

GEOMETRI OG GEOGRAFISKE DATA

REPRESENTASJON AV TERRENG OG
HAVBUNN MED LOKALT FORFINEDE SPLINES

21. OKTOBER 2020

Vibeke Skytt, SINTEF Digital

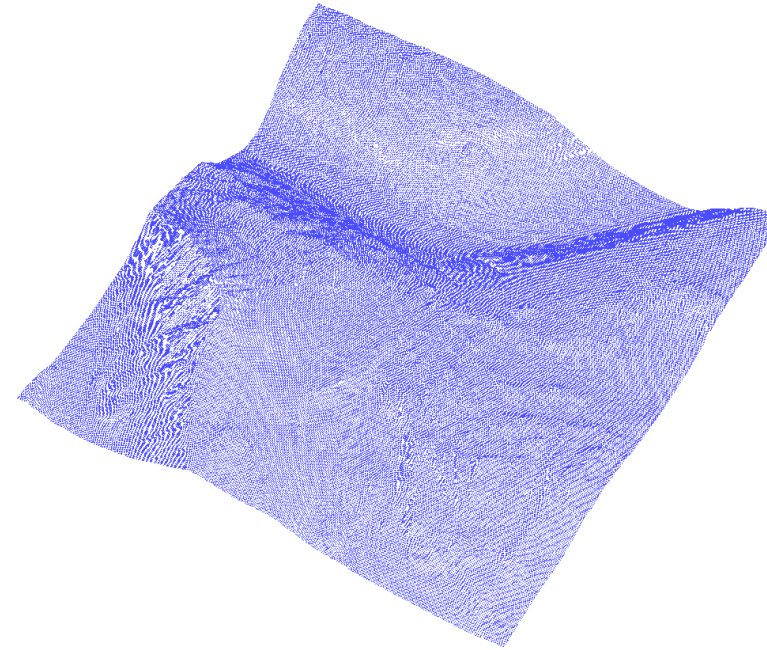
Geografiske data

- Moderne måleutstyr gir store mengder data
 - LIDAR
 - Sonar
 - Fotogrammetri
- Punktformatet er ikke egnet for videre prosessering. Konvertering til et annet format
- Variasjon: Heterogenitet i terreng eller havbunn. Overlappende data-sett innhentet på forskjellig tid eller med forskjellige metoder er ikke alltid konsistente.

De fleste anvendte datasett eies av the UK Hydrographic Office og er til dels forberedt av HR Wallingford

Flateformater i geografiske informasjonssystemer (GIS)

- Raster (GeoTiff)
 - Digital høydemodell (DEM)
 - Uniform
 - + Plass-effektivt
 - Lite fleksibelt
- Triangulering
 - Kan interpolere punktene
 - I praksis approksimativ
 - + Veldig fleksibelt
 - Kan gi store datamengder

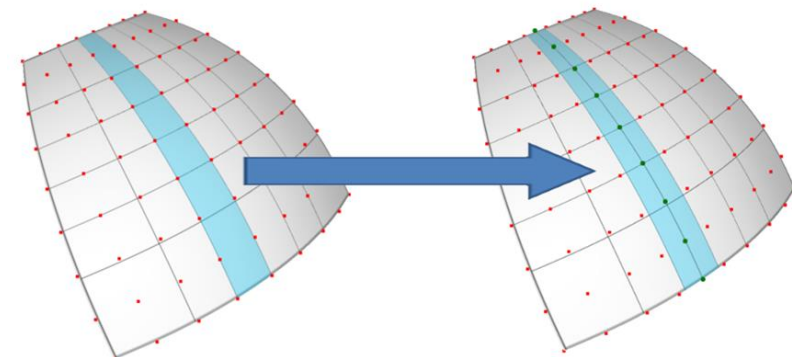
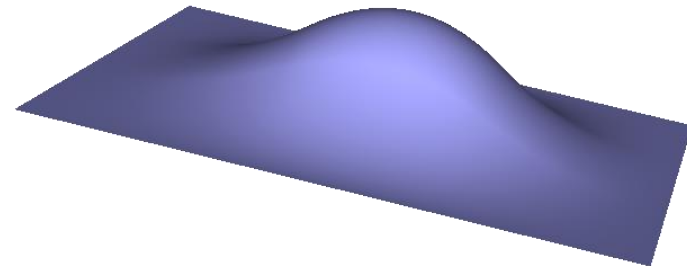
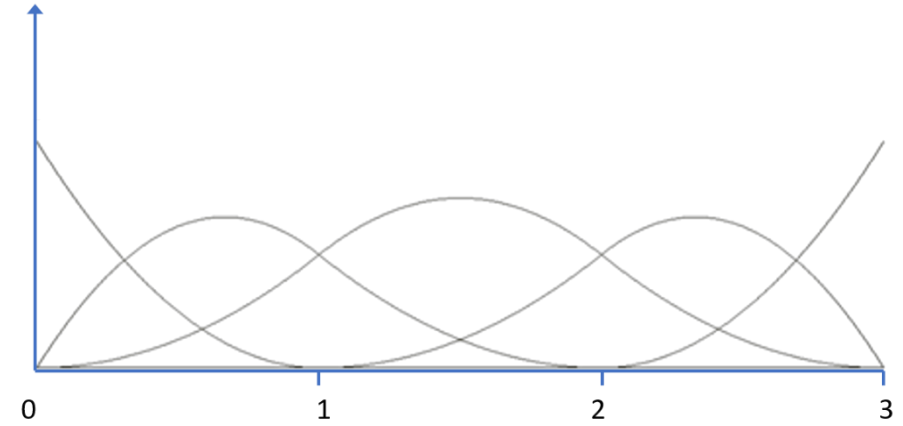


Raster representasjon av Gaustatoppen med 13 meters oppløsning.
Høyeste høydeverdi: 1877.3 meter
Høyeste punkt (Wikipedia): 1883 meter

Hentet fra Kartverkets datasett tilgjengelig for nedlasting

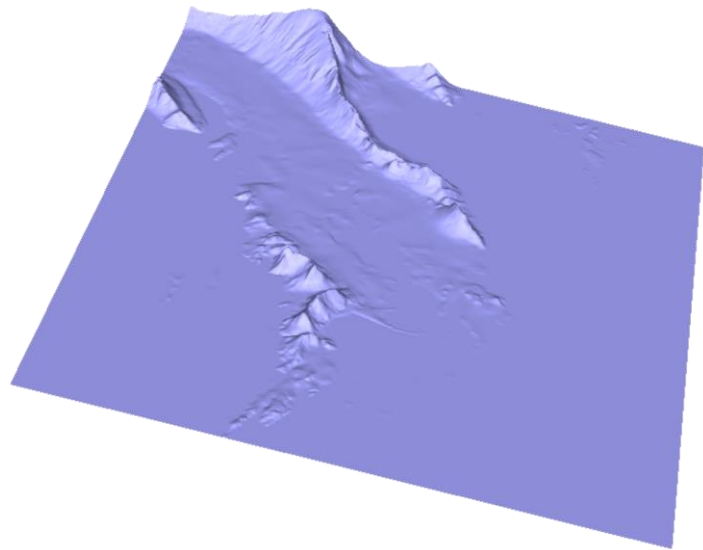
Hva er splines?

- Stykkevis polynomielle kurver og flater
- Kurve: $f(x) = \sum_{i=1}^N c_i B_i(x)$
 - Gode numeriske egenskaper
 - Kontinuitet mellom polynombiter kodet i formelen
 - Lokal forfining
- Flate: $F(x, y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{i,j} B_i(x) B_j(y)$
- Tensor-produkt konstruksjon
 - ⇒ • Gode numeriske egenskaper
 - Mangler fleksibilitet, ikke lokal forfining

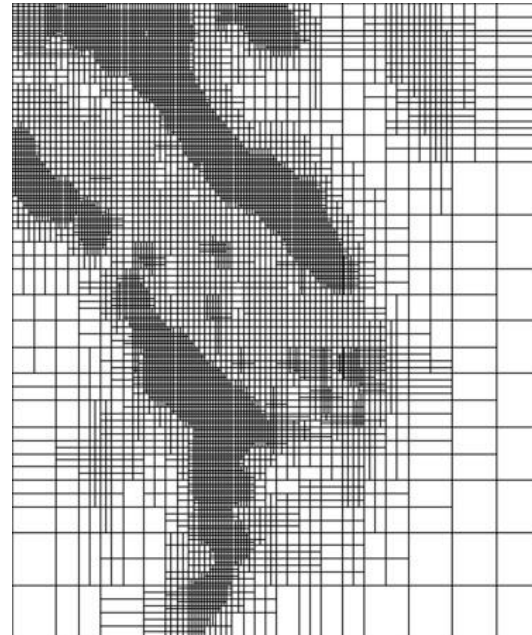


Lokalt forfinede splines (LR B-splines)

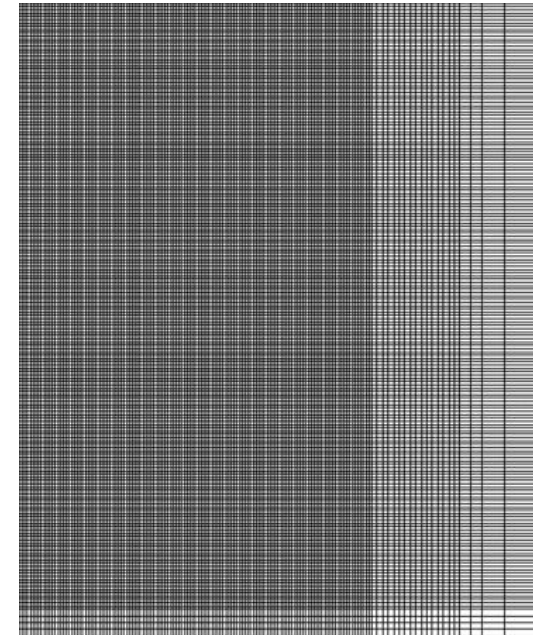
- Støtter lokal forfining av flate
- Gir fleksibilitet: mye data i kupertе områder, lite data der terrenget er slett
- Høy nøyaktighet uten tilsvarende store datamengder



