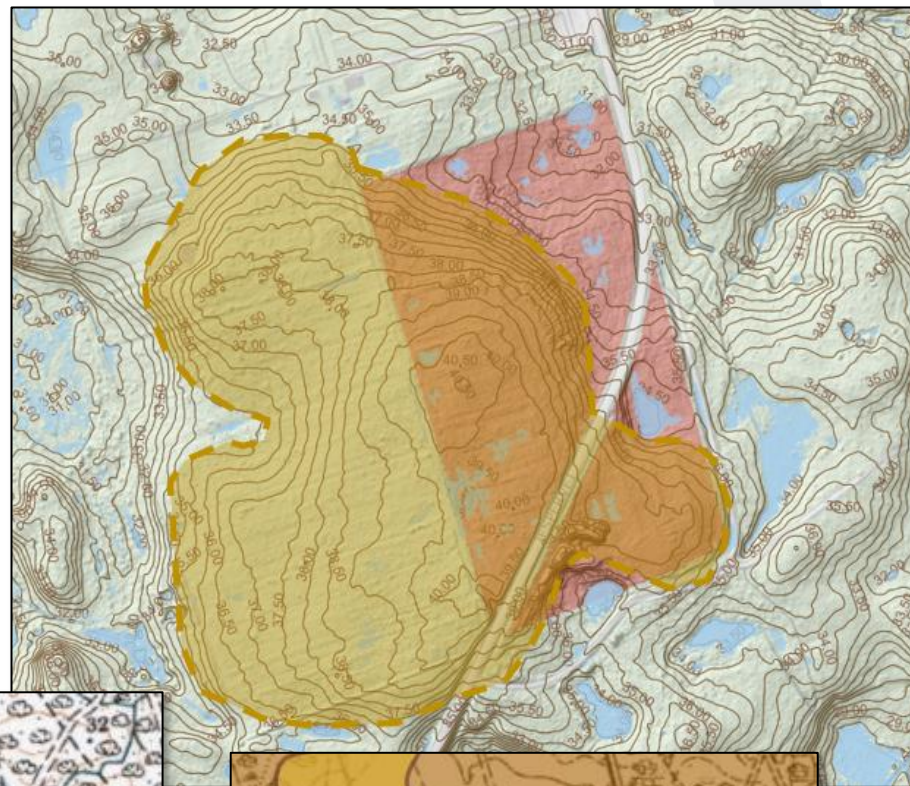


Bruger vi de topografiske
højdemodellers
fulde potentiale?

- Fra glaciale landskabsformer til
geologiske modeller

Bettina M. Olsen
Fagspecialist, Geolog DMR A/S



Dette skal vi igennem

En indflyvning til:

- Topografiske kort vs. højdemodellen
- Geomorfologiske kort
- Glaciale landskabselementer

Kort gennemgang af landskabselementer og geologi

Case 1: Issøfladbakke og dødislandskab

Landskabsanalyse giver øget forståelse for forureningsspredning i kompleks geologi og hydrogeologi

Case 2: Randmorænekompleks

Landskabsanalyse og geofysik medfører ændring af geomorfologisk kort

En højdemodel (ofte refereret til som en digital højdemodel eller DHM) er en digital 3D-repræsentation af jordoverfladens højdeforhold. Den viser geografiske højdevariationer i forhold til et fælles nulpunkt, typisk havniveauet.

Højdemodellen viser tydeligt topografien og de forskellige landskabers udformning set ift. topografiske kort med højdekurver.

Topografi og landskaber analyseres ofte gennem geologi og geomorfologi for at forstå, hvordan landskabet har udviklet sig, og hvordan det fremstår i dag.

Geomorfologien kæder landskabsformer sammen med de processer, der har dannet dem, og det landskabsdannende miljø medfører forskellige geologiske aflejringer.

I de "gode" gamle dage – kun topografisk kort



Topografisk kort - Nu med højdemodellen

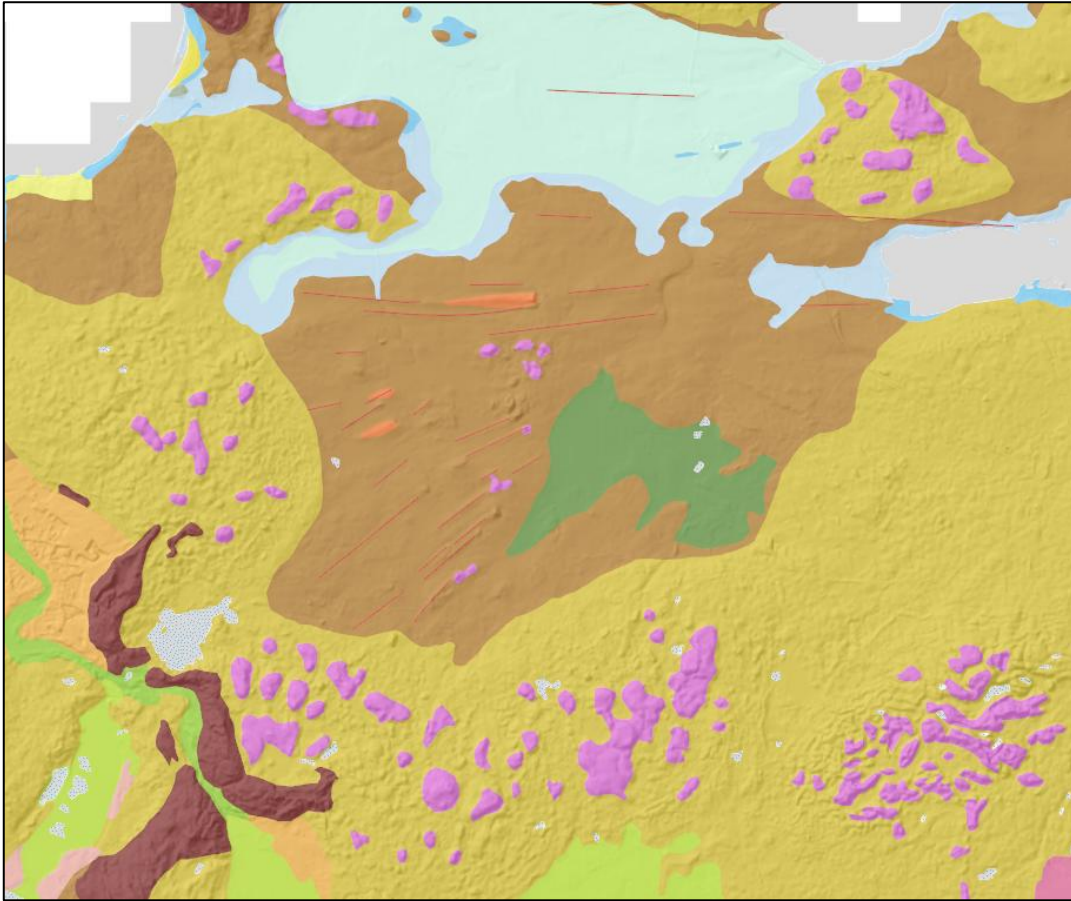
3D-repræsentation af jordoverfladens højdeforhold



Geomorfologiske kort

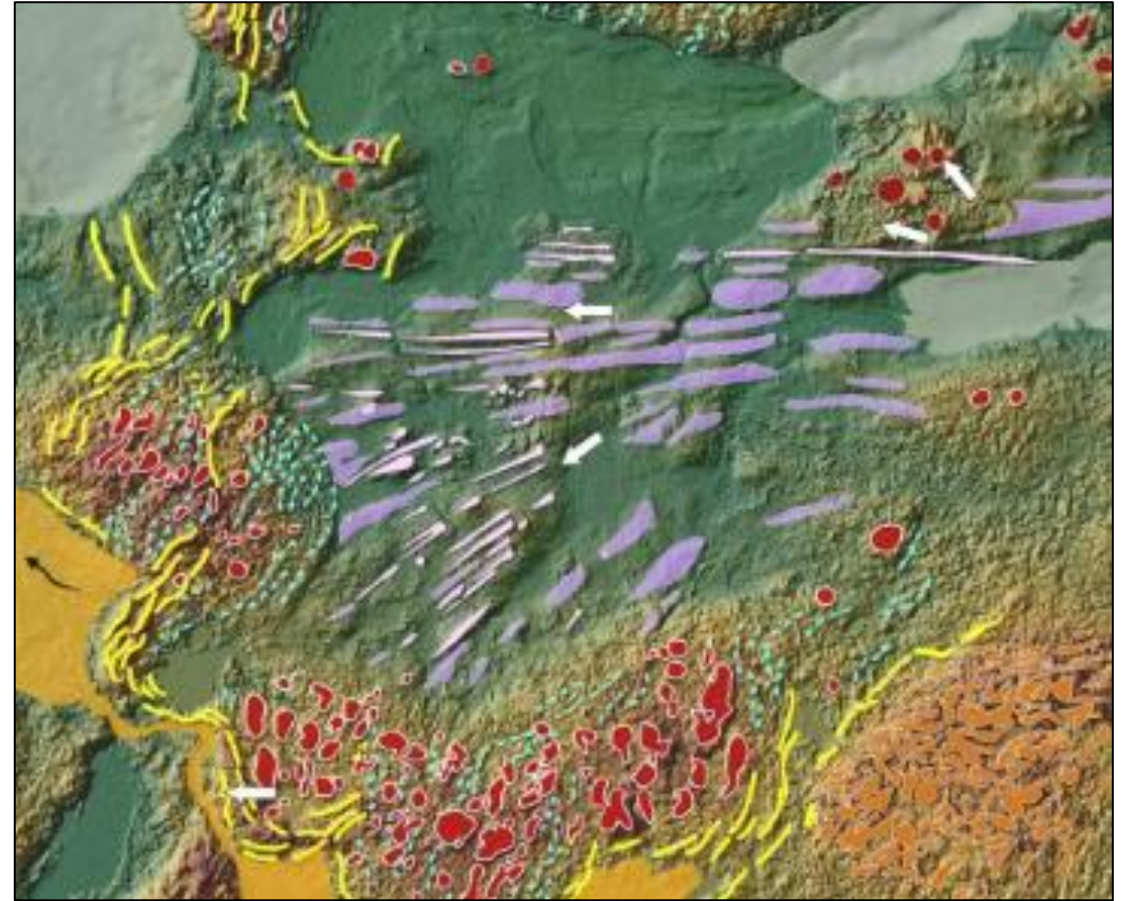
Geomorfologien kæder landskabsformer sammen med de processer, der har dannet dem, og det landskabsdannende miljø medfører forskellige geologiske aflejringer.

