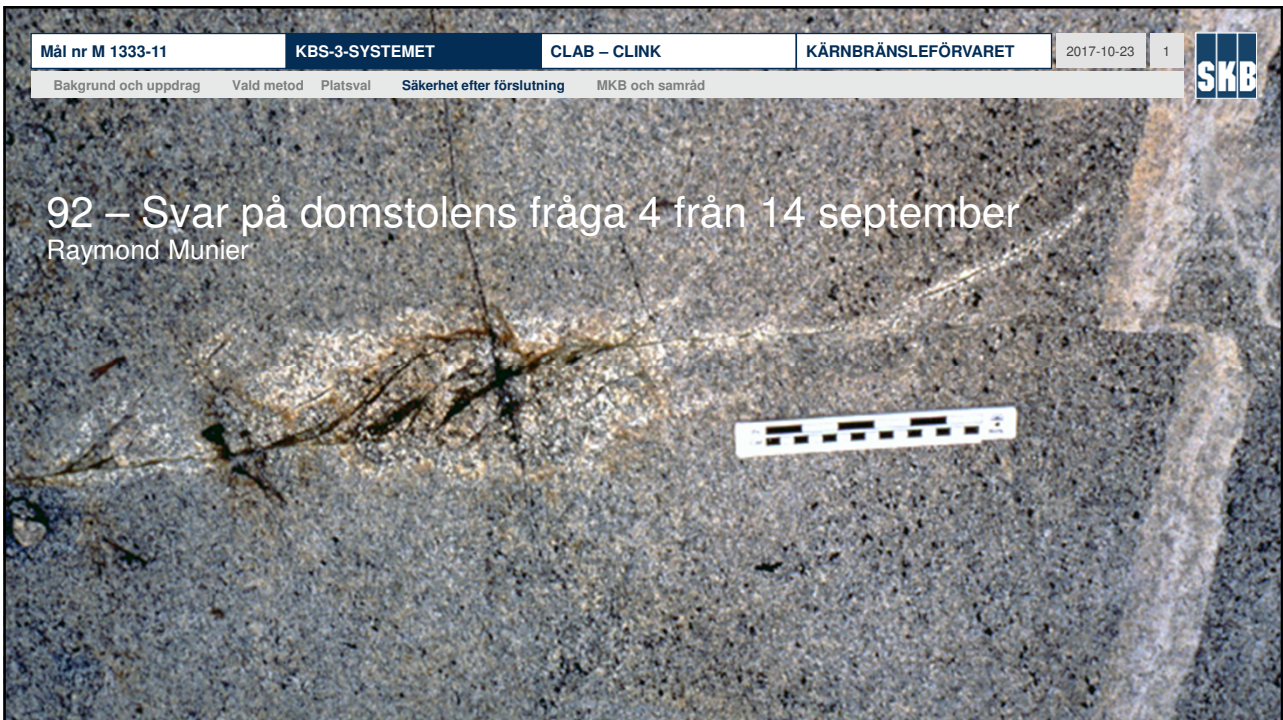


92 – Svar på domstolens fråga 4 från 14 september

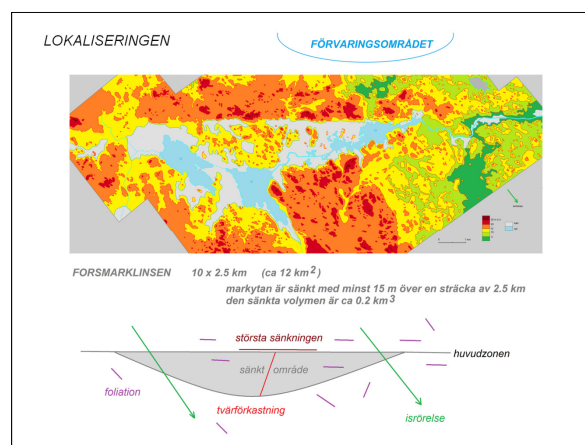
Raymond Munier



Domstolens fråga

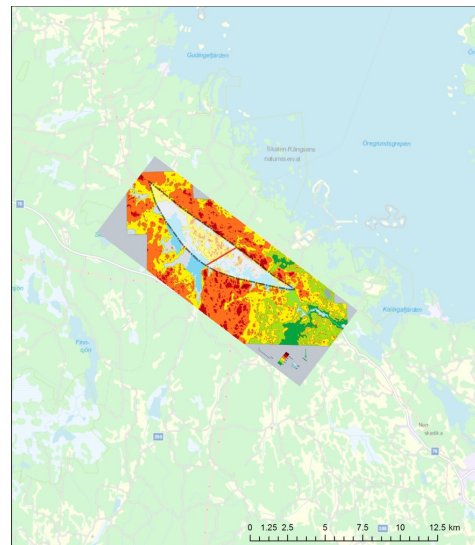
Domstolen önskar ett förtydligande avseende Herbert Henkels presentation 7 och 11 september, aktbilaga 652, sid 7, bild 14, rörande den valda lokaliseringen, bl a med hänsyn till den postglaciala deformationen som kan innehålla en förstärkande tvärförkastning.

- **Tolkning: Finns det påvisad postglacial deformation i förvarets närområde och påverkar det i så fall säkerhet efter förslutning?**
- **Not: Betydelsen av begreppet "förstärkande tvärförkastning" är obekant för SKB**