Flate (Verøy,
kartverkets data)



Lokalt forfinet polynomoppdeling



Uten lokal forfining

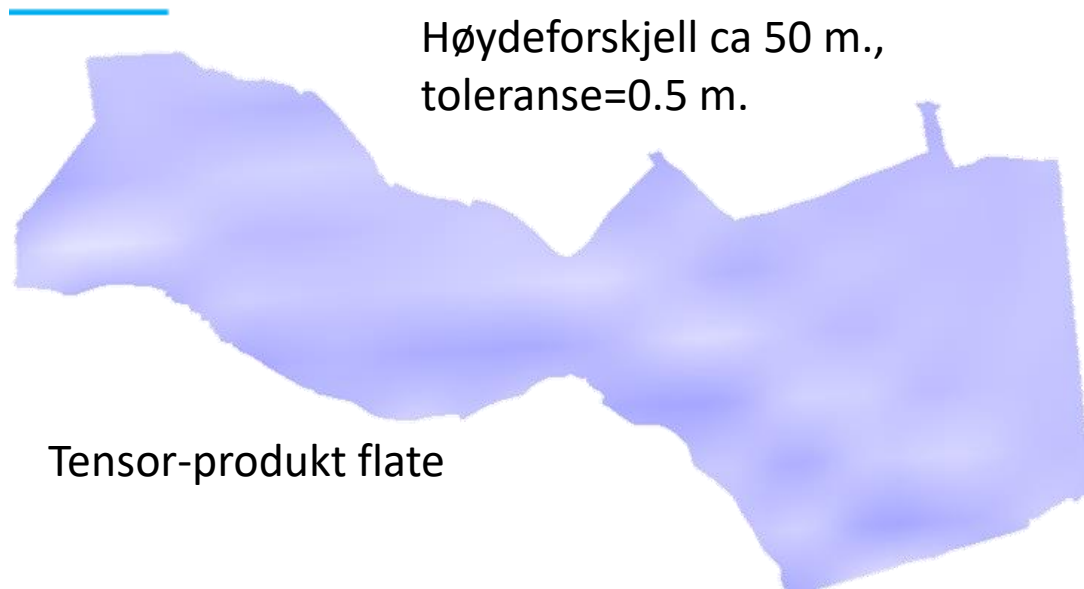
Flategenerering - iterativ algoritme for approksimasjon og forfining

Gitt: punktsky, toleranse, maksimum antall iterasjoner

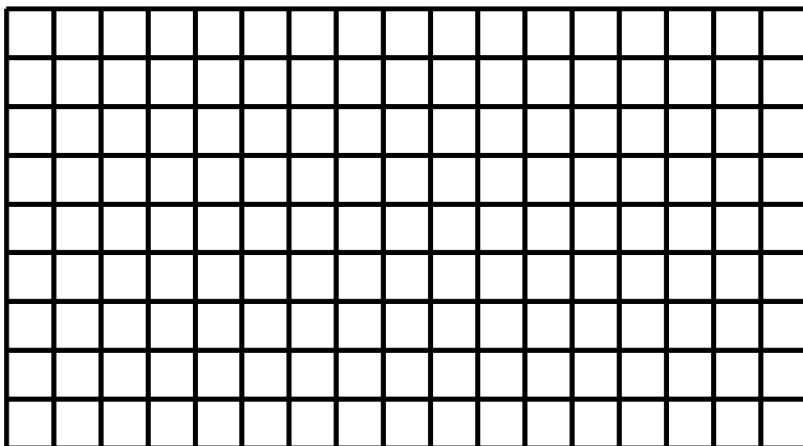
- Generer en mager flate på et regulært grid
- Beregn nøyaktighet
- Inntil all punkter er nærmere flaten enn toleransen eller maksimum antall iterasjoner er oppnådd
 - Forfin flaten der det er nødvendig
 - Approksimer
 - Beregn nøyaktighet

Resultat: flate som approksimerer punktskyen, nøyaktighetsinformasjon

Eksempel: approksimasjon av en 7.2 GB punktsky, initiell flate

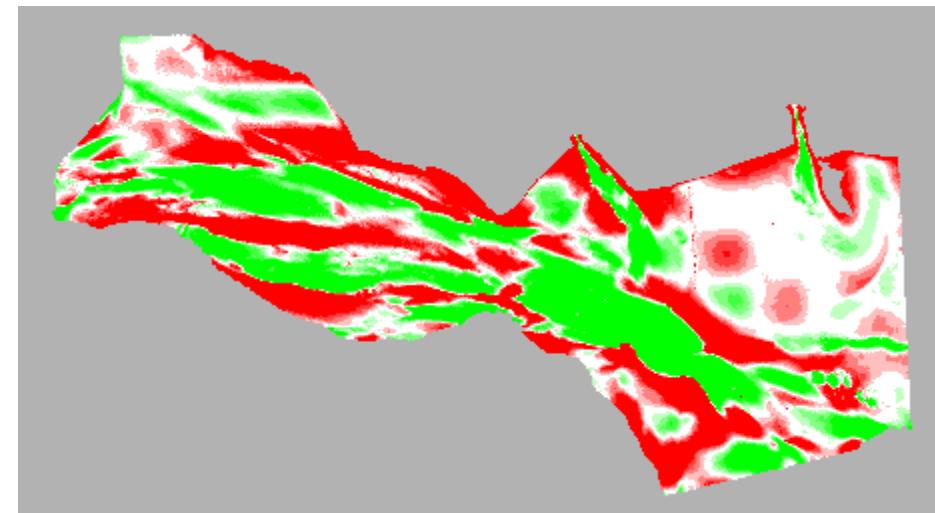


Tensor-produkt flate



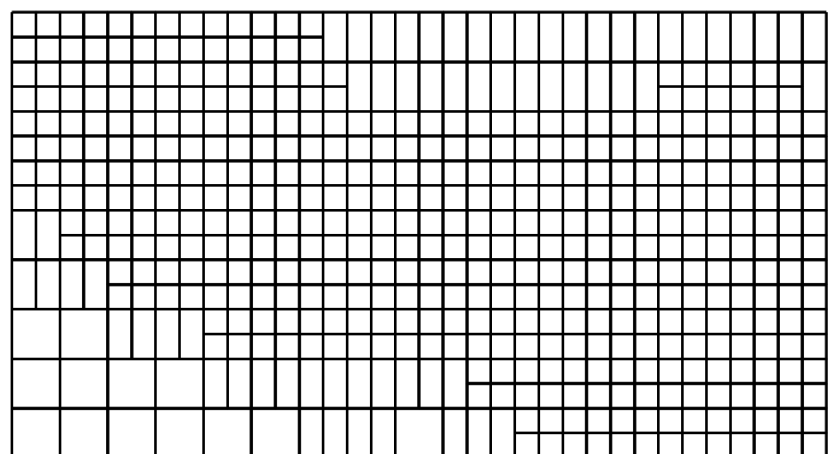
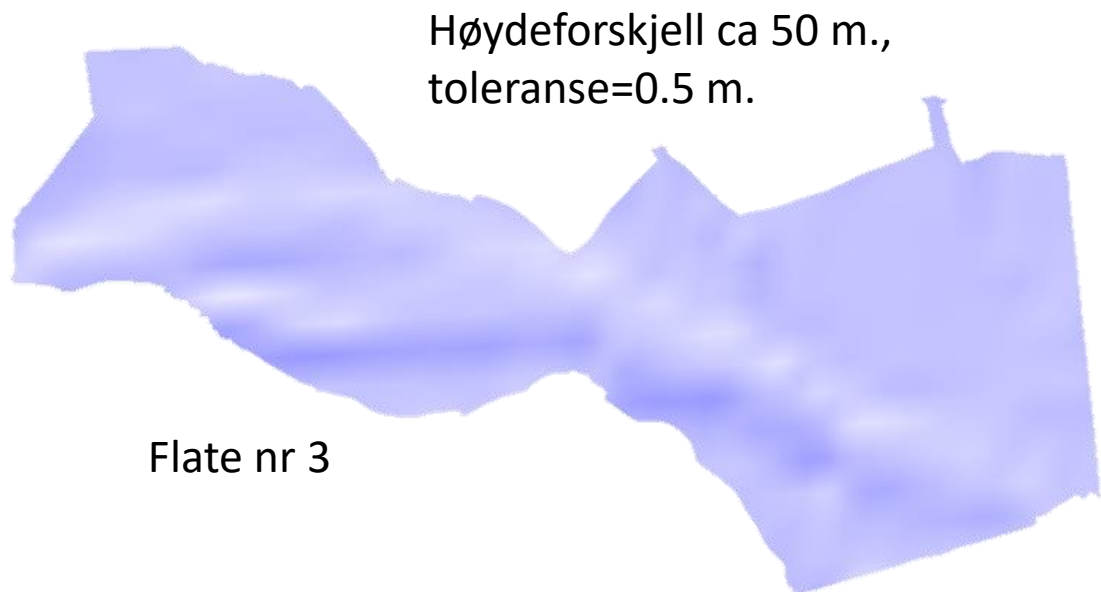
Oppdeling av
flaten i
polynomielle
delflater

Antall punkter	131.16 millioner
Antall koeffisienter	209
Fil størrelse (flate)	30 KB
Maksimum avstand	17.216 m.
Gjennomsnittsavstand	2.362m.
Antall punkter, avstand > 0.5 m	102.06 millioner