GEUS' geomorfologiske kort



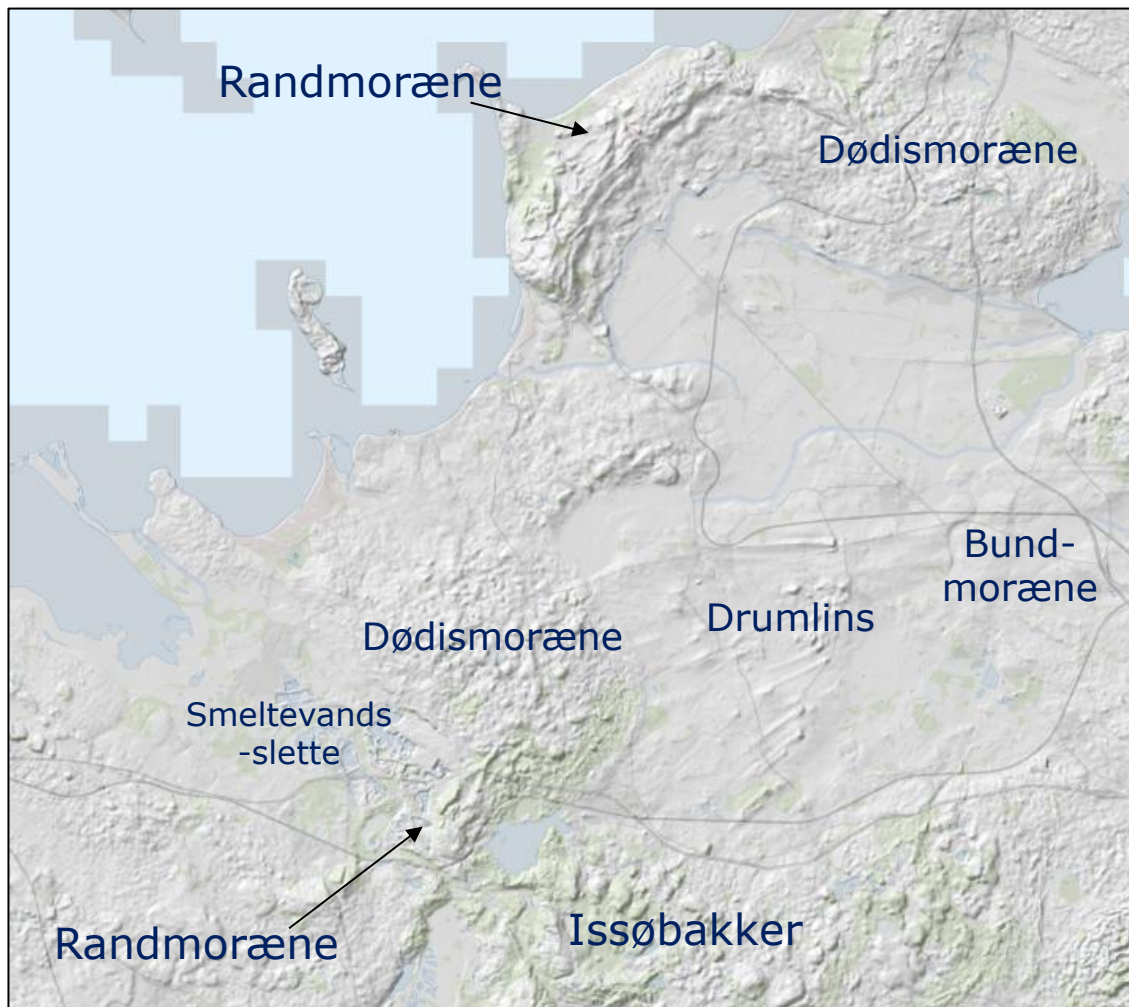
GEUS, kort over Danmark

Houmark-Nielsens geomorfologiske kort

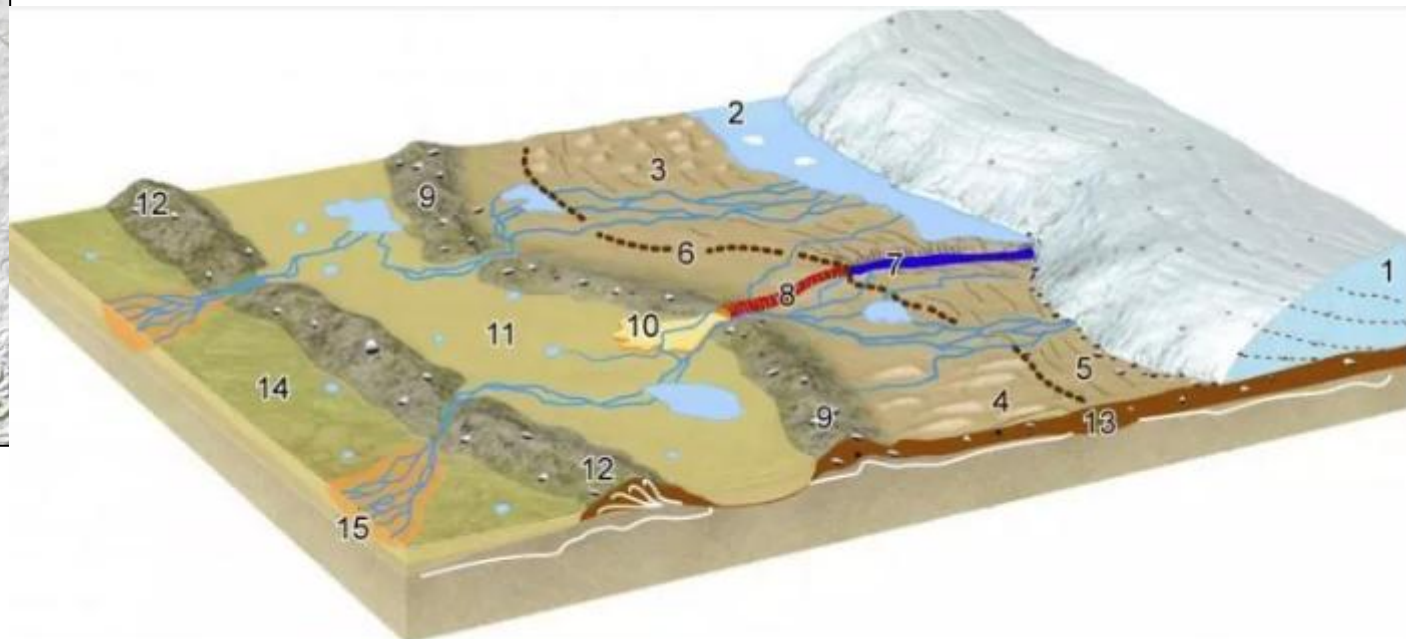


M. Houmark-Nielsen, 2021, Istiden i Danmark, Lindhardt og Ringhof

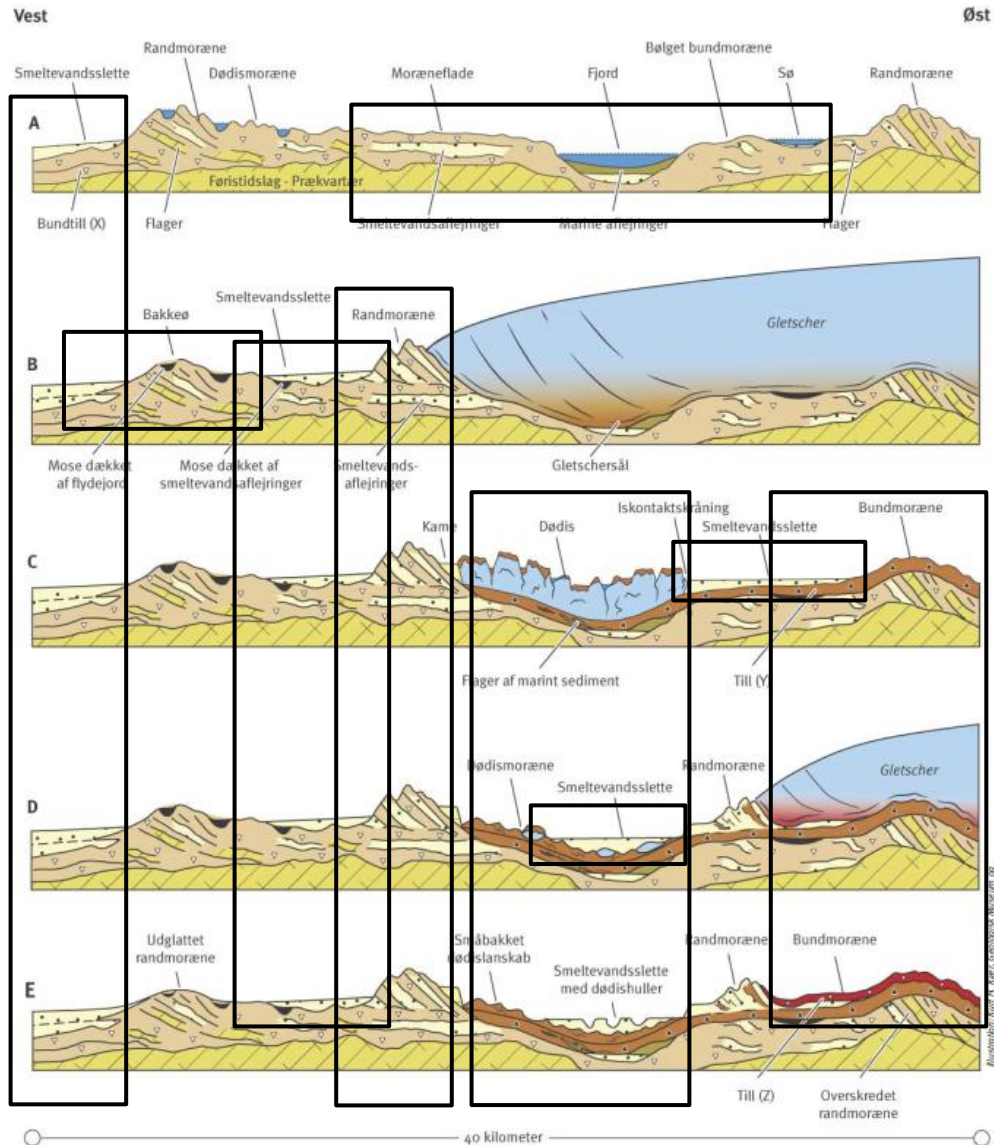
Glaciale landskabselementer



1. Gletsjer
2. Isdæmmet sø
3. **Dødismoræne med issøbakker**
4. Drumlins
5. Morænerygge
6. Afsmeltningsryg
7. Tunneldal med langsø
8. Ås i tunneldal
9. **Randmoræne** dannet ved tilbagetrækning
10. Issødelta
11. **Dødislandskab**
12. **Randmoræne** yderste position
13. **Bundmoræne** (moræneler)
14. **Smeltevandsslette ældre**
15. **Smeltevandsslette yngre**



Landskabselementer og overordnet geologi



GEOLOGISK KOMPLEKSISTET

Kuperet terræn

Jævnt terræn

Randmoræne
Bakkeø

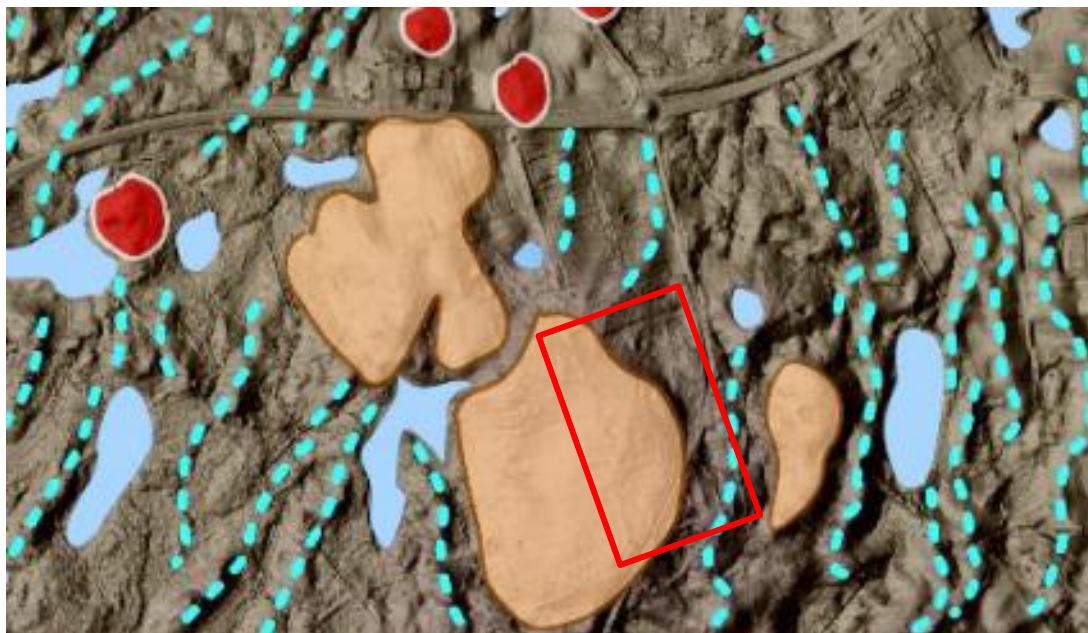
Dødislandskab
Issøbakke
Dødishul
(Tunneldal)

Bundmoræne
Smeltevandsslette

Høj

Lav

Case 1: Issøfladbakke og dødislandskab



Moræne-rygge