Några citat av Prof Henkel

- "...När jag ser det här, ser jag ett typiskt exempel på en mycket ung deformationszon. Det här **tolkar jag som en postglacial förkastning...**"
- "...Trots att **isrörelseriktningen** går tvärsigenom är strukturen väldigt tydlig och det tolkar jag som att den är postglacial..."
- "...det som är inuti **linsen** har **brutits sönder av olika förkastningar**. Den viktigaste är **tvärförkastningen...**"
- "...dom gamla strukturerna är markerade med små streck men jag menar att **de är irrelevanta i det här sammanhanget...**"



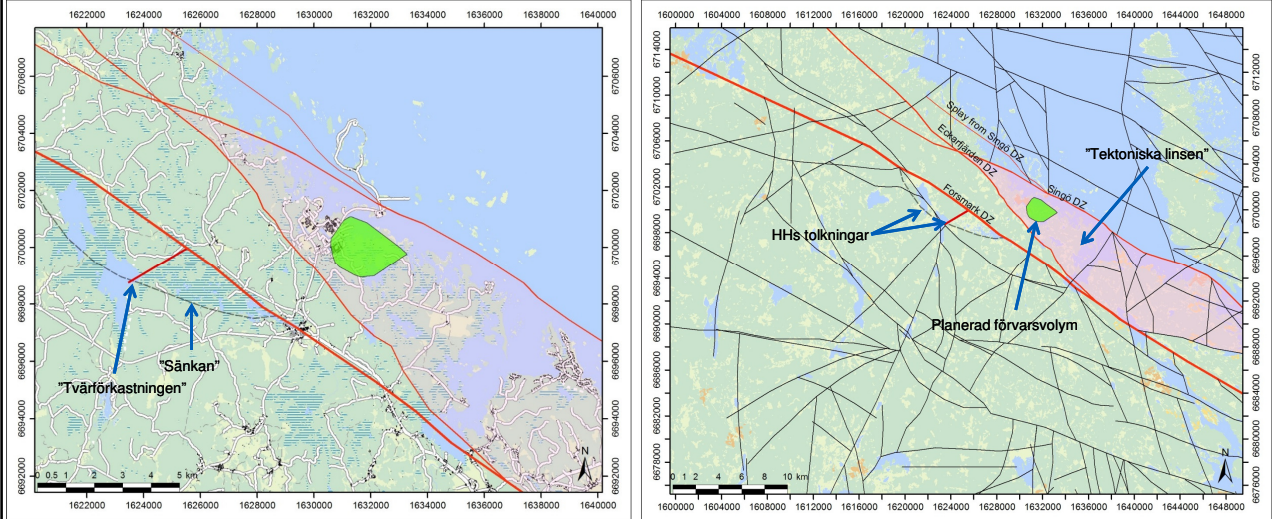
Påståenden av Prof Henkel att ta ställning till