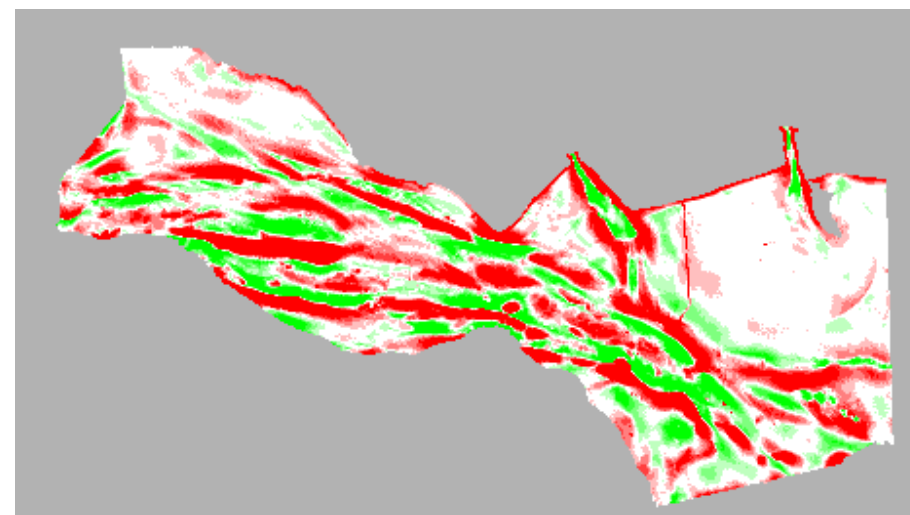
Punktsky: røde punkter ligger over flaten,
grønne under, hvite er innenfor toleransen

Approksimasjon av en 7.2 GB punktsky, flate nr 3



Oppdeling av
flaten i
polynomielle
delflater

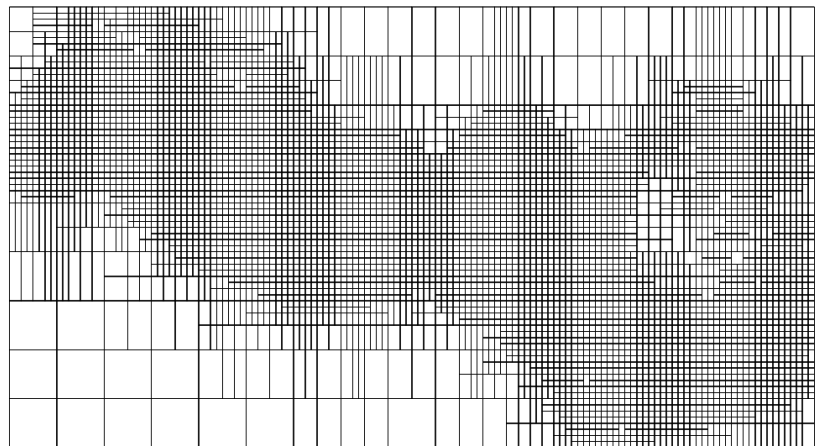
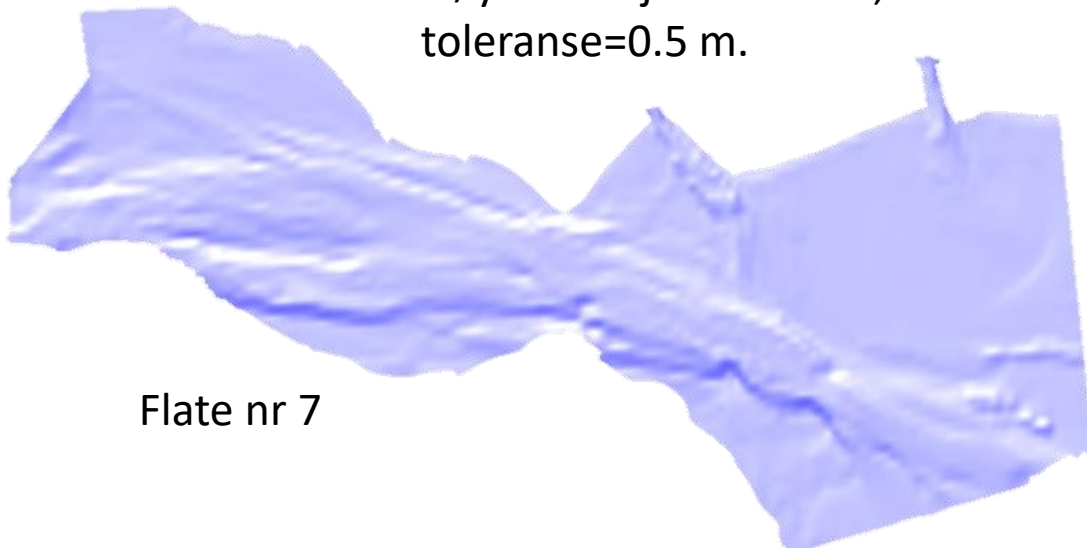
Antall punkter	131.16 millioner
Antall koeffisienter	588
Fil størrelse (flate)	53 KB
Maksimum avstand	19.506 m.
Gjennomsnittsavstand	1.319 m.
Antall punkter, avstand > 0.5 m	81.21 millioner



Punktsky: røde punkter ligger over flaten,
grønne under, hvite er innenfor toleransen

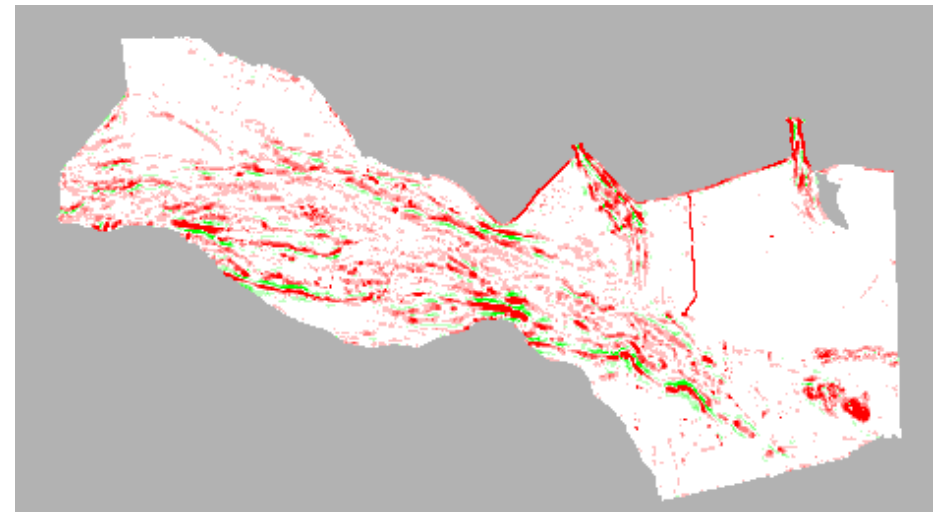
Approksimasjon av en 7.2 GB punktsky, flate nr 7

Høydeforskjell ca 50 m.,
toleranse=0.5 m.



Oppdeling av
flaten i
polynomielle
delflater

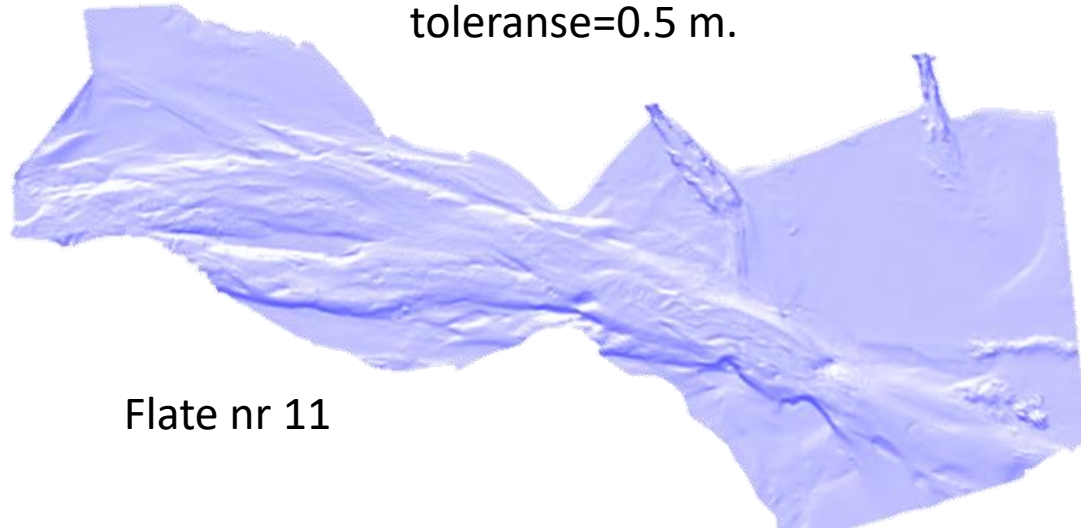
Antall punkter	131.16 millioner
Antall koeffisienter	5 557
Fil størrelse (flate)	376 KB
Maksimum avstand	11.236 m.
Gjennomsnittsavstand	0.341 m.
Antall punkter, avstand > 0.5 m	26.25 millioner



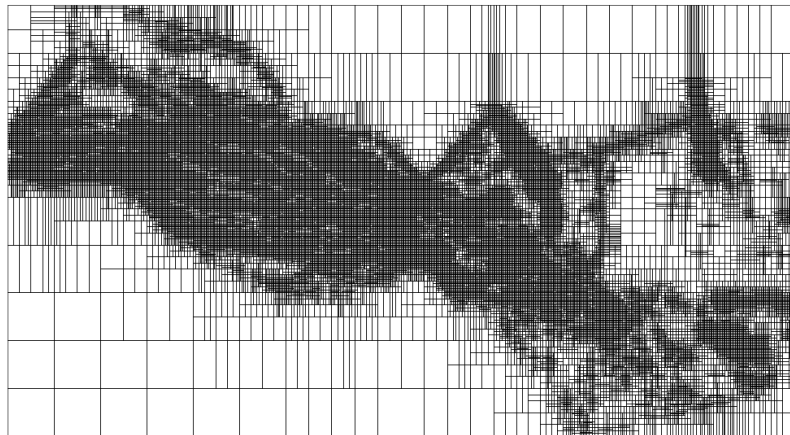
Punktsky: røde punkter ligger over flaten,
grønne under, hvite er innenfor toleransen

Approksimasjon av en 7.2 GB punktsky, flate nr 11

Høydeforskjell ca 50 m.,
toleranse=0.5 m.