Issøfladbakke



Issøbakker sand og grus



Dødislavning



Lokaliteten

- Lokaliteten er undersøgt med adskillige boringer (>400 stk)
- Overfladeforurening med immobile stoffer, som er spredt til dræn og grøfter ved overfladeafstrømning og i det terrænnære grundvand
- Komplex hydrogeologi i det terrænnære grundvand
- Ifølge det geomorfologisk kort er lokaliteten delvist beliggende på en issøbakke i et dødislandskab



Moræne-rygge



Issø-fladbakke



Issøbakker sand og grus



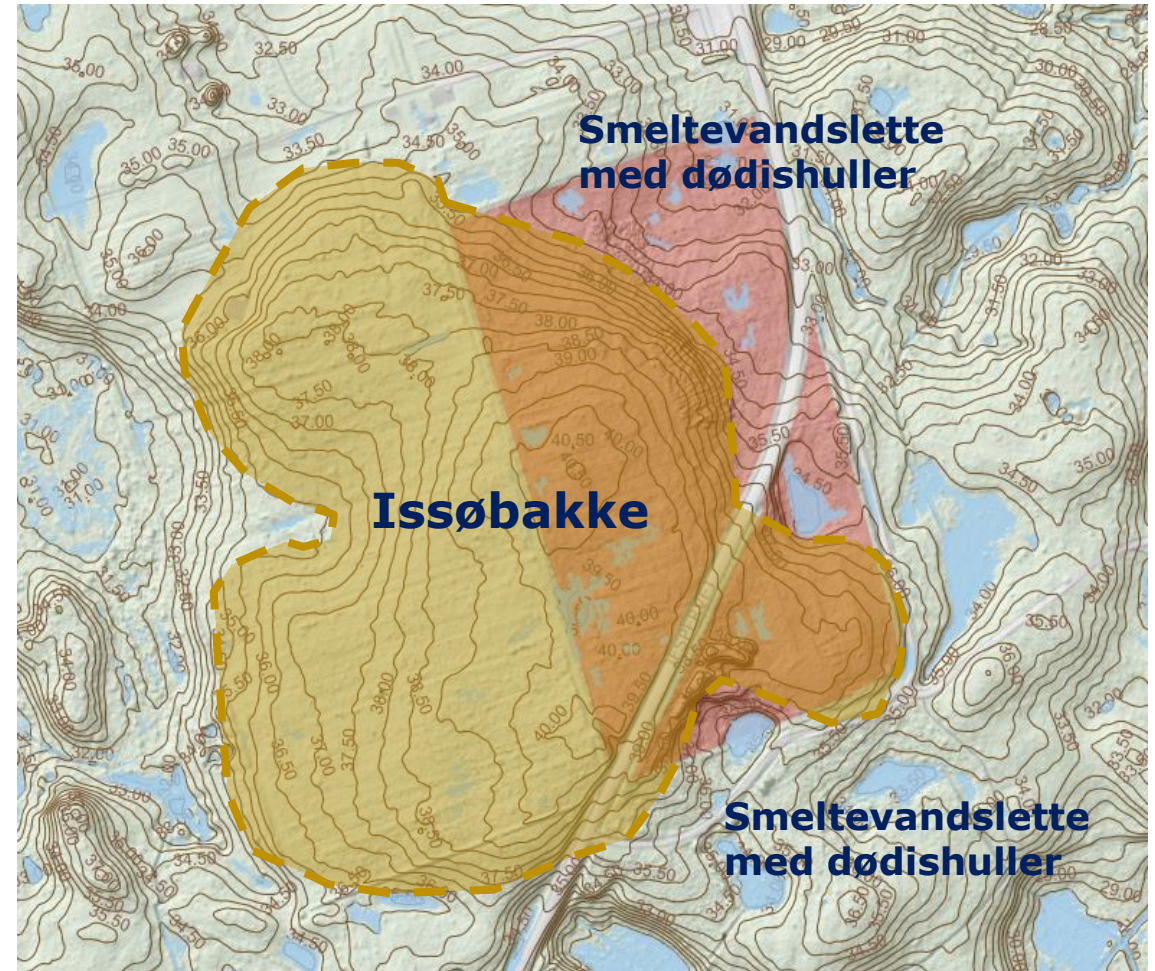
Dødis-lavning

- En issøbakke er dannet i et hul ovenpå gletsjeren, hvor der aflejres smeltevandsedimenter
- Når isen smelter bort fremstår aflejringer på søbunden som en flad bakke
- Ved bortsmeltningen forsvinden støtten fra isen og lagene langs kanten skrider sammen (ligesom sandslottet på stranden)
- I denne nedskridningszone er lagene deformerede og kan sidestilles med skråtstillede lag
- Lagene centralt på issøbakken er uforstyrrede