1. Forsmarkszonen har reaktiverats i **postglacial** tid, uppemot 15 m
2. "Sänkan" är en skjuvlins
3. Eftersom "sänkan" är en skjuvlins har den "**tvärförkastningar**", åtminstone en är identifierad av Henkel
4. Dessa förkastningar har brutit sönder linsen
5. Brant vinkel mot isrörelseriktningen stärker denna tolkning
6. 1-5 ovan innebär (underförstått) att SKB:s valda plats är olämplig (**lokalisering**)

SKB kommer att visa

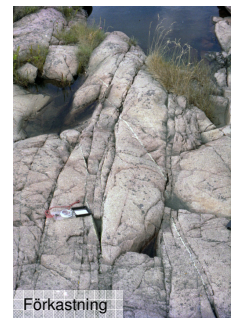
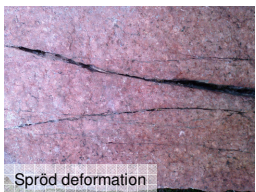
- Att det inte förekommit postglacial reaktivering av Forsmarkszonen
- Att det inte heller förekommit postglacial reaktivering av andra zoner i förvarets närområde
- Att även om Henkel skulle ha rätt i sak, har det ingen bäring på säkerhet efter förslutning

Orienteringskarta

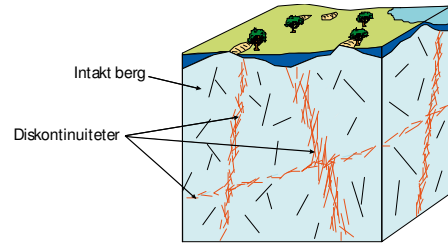
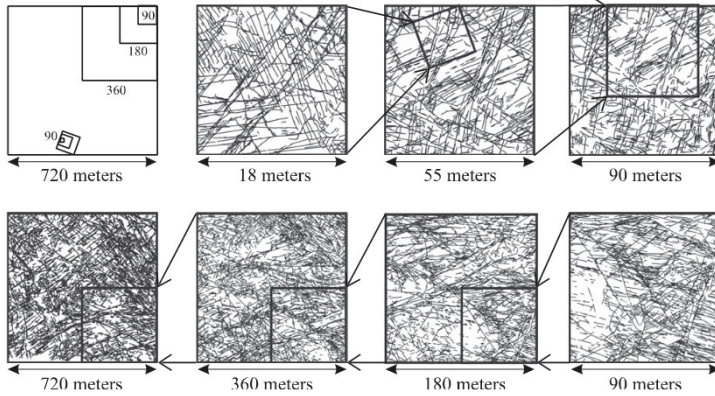


Data: Deformationszoner är utdrag från SGU:s berggrundskartor kombinerat med SKB:s platsbeskrivning av Forsmark

Centrala begrepp (1/2)

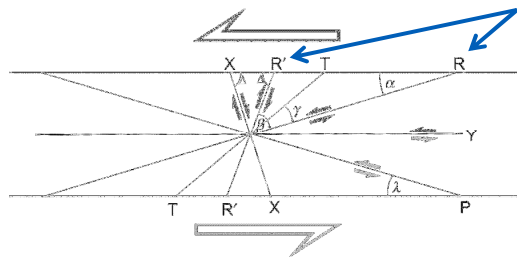
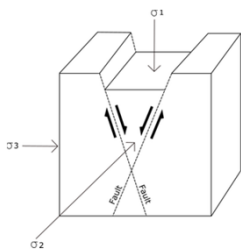


Centrala begrepp (2/2, "intakt berg")



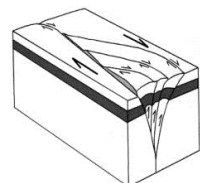
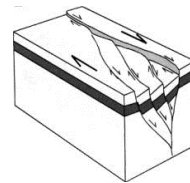
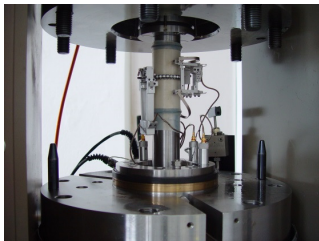
"Intact rock refers to the unfractured blocks which occur between structural discontinuities in a typical rock mass."