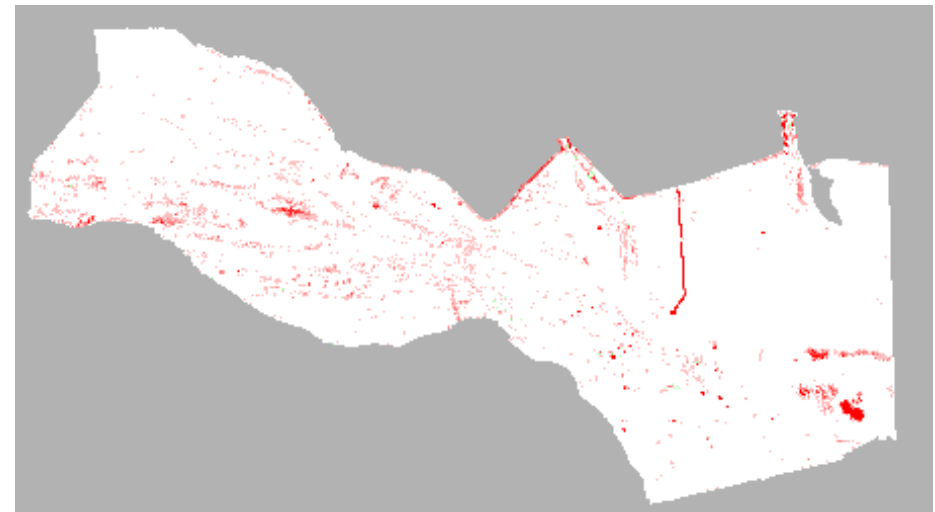


Flate nr 11



Oppdeling av
flaten i
polynomielle
delflater

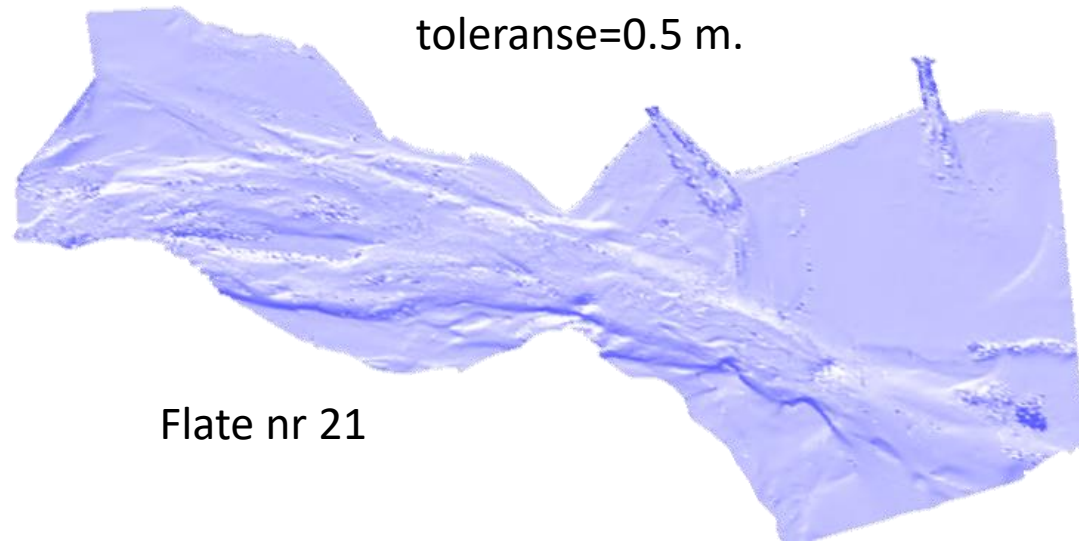
Antall punkter	131.16 millioner
Antall koeffisienter	71 059
Fil størrelse (flate)	3.3 MB
Maksimum avstand	6.929 m.
Gjennomsnittsavstand	0.09 m.
Antall punkter, avstand > 0.5 m	1.35 millioner (ca 1%)



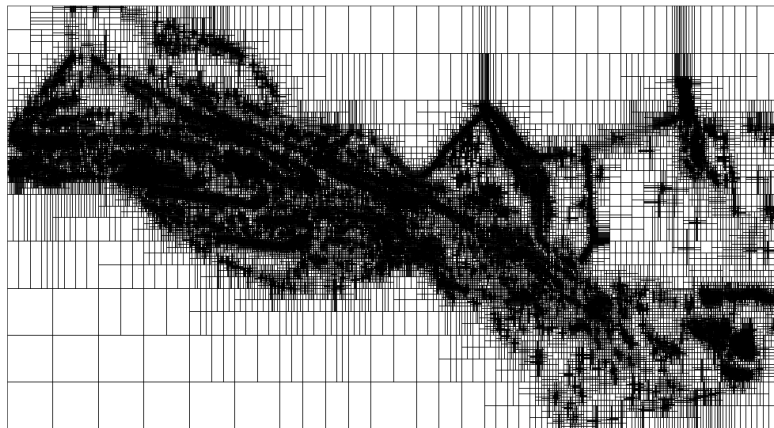
Punktsky: røde punkter ligger over flaten,
grønne under, hvite er innenfor toleransen

Approksimasjon av en 7.2 GB punktsky, flate nr 21

Høydeforskjell ca 50 m.,
toleranse=0.5 m.



Flate nr 21



Oppdeling av
flaten i
polynomielle
delflater

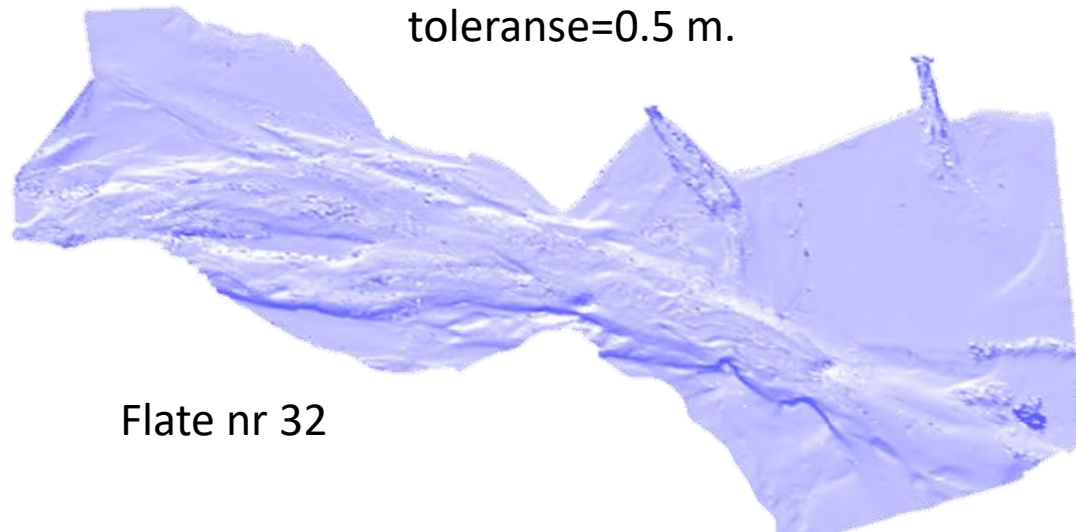
Antall punkter	131.16 millioner
Antall koeffisienter	177 088
Fil størrelse (flate)	22 MB
Maksimum avstand	3.92 m.
Gjennomsnittsavstand	0.07 m.
Antall punkter, avstand > 0.5 m	4 356 (ca 0.003%)



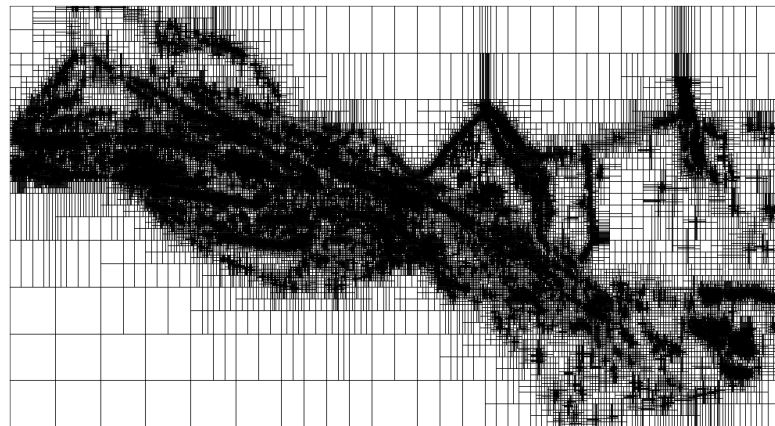
Punktsky, punkter med avstand større enn
toleransen er fremhevet

Approksimasjon av en 7.2 GB punktsky, siste flate

Høydeforskjell ca 50 m.,
toleranse=0.5 m.