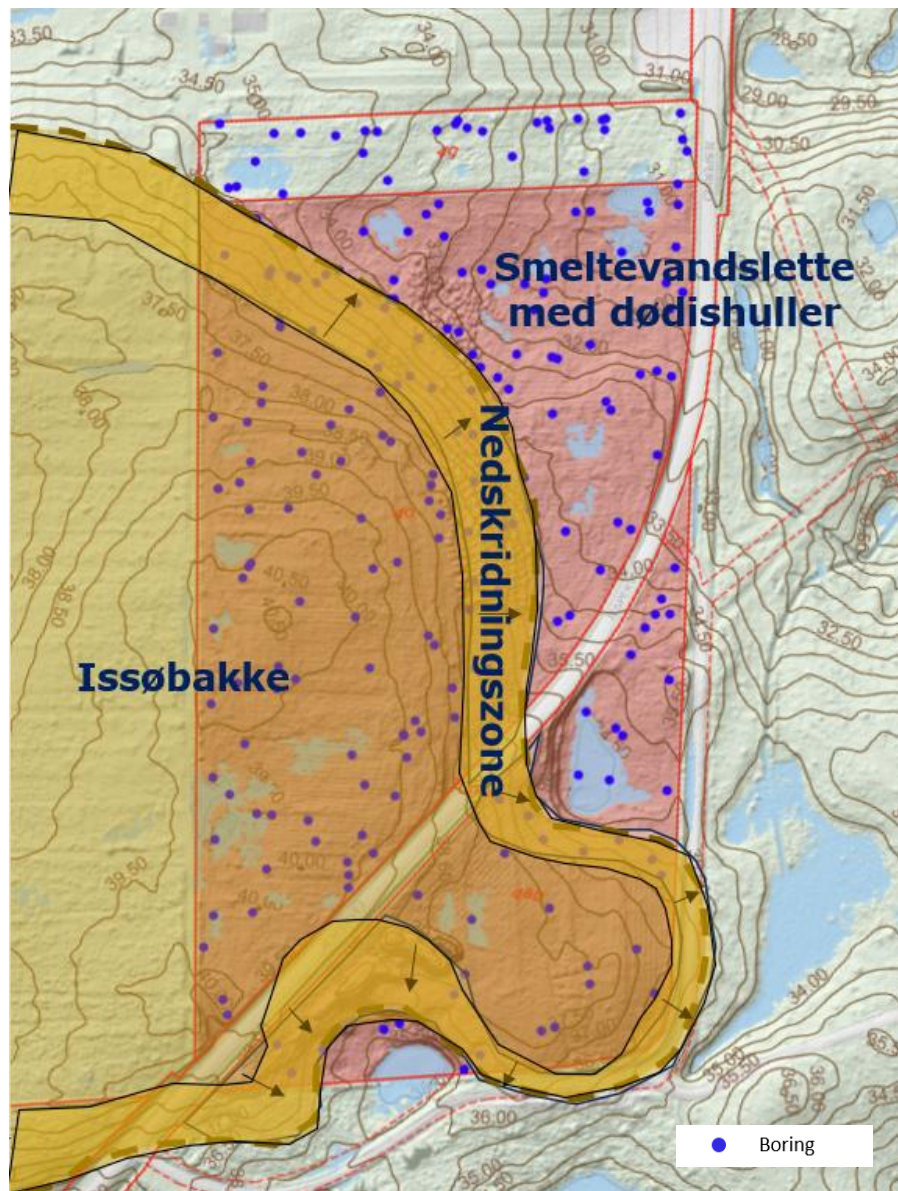


Detaljeret landskabsanalyse

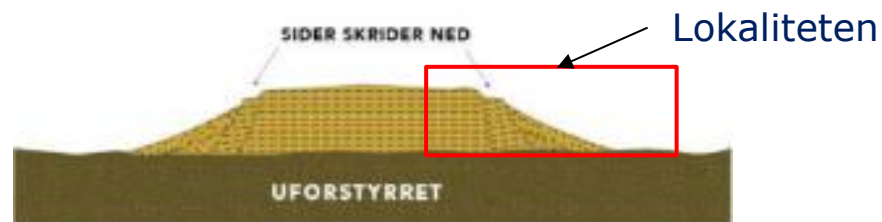
- Landskabsanalysen ændrer issøbakkens udformning
- Der er smeltevandslette med flere dødishuller N, Ø og S for lokaliteten.
- Bakkens toppunkt findes på vestlige del af lokaliteten ligger på, dvs. terrænet skråner mod N, Ø og S – betydende for overfladeafstrømning og terrænnært grundvand



Detaljeret landskabsanalyse – inddeling i zoner

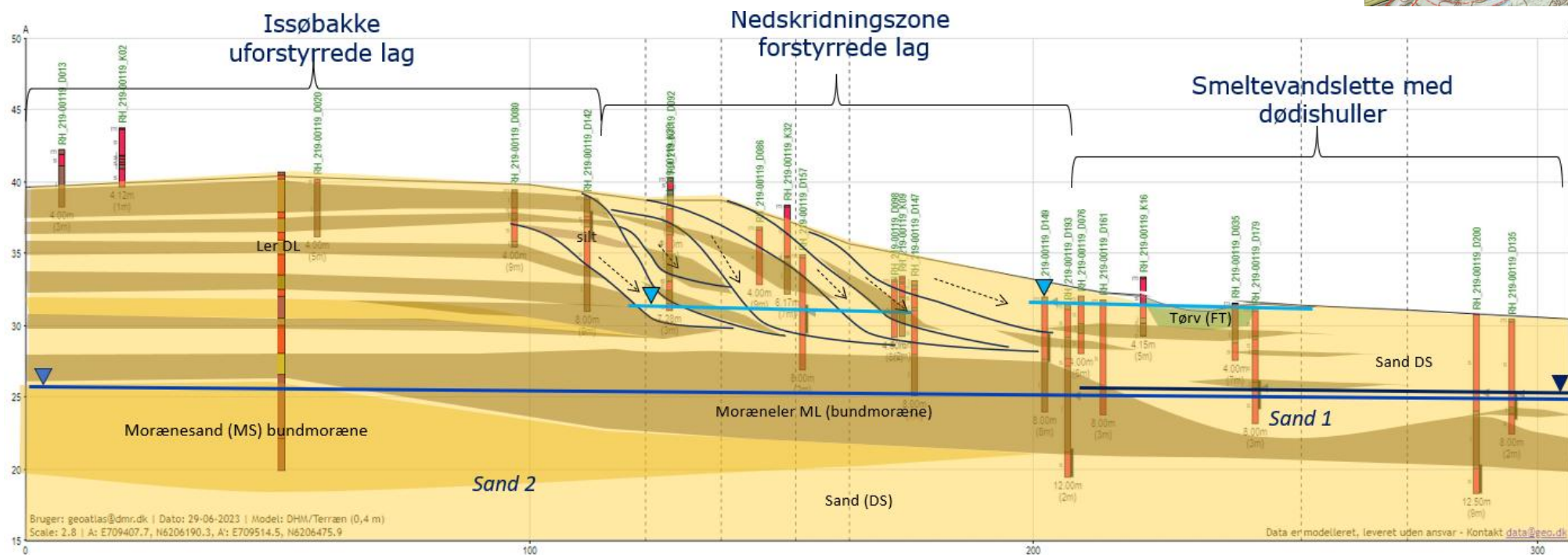
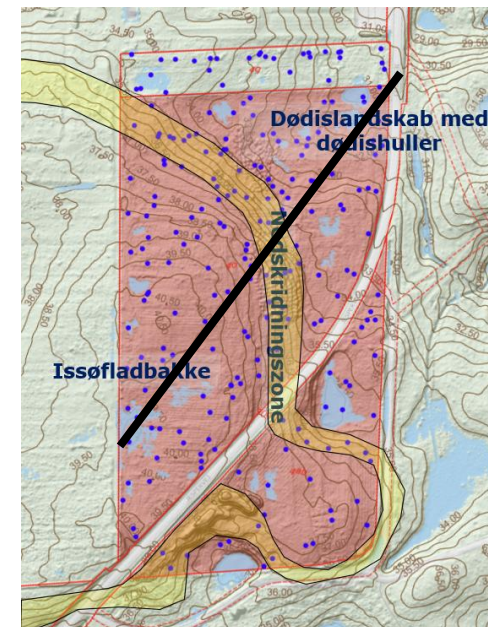


