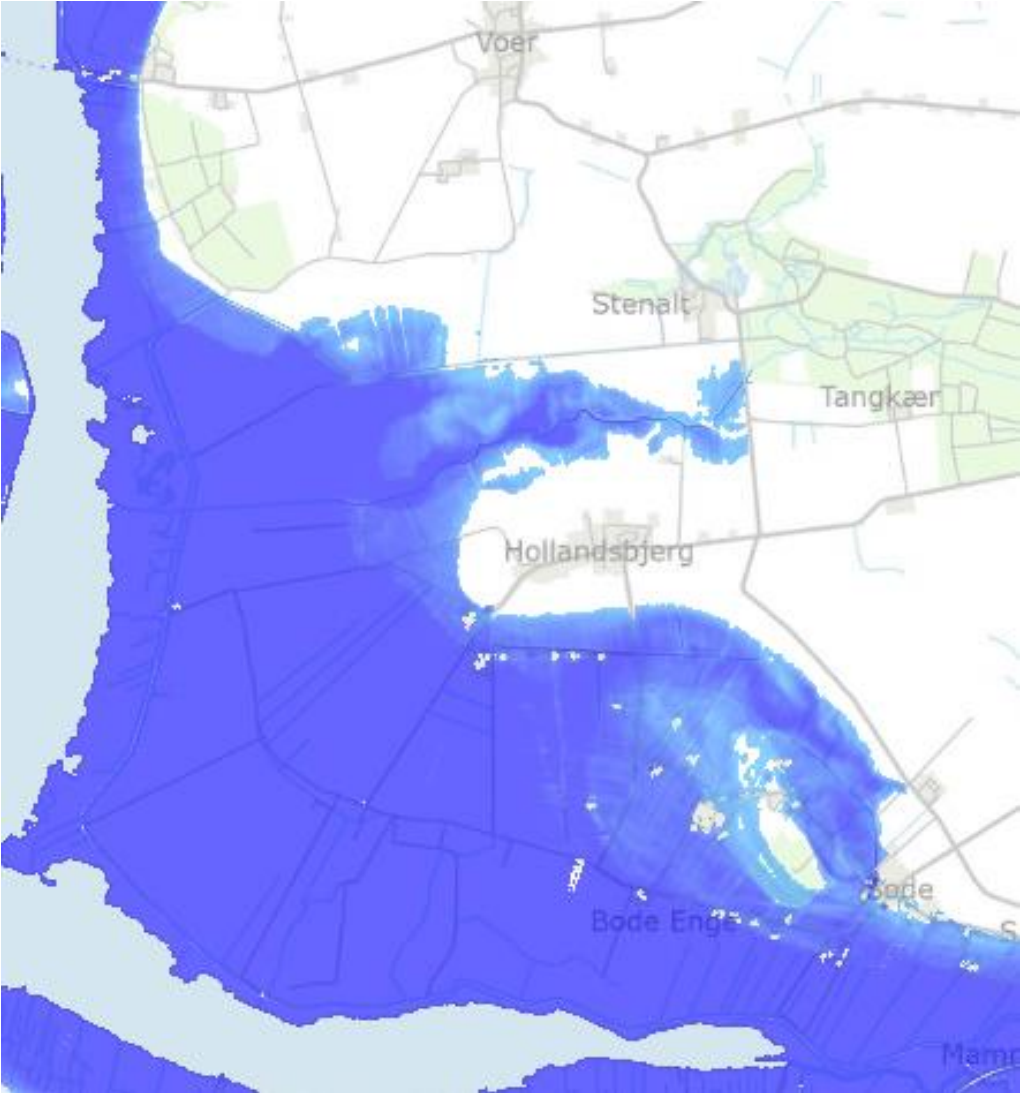


Fundamentale forbedringer af tidligere metode

- Det kystnære bidrag fra vandløb er medregnet (baseret på en baggrunds-vinterafstrømning)
- Udtræk af vandstande indikerer en opstuvning af vand op langs vandløbet



Fundamentale forbedringer af tidligere metode



En model er ”kun” en model

- En model er ikke bedre end det input man giver den
- Denne model er et skridt i den rigtige retning – fundamentet er på plads, hvad med input?
- Over tid vil modellens oversvømmelses-estimer blive bedre og bedre, hvis vores viden om diger og vandløb forbedres

Fremtidige perspektiver med SFINCS i KDI

- **Et bedre modelværktøj**
 - Forbedrede nationale analyser af stormflodsoversvømmelser
 - Lettere at vedligeholde og jævnligt opdatere modellen
 - Lettere at forbedre modellen løbende
 - Mulighed for mange flere beregninger
 - Kan modellere storme → Probabilistisk oversvømmelseskortlægning
- **Kan hindcaste stormflodshændelser til at lappe huller i tidsserier på lavt vand**
 - Vil bl.a. forbedre højvandsstatstikkerne
- **Mere effektiv analyse i lokale områder**
 - Skal anvendes til kortlægningen i risikoområderne, jf. oversvømmelsesloven
- **Planer om udvikling af SFINCS, så digebrud inkluderes**
 - Kan bruges til varsling
- **På sigt vil vi undersøge mulighederne for at koble erosion og klitbrud med SFINCS**
- **Værktøjet kan håndtere vandløb**
 - Tester SFINCS ift. vandløb ifm. ”Vand fra alle sider”
 - Kan modellere kombinerede hændelser



SLUT