Flate nr 32



Oppdeling av
flaten i
polynomielle
delflater

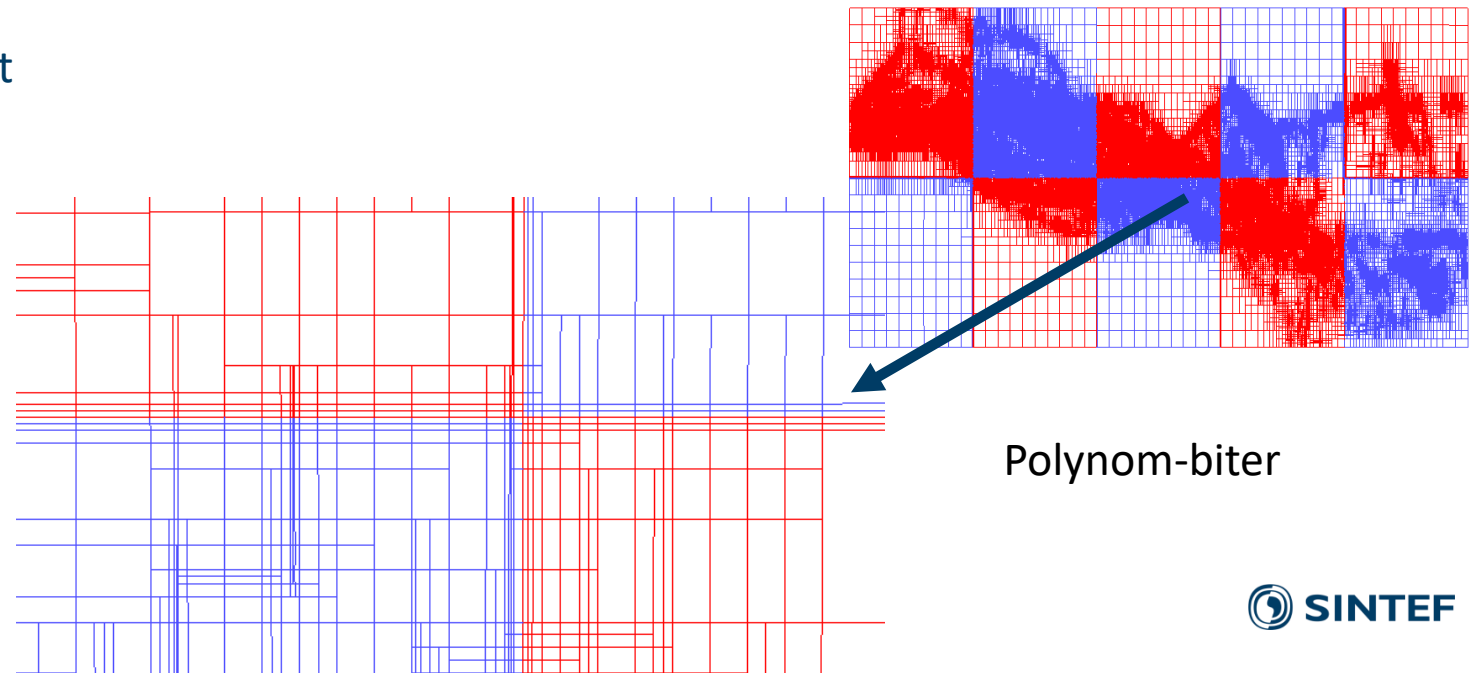
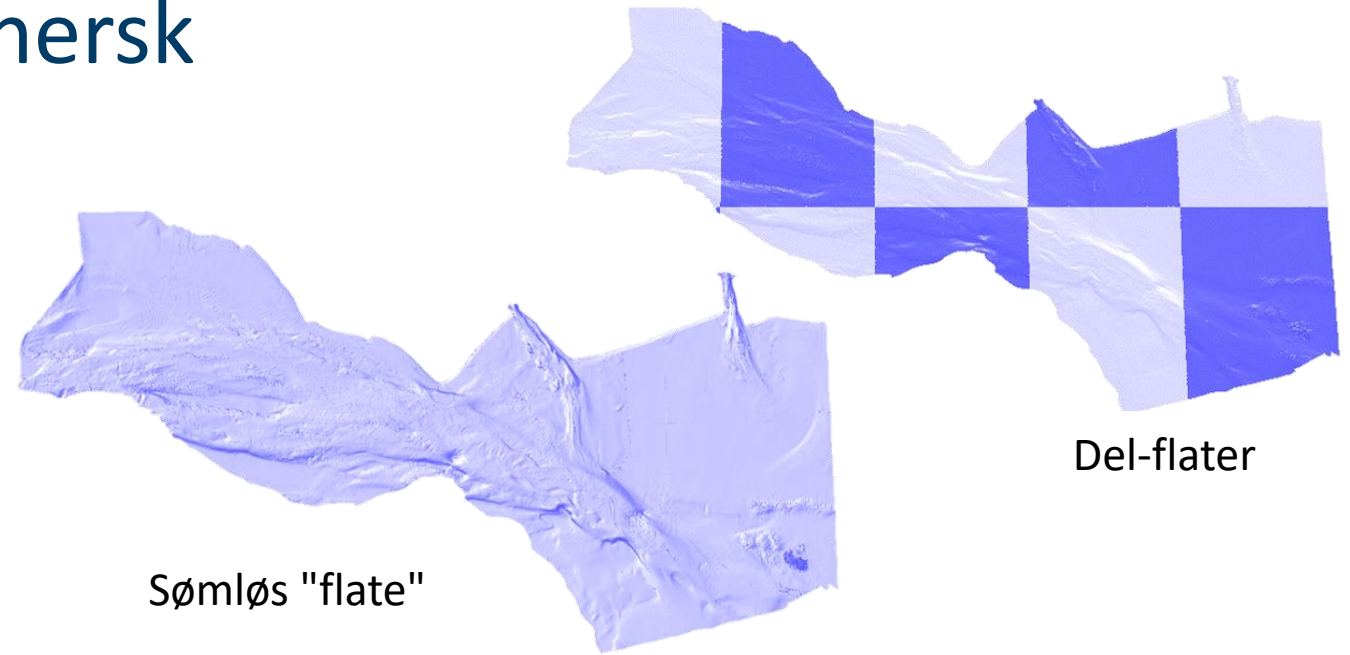
Antall punkter	131.16 millioner
Antall koeffisienter	297 636
Fil størrelse (flate)	24 MB
Maksimum avstand	0.5 m.
Gjennomsnittsavstand	0.07 m.
Antall punkter, avstand > 0.5 m	0



Punktsky, alle punktene er innenfor
toleransen

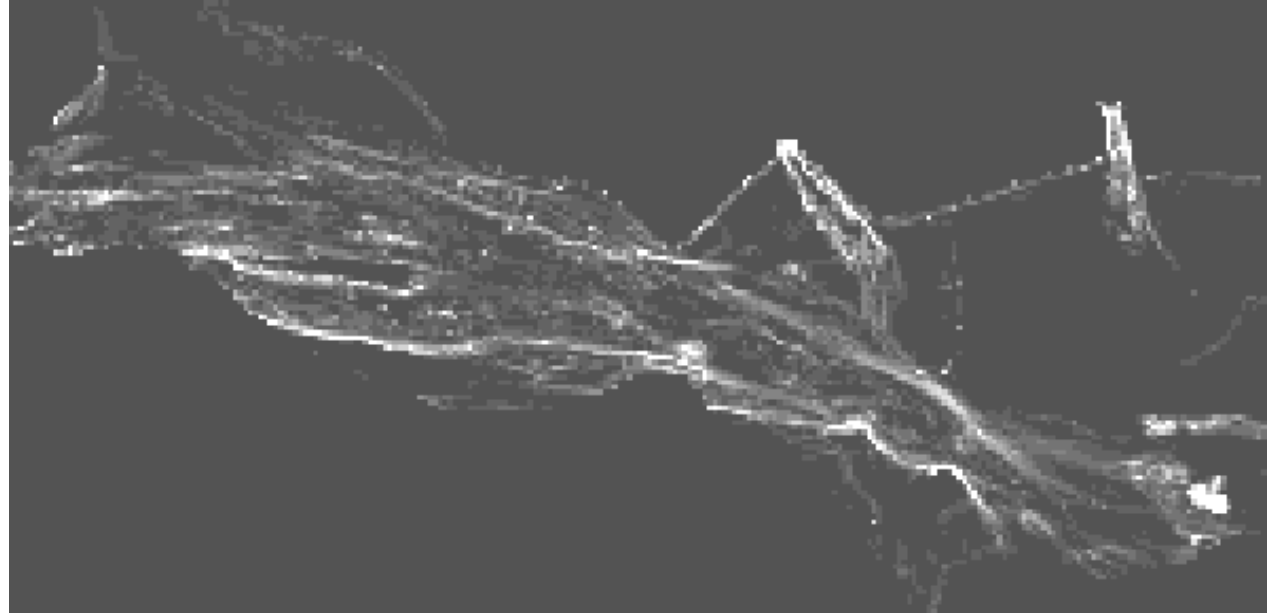
Større datasett – splitt og hersk

- Mange datasett er for store til å approksimeres med en enkelt flate
 - Tidsforbruk, minne, resultatflatene blir uhåndterlige
- Del punktsky i mindre biter ("tiles")
- Approksimer hver del-punktsky
 - Tillat et lite overlapp som fjernes i etterkant for å gjøre del-flatene likest mulig i overgangen
- Juster flatene for å få glatte overganger (C^1)
 - Krever ekstra forfining langs kanten for enhetlige polynom-biter og ekstra frihetsgrader



Bruk av flaten: eks slope (hellning)

- En lokalt forfinet spline flate er en spline flate
- Dermed er punktvis evaluering av deriverte en enkel operasjon
- Slope beregnes ut fra 1. deriverte til flaten



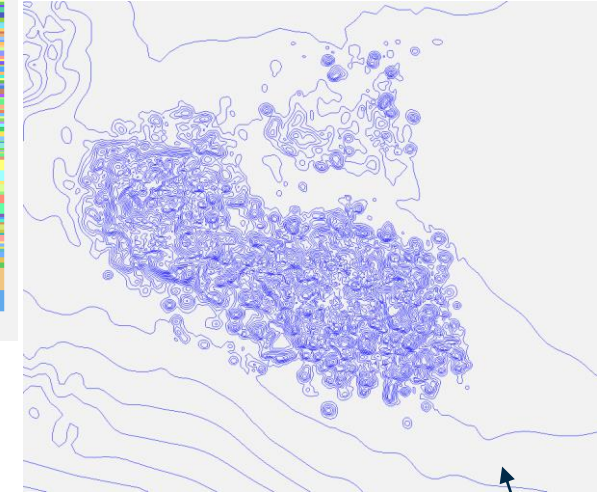
Slope er evaluert i et regulært grid og konvertert til tiff