- Lokaltiteten gennemskæres af **nedskridningszonen** (terrænet skråner), hvor de oprindelige geologiske lag er **forstyrrede**.
- Geologien er tynde lag af ler og sand, som er **uforstyrrede** centralt på **issøbakken**, dvs. på den vestlige del af lokaliteten.
- Geologien i dødislandskabet består af smeltevandsaflejringer (sand) da der er tale om en tidligere **smeltevandslette med dødishuller**
- Geologien i **dødishullerne** består af ferskvandsaflejringer såsom tørv og gytje. Overfladevand og terrænnært strømmer til dødishullerne (og menneskeskabte dræn og grøfter)



Geologisk profil

- Der er ikke truffet terrænnært grundvand i issøaflejringerne
- Der er meget vekslende grundvandsspejl i nedskridningszonen
- Der træffes højtliggende terrænnært grundvand i lavninger i dødislandskabet
- Der er dybereliggende terrænnært grundvand i smeltevandsletten i lavninger i bundmorænen (Sand 1)



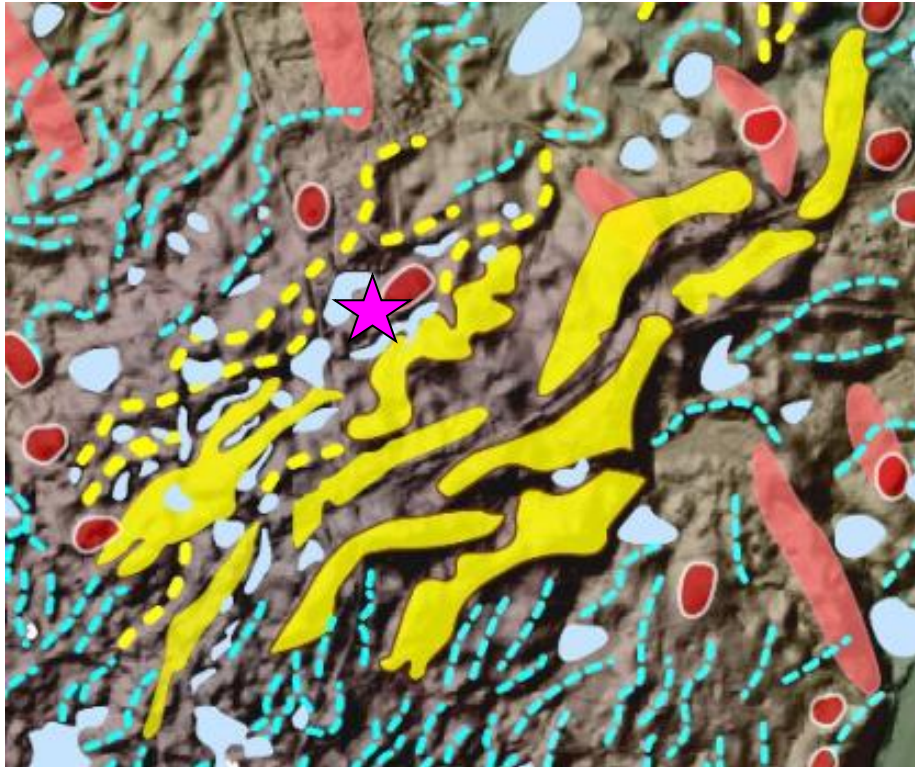
Det geomorfologiske kort er malet med en lidt bredere pensel

Detaljeret landskabsanalyse vha. højdemodellen præciserer issøbakkens udbredelse og form

Kendskab til opbygningen af en issøbakke inddeler i dette tilfælde lokaliteten i tre geologiske områder med forskellige hydrogeologiske egenskaber

Landskabsanalysen giver bedre forståelse for hvorfor der er forskel i geologien og de hydrogeologiske forhold på lokaliteten.

Case 2: Randmorænekompleks

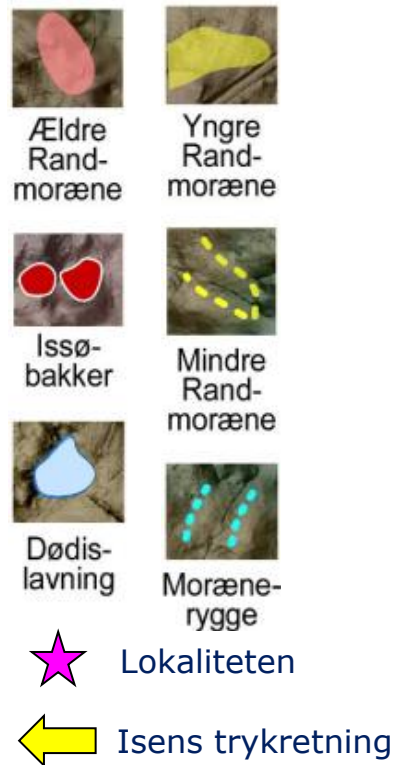
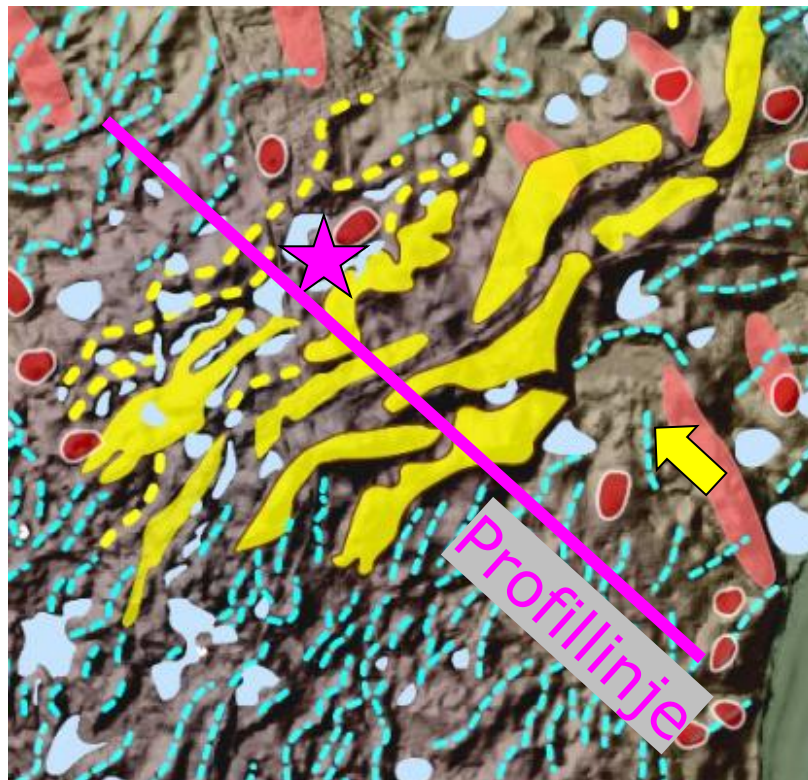


To nabolokaliteter beliggende i et randmorænekompleks med omkringliggende dødislavninger og en issøbakke mod øst

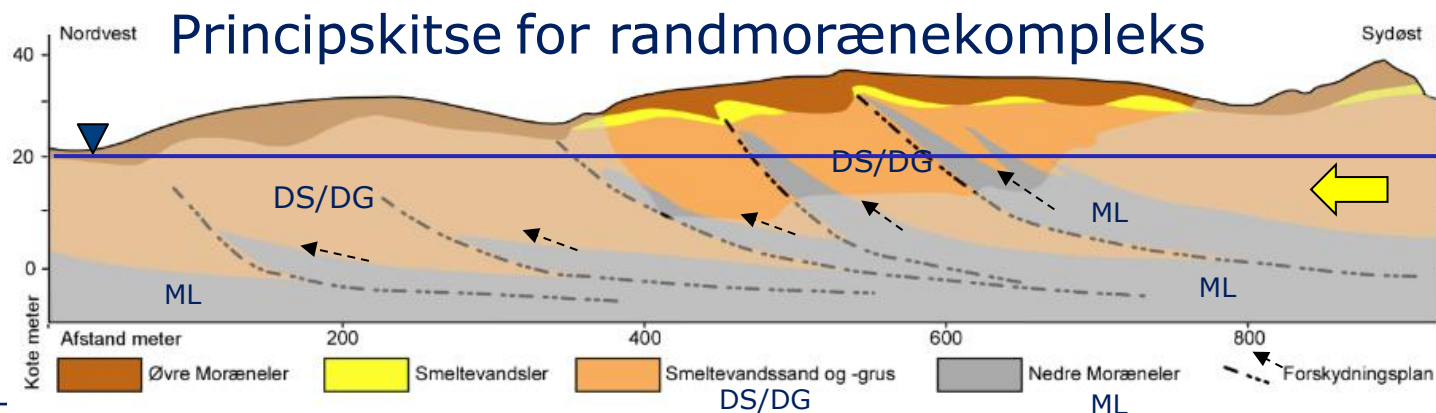
Kompleks hydrogeologi pga. deformerede og opskudte lag

Grundvandskel opdeler lokaliteterne

På trods af mange boringer er det ikke lykkedes at lokalisere forureningsfanen (-fanerne)



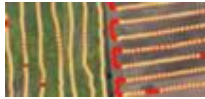
- Randmorænekomplekset har en SV-NØ orientering og er dannet af en gletsjer der er kommet fra SØ
- De opskudte lag hælder mod SØ og ligger højest centralt i komplekset
- De opskudte lerlag danner barriere mellem grundvandmagasinerne, som findes i parallelle dalstrukturer langs randmorænekompleksets SV-NØ lige udstrækning
- Grundvandsstrømningen er betinget af de opskudte lerlag, og vil strømme i de parallelle dalstrukturer



OBS! De geomorfologiske randmoræner er ikke lig med opskudt lerlag, men er hele lagpakken, som er skudt op

Geofysisk undersøgelse med tTEM og DCIP

Kortlægning af begravede dalstrukturer og opskudte lerlag, som er betydende for grundvandstrømningen og forureningsspredningen.



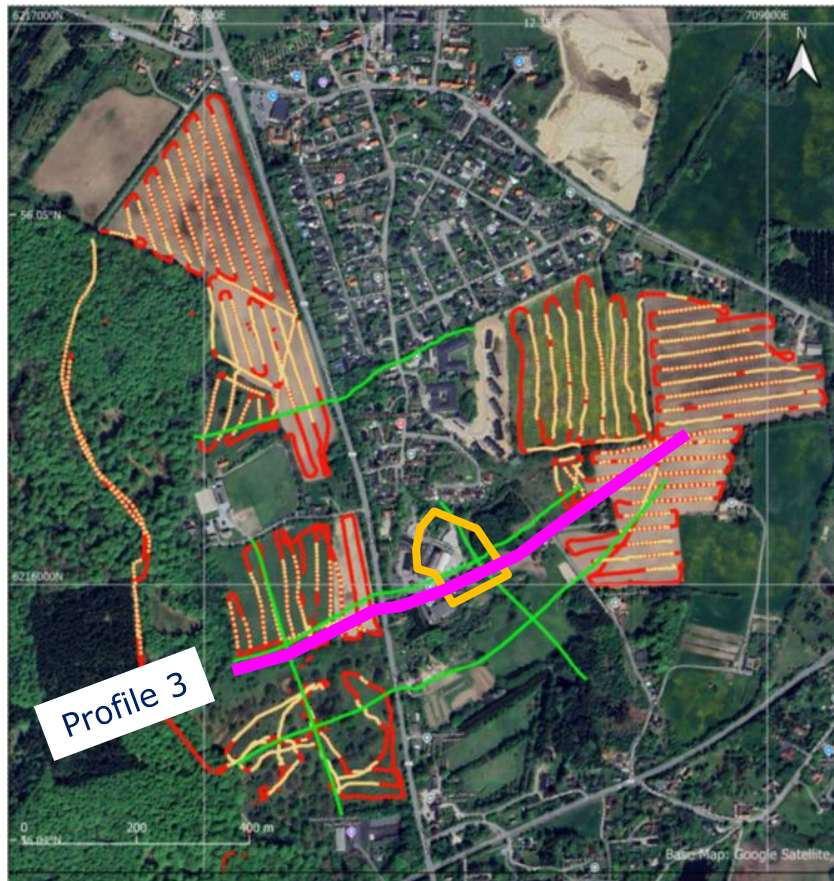
tTEM



DCIP

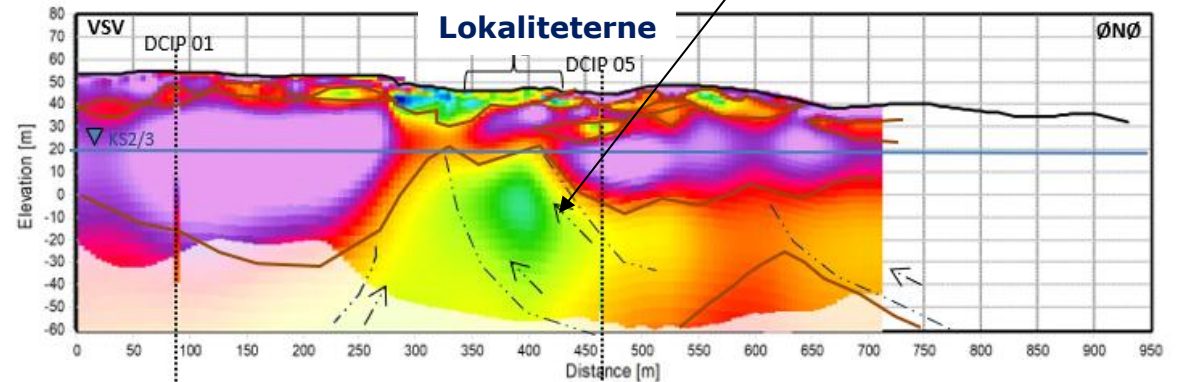


Lokaliteten

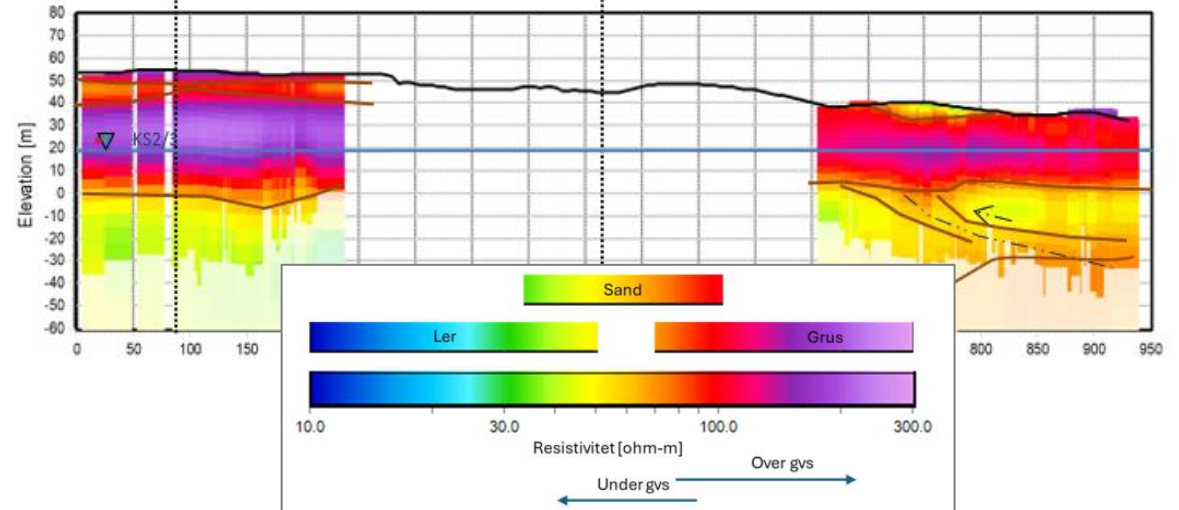


Opskudt lerlag under lokaliteterne

Profile 3

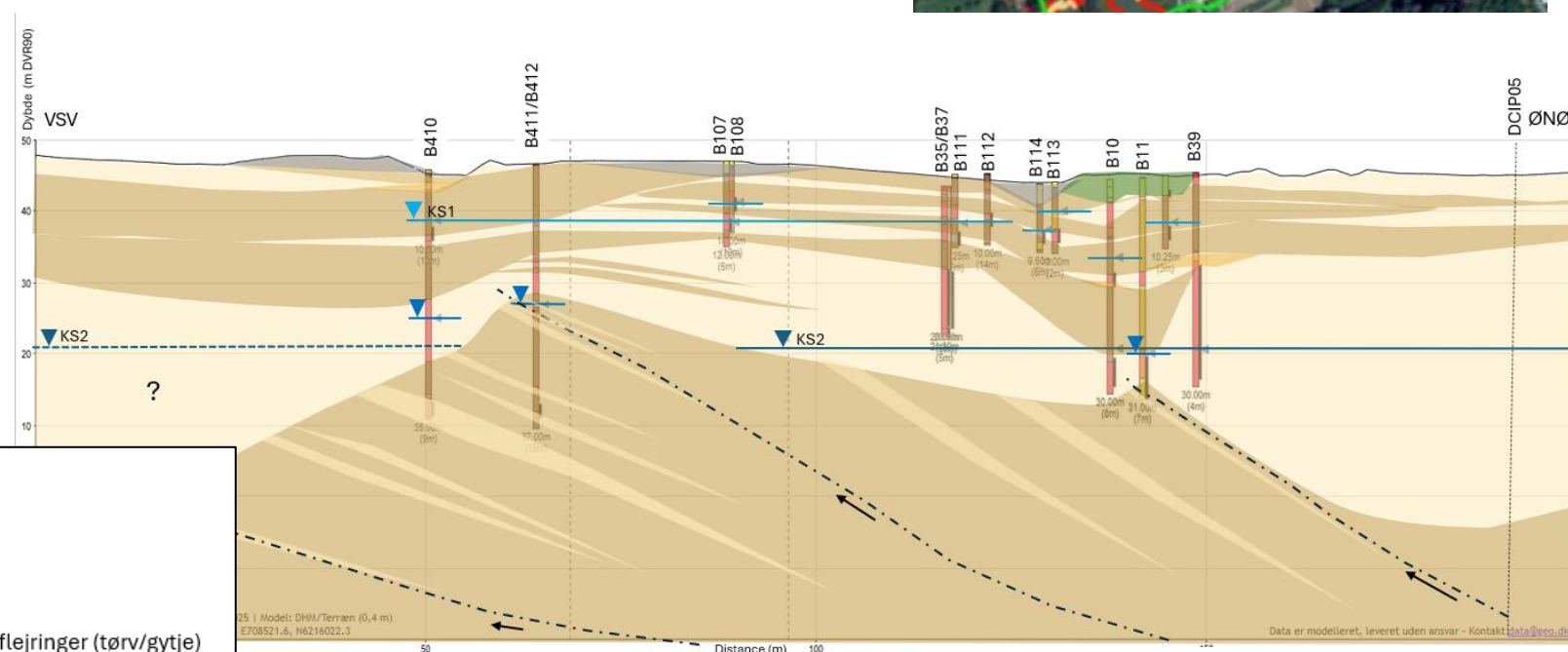
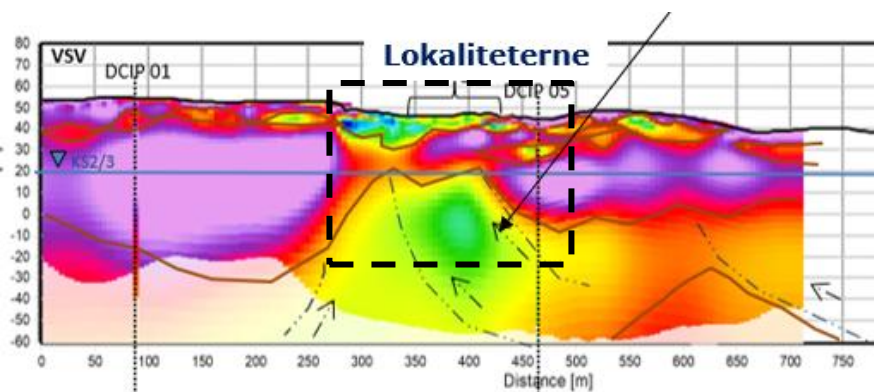