Kotekurver

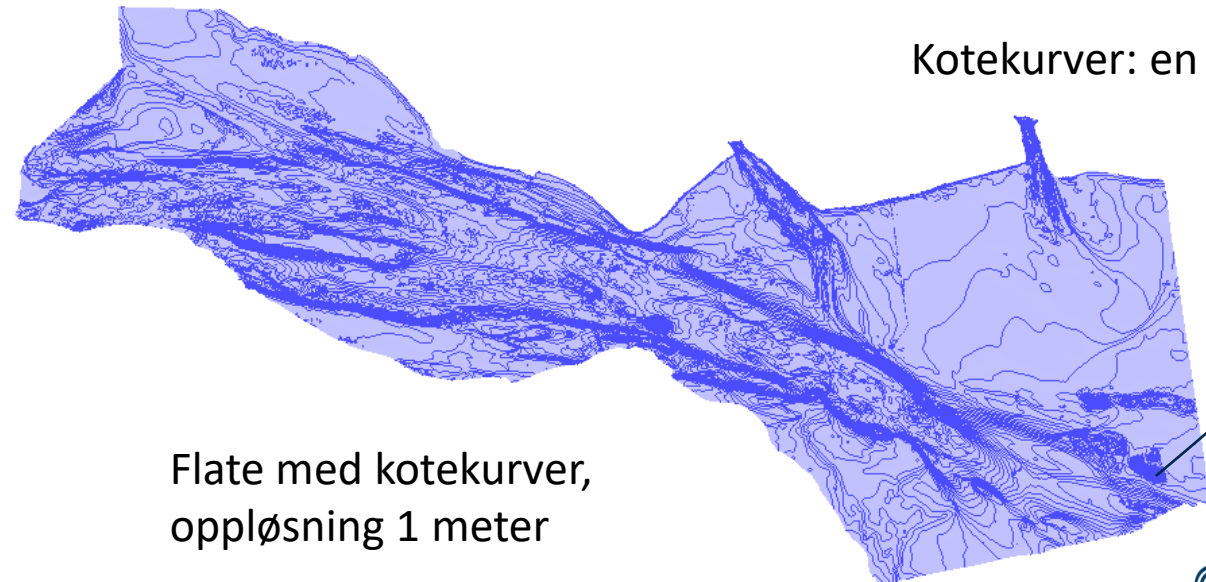
- Beregning av kotekurver gjøres ved å skjære høydefunksjonen med et sett av nivå-verdier
- I kjernen av mange DAK-operasjoner
- Flaten deles i et sett av tensorprodukt flater
- Skjæringer beregnes v.h.a. biblioteksfunksjonalitet som opererer på slike flater (SISL)
- Skjæringskurvene slås sammen



Oppdeling av flaten

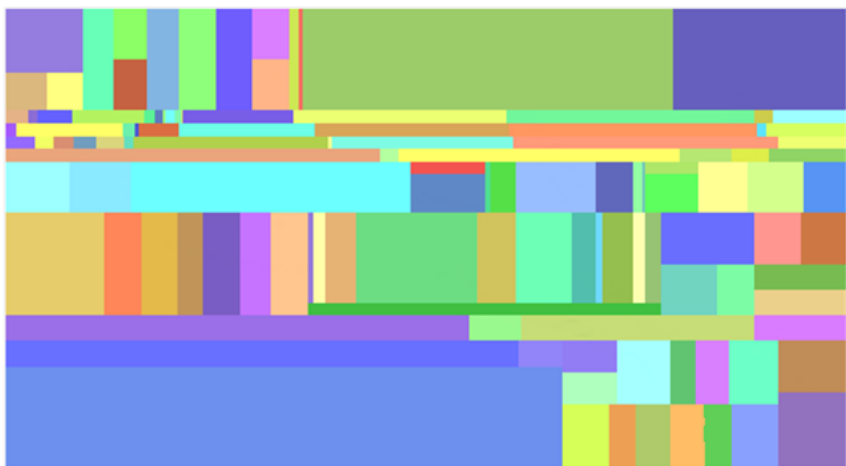


Kotekurver: en detalj

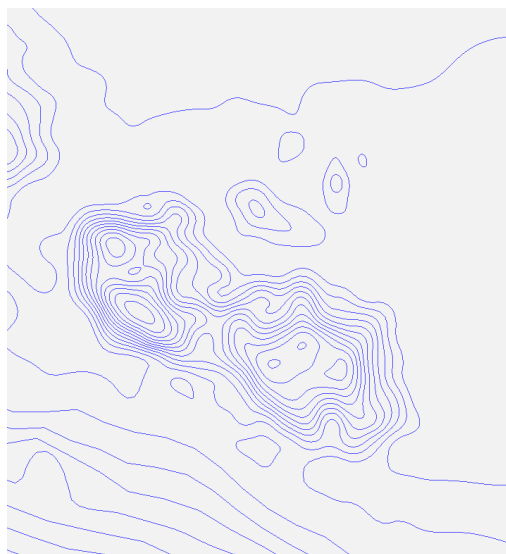


Flate med kotekurver,
oppløsning 1 meter

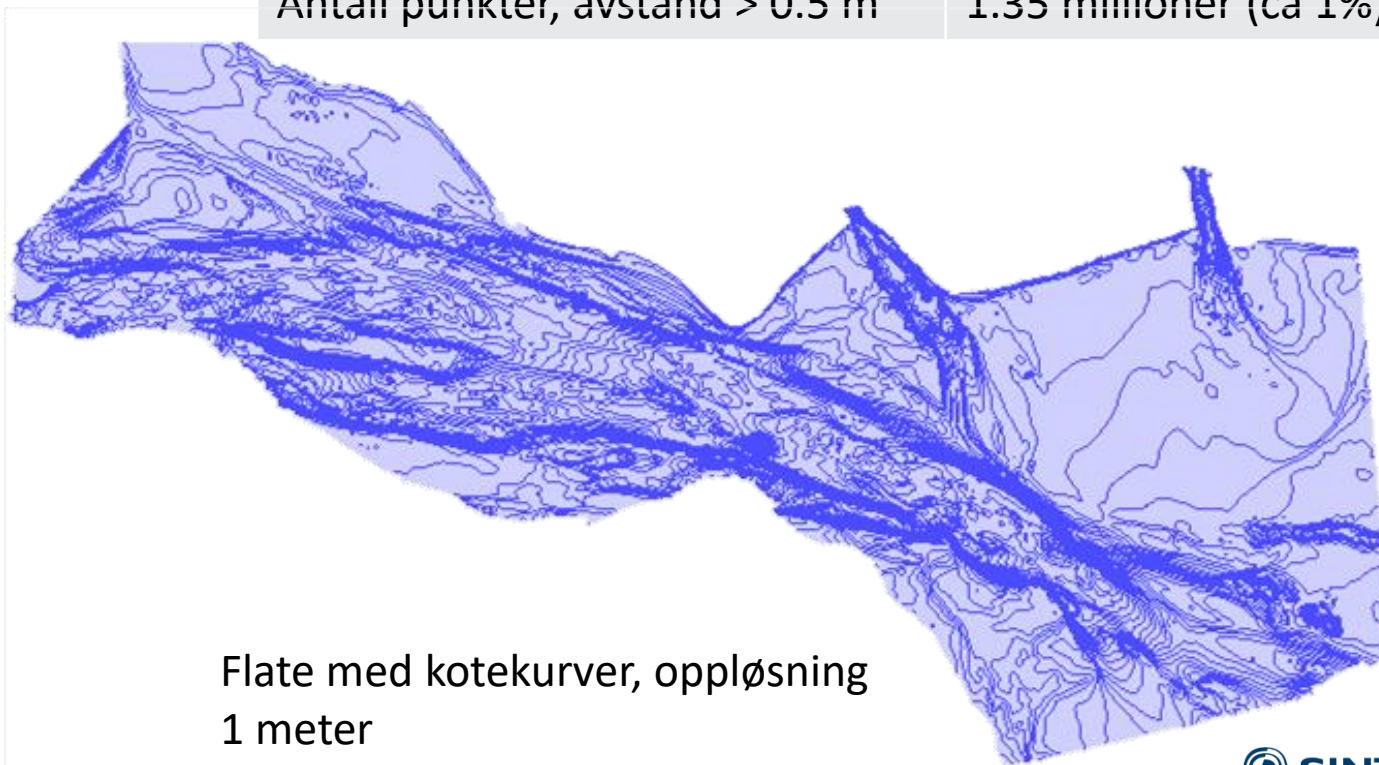
For mye detaljer? Kotekurver flate nr 11



Oppdeling av flaten



Kotekurver:
en detalj

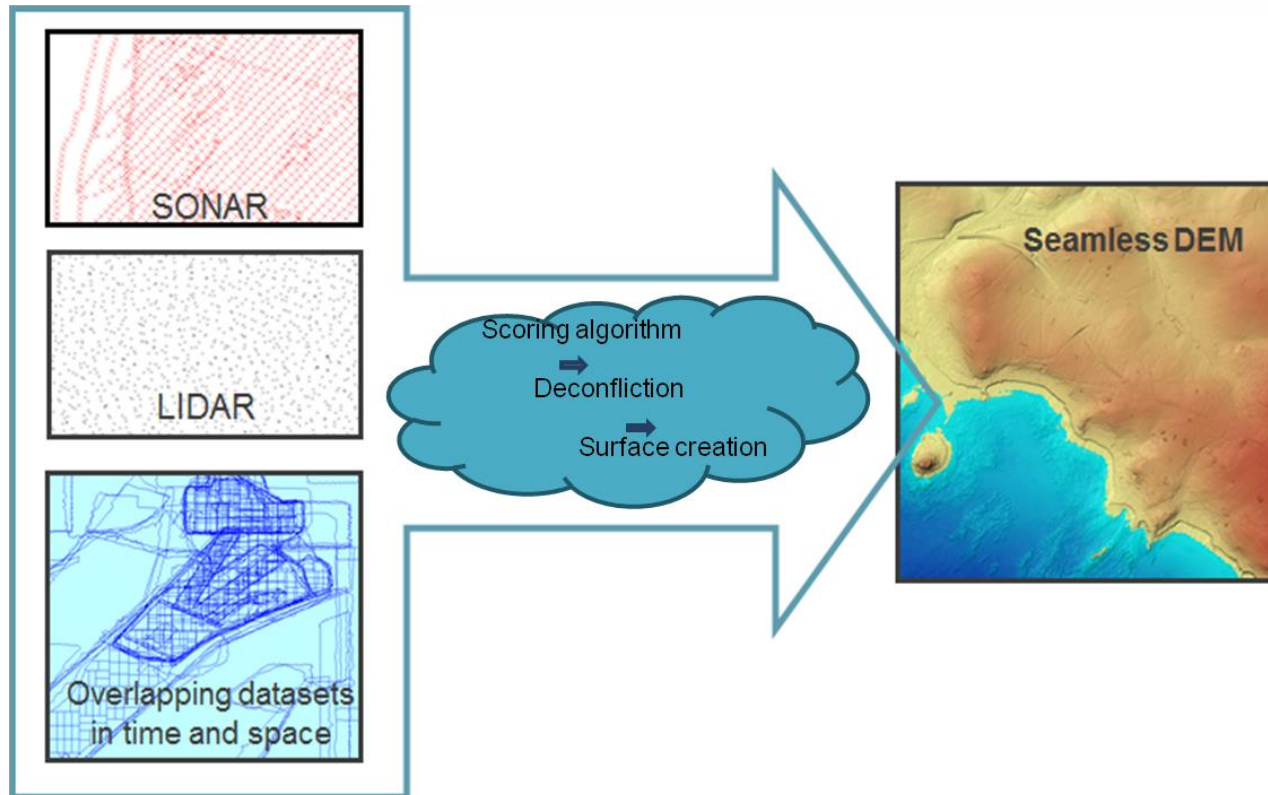


Flate med kotekurver, oppløsning
1 meter

Antall punkter	131.16 millioner
Antall koeffisienter	71 059
Fil størrelse (flate)	3.3 MB
Maksimum avstand	6.929 m.
Gjennomsnittsavstand	0.09 m.
Gj. Snittsavstand utenfor-punkter	0.845 m.
Antall punkter, avstand > 0.5 m	1.35 millioner (ca 1%)