tTEM



Geologisk profil på lokaliteterne

- Opskudt lerlag mellem lokaliteterne opdeler magasinet KS2
- De højereliggende potentialer i dybe boringer skyldes filtre sat i sandlag i opskudt ler
- Varierende potentialer i korte boringer skyldes filtersætning i usammenhængende vandførende sandlag



Signatur

- Moræner/ler
- Smeltevandssand / sand
- Smeltevandssilt / silt
- Postglaciale ferskvandsaflejringer (tørv/gytje)
- Fyld

↖ Overskydningsplan (randmoræne)

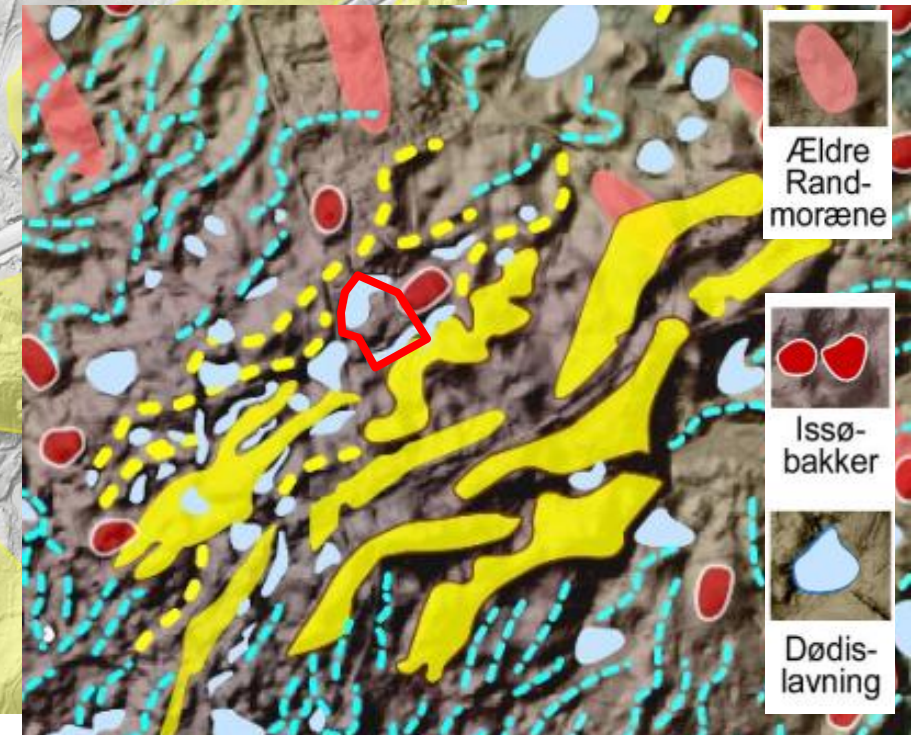
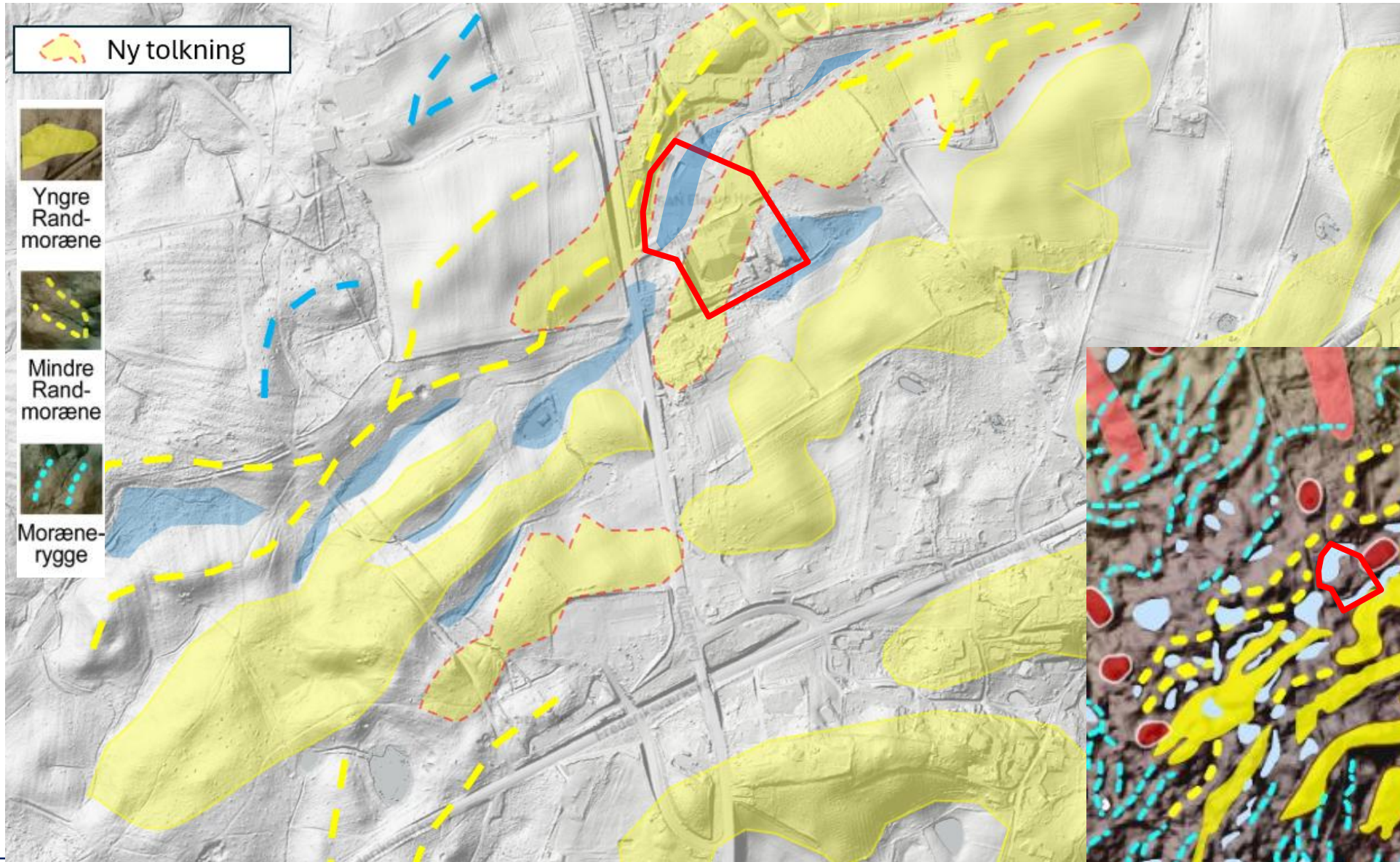
Oprindelige topografi

- Højdemodellen viser at det oprindelige terræn er ændret i forbindelse med opførelsen af bygningerne
- De gamle topografiske kort er ikke detaljerede nok til at se mindre landskabselementer
- På ortofoto fra 1954 ses lyse og mørke områder, som antages at skyldes topografien
- Lyse områder vurderes at være højtliggende og mere sandede og muldfattige end de mørke områder