Deconfliction

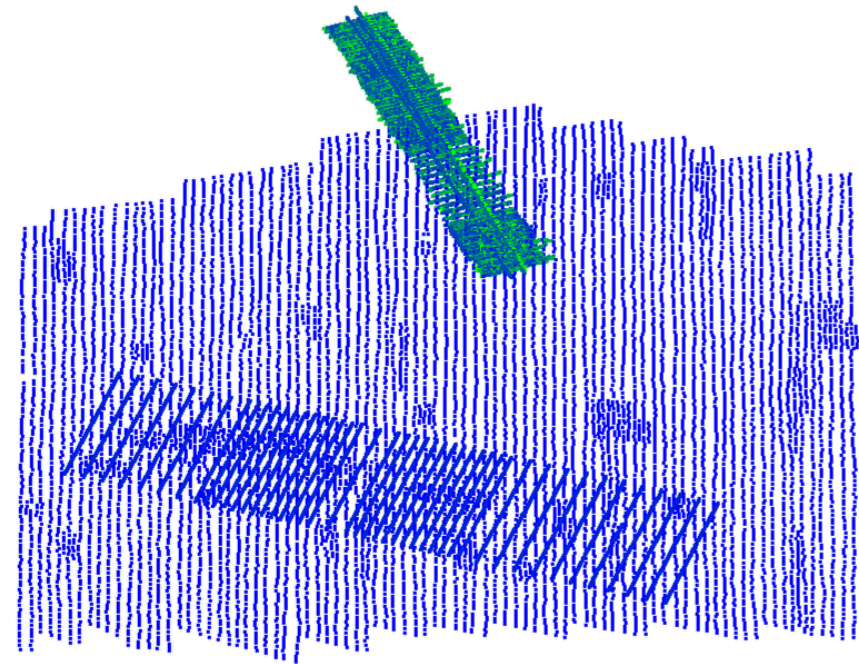
Flategenerering fra overlappende, men ikke nødvendigvis konsistente datasett



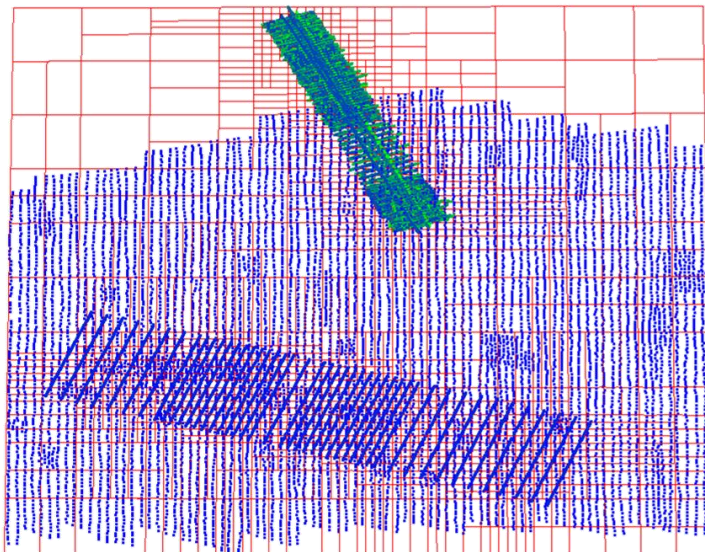
Samarbeid med HR Wallingford i England i forbindelse med EU-prosjektet IQmulus

Algoritme for deconfliction

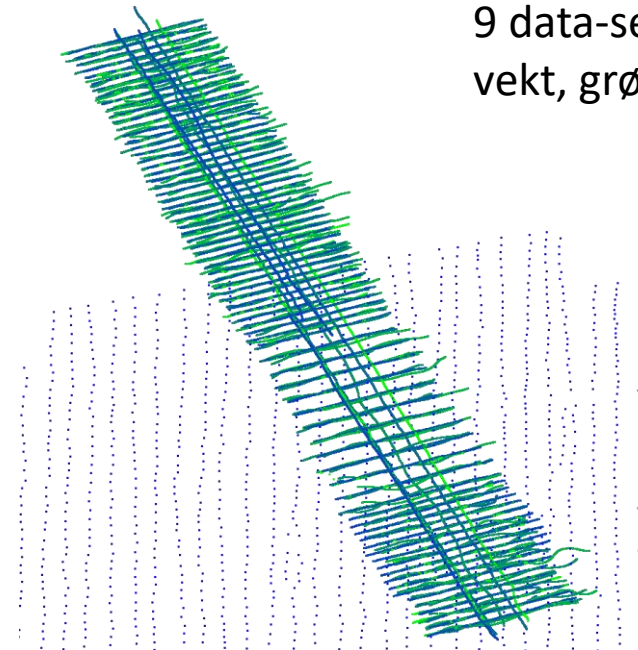
- Gitt et antall overlappende punktskyer, vektet i henhold til kvalitet
- Slå sammen alle punktskyer
- Generer grov approksimasjon
- For hver polynombit
 - Plukk et konsistent utvalg av punkter



9 data-sett, blå betyr lav vekt, grønn er høy vekt



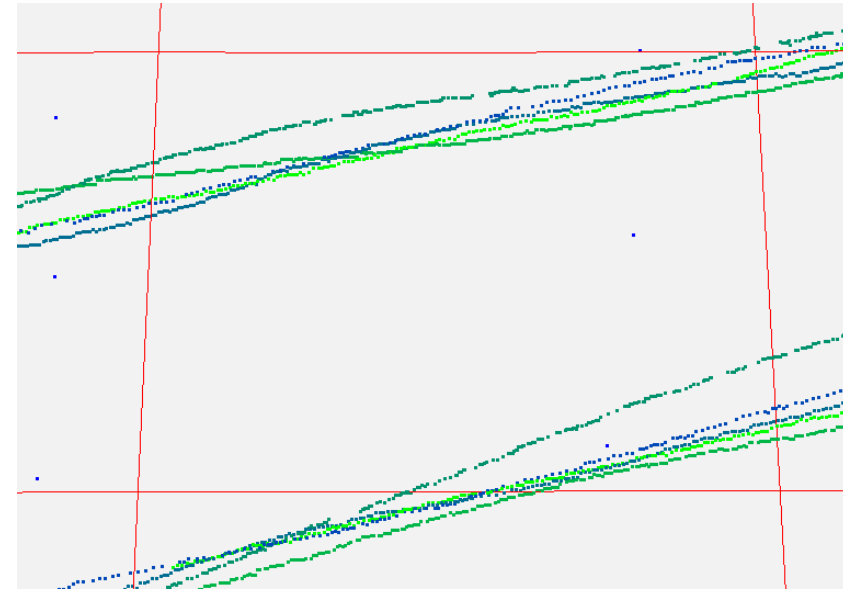
Data-sett og polynom-grenser



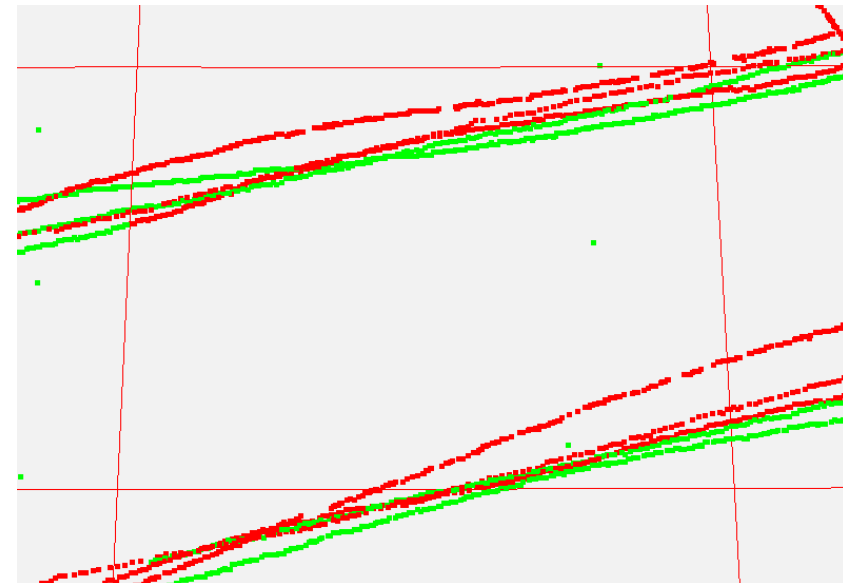
Detalj

Kjernen i algoritmen: Plukk et konsistent utvalg av punkter

- For hvert polynom-segment
 - Sammenlign punkter fra overlappende data-sett m.h.p.
 - Gjennomsnittsavstand til flate
 - Intervall av avstander
 - Antall punkter over og under flaten
 - Standardavvik etc
 - Punktkonfigurasjon
 - Gitt toleranse
 - Plukk punktene med høyest vekt + compatible punkter med lavere vekt
 - Under tvil: sjekk med nabo-segmentet