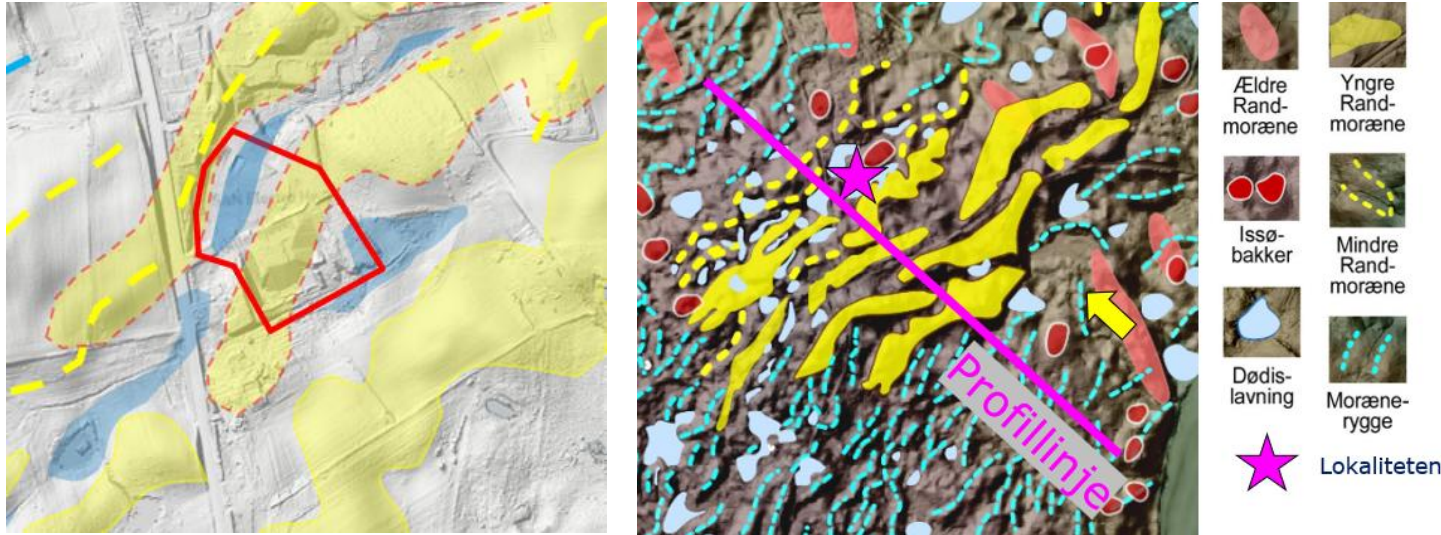
Konklusion: To SV-NØ gående langstrakte bakker har løbet gennem lokaliteterne



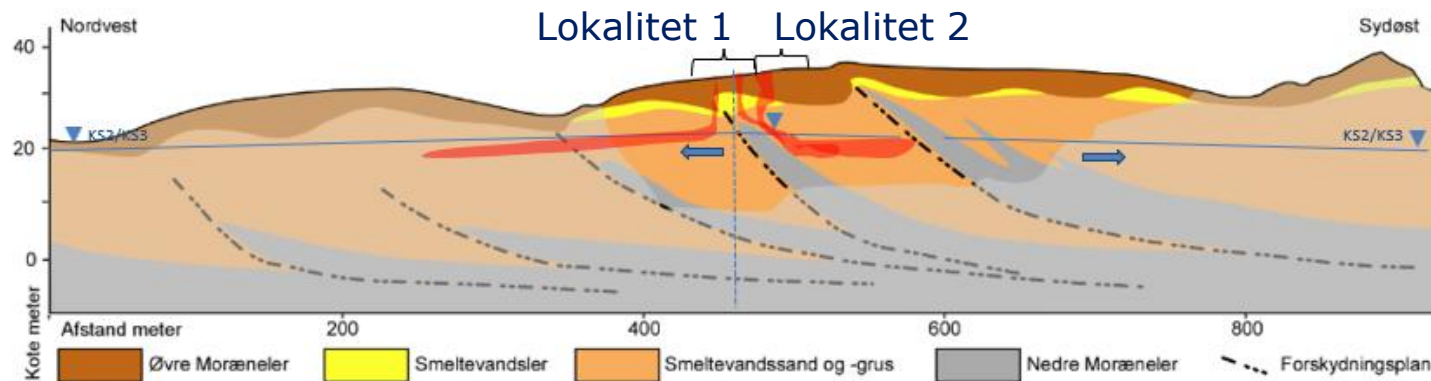
Ny tolkning af geomorfologisk kort



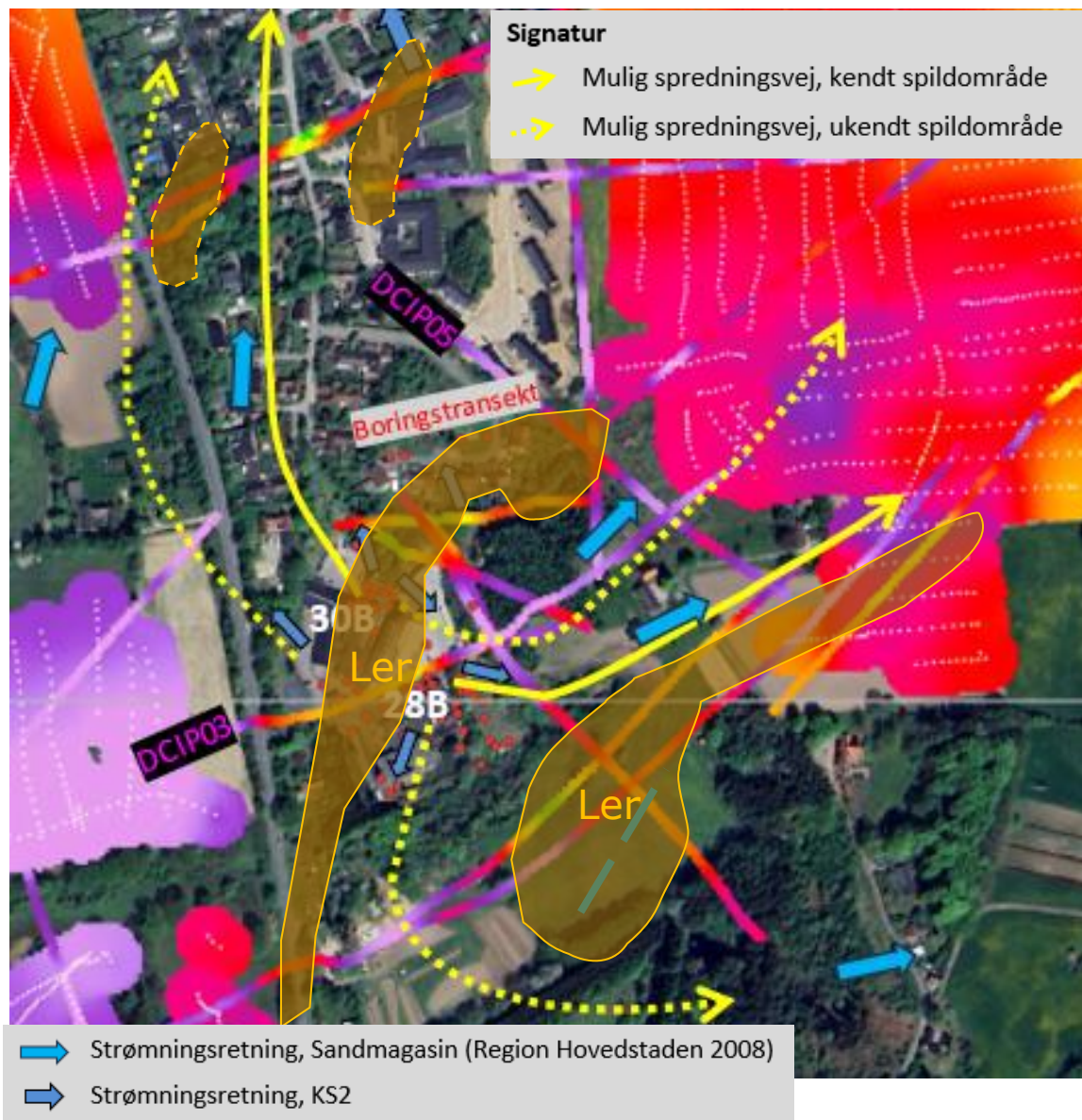
Randmorænekompleks og forureningsspredning



- Lokalitet 1 er beliggende over et opskudt lerlag og tæt på grundvandskellet
- Mulig spredning i to retninger alt efter hvor spildet er sket.
- De opskudte lerlag er mindre skrånede nedstrøms, og har derfor mindre betydning i retning væk fra de højest liggende randmorænebakker
- Lokalitet 2 ligger på kanten af en begravet dalstruktur og forureningen vil følge dalstrukturens udbredelse



Mulige spredningsveje for forurening



- Middelmodstandskort for samme dybde som grundvandspotentialet viser udbredelse af dalstrukturer (GV-magasiner) og opskudte lerlag (barrierer)
- Divergerende strømningsretninger på lokaliteterne har betydning for forureningsspredningen på de to lokaliteter
- Forurening fra nordlige lokalitet vil spredes først mod NV pga. opskudt lerlag og vil dreje mere mod NNW og N
- Forurening fra Lokalitet 2 vil først spredes i ØSØ-lig retning og derfra følge dalstrukturens udbredelse og dreje mere mod ØNØ
- Overordnet strømningretning i KS2 er mod mod NNØ og NØ. Forureningsfane vil følge denne udenfor den del af randmorænekomplekset hvor den opskudte ler ligger højest

Det geomorfologiske kort er også her malet med en lidt bredere pensel

Detaljeret landskabsanalyse vha. højdemodellen kan understøtte geomorfologien

I randmoræner har de dybereliggende strukturer betydning for grundvandets strømning og forureningsspredningen.

Viden om tilstedeværelsen af et randmorænekompleks kan bidrage til valg af undersøgelsesmetoder

Geofysik kan kortlægge de dybereliggende strukturer og supplere med tolkningen af geomorfologien

Bruger vi de topografiske
højdemodellers
fulde potentiale?

- Fra glaciale landskabsformer til
geologiske modeller

Bettina M. Olsen
bmo@dmr.dk

Tak for opmærksomheden