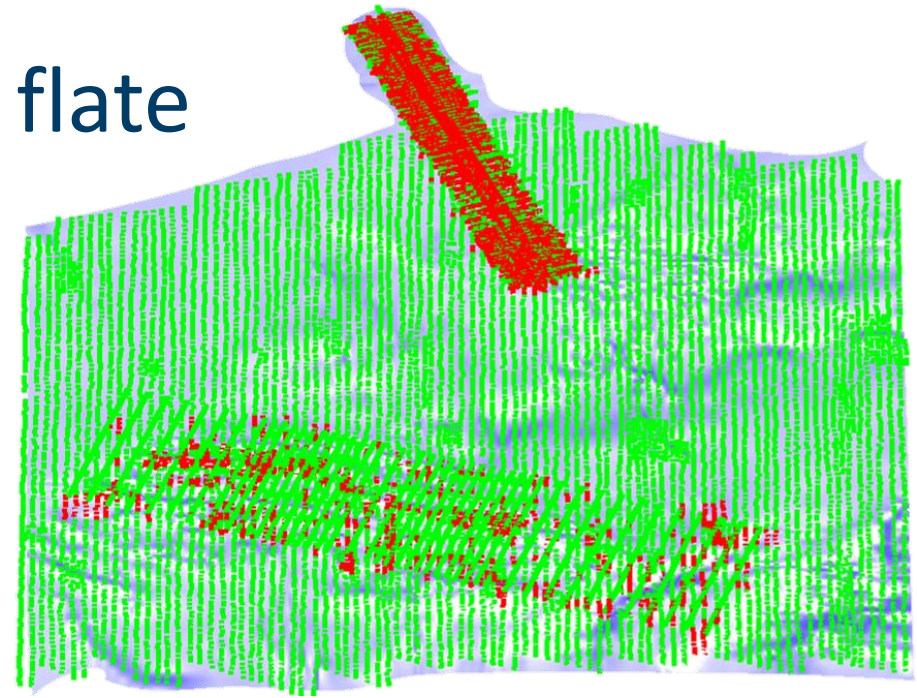
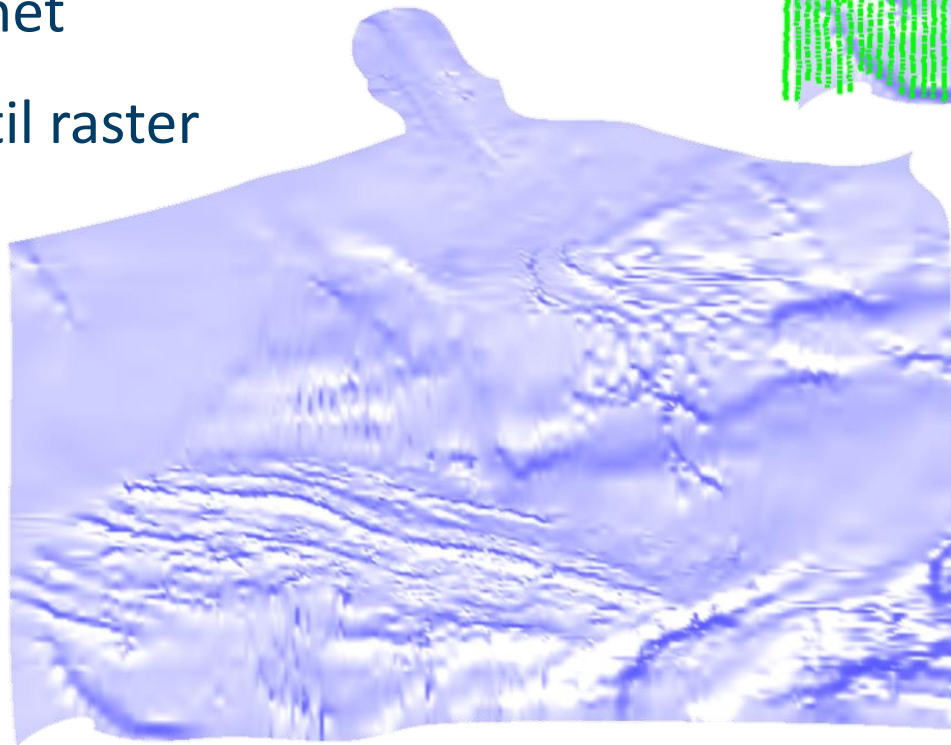
Input punkter med vekt



Sorterte punkter, grønne er valgt, røde forkastet

Algoritme, generering av endelig flate

- Oppdater flate m.h.p. utvalgte punkt for bedre nøyaktighet
- Sjekk nøyaktighet
- Evt. eksporter til raster format

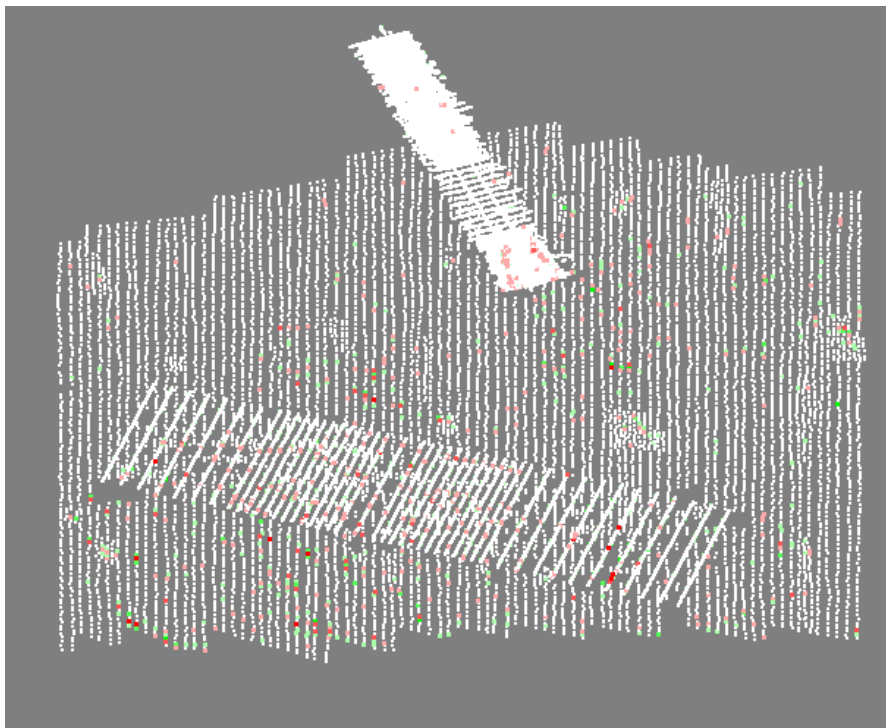


Flate + punkter, utvalgte punkter er grønne, forkastede er røde

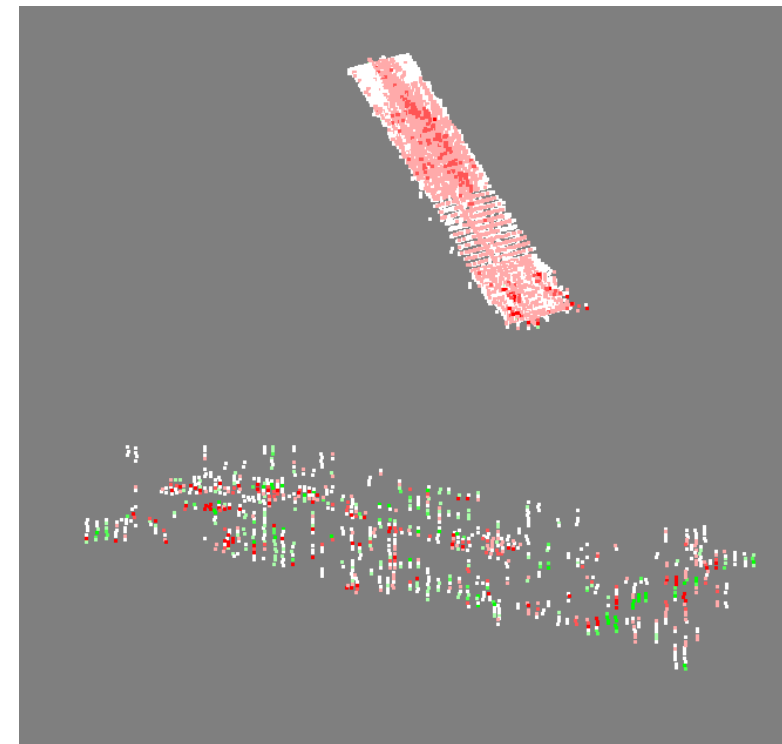
Endelig flate

Sammenlign flate med datasett: nøyaktighet

	$[-\infty, -1.5]$	$[-1.5, -1]$	$[-1, -0.5]$	$[-0.5, 0.5]$	$[0.5, 1]$	$[1, 1.5]$	$[1.5, \infty]$	Gj. avst.	Max avst.
Valgt	38	76	1 188	272 720	971	104	30	0.11	-25.66
Forkastet	285	473	3 386	209 541	26 232	1 187	244	0.26	-10.19



Valgte punkter
(275 127)
Hvite punkter
er innenfor
toleransen,
røde over
flaten, grønne
under-



Forkastede
punkter
(241 348)

Avsluttende bemerkninger

- Lokalt forfinende splines gir en middel-løsning mellom raster og triangulering
- Mange frihetsgrader der det er stor variasjon i terrenget, få der terrenget er slett
- Størrelsen på resultat-flaten avhenger mer av egenskaper ved terrenget/havbunnen enn antall punkter
- Anvendt på spredte data-punkter, ikke noe krav til struktur
- Nytt flate-format (publisert i 2013)
 - Anvendelse på approksimasjon av geografiske data
- Et utvalg applikasjoner som opererer på flatene er implementert (f.eks. kotekurver)
- Fortsatt ikke full funksjonalitet sammenlignet med etablerte GIS-formater



Teknologi for et bedre samfunn