Bonnet E, Bour O, N.E. O, Davy P, Main I, Cowie P, Berkowitz B, 2001. Scaling of fracture systems in geological media. Reviews of Geophysics. Volume 39, issue 3, p. 347-384
 Hoek E, Kaiser P K, Bawden W F, 2000. Support of underground excavations in hard rock. CRC Press. ISBN: 9054101865.



Riedel-sprickor, "tvärförkastning"

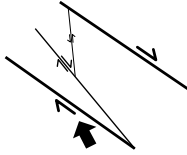
Motsvarar Forsmarks deformationszon (DZ)



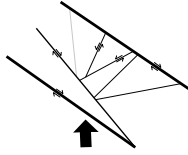
Riedel W, 1929. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen ein Beitrag zum Problem der Fiederspatten. Zentbl. Miner. Geol. Palaont. Abt., p. 354-368

Reaktivering av strukturer som respons på olika belastningar av Forsmarkslinsen

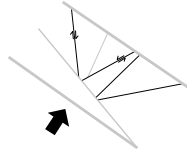
1850 miljoner år



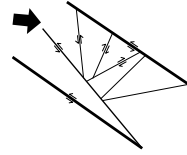
1800 miljoner år



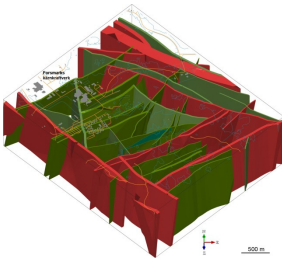
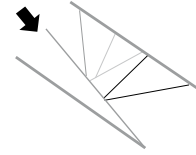
1700-1600 miljoner år



1100-900 miljoner år



Ca 2 miljoner år



- Reaktivering främst av zonerna, inte enstaka sprickor
- Mycket få vattenförande sprickor mellan zonerna
- Läkning av sprickor
- God förståelse, 4D-beskrivning

Stephens M B, Fox A, La Pointe P, Simeonov A, Isaksson H, Hermanson J, Öhman J, 2007. Geology Forsmark. Site descriptive modelling Forsmark stage 2.2. SKB R-07-45, Svensk Kärnbränslehantering AB
 Saintot A, Stephens M B, Viola G, Nordgulen Ø, 2011. Brittle tectonic evolution and paleostress field reconstruction in the southwestern part of the Fennoscandian Shield, Forsmark, Sweden. Tectonics. Volume 30, issue 4, p. n/a-n/a. doi:10.1029/2010tc002781

Vad behövs för identifikation av glacialt inducerade förkastningar?

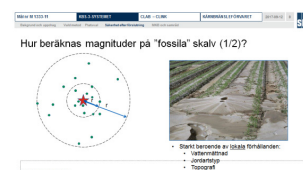
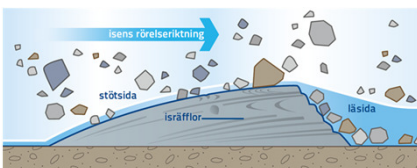


Direkt metod – kräver:

- Skjuvade syn- till postglaciala markörer (t ex kvartärt lager, isräfflor)
- Exponerad bergyta på ömse sidor om förkastningen
- En exponerad förkastningsyta
 - med skjuvmarkörer konforma med misstänkt skjuvrörelse
- ...

Indirekt metod – kräver:

- Skakkänsliga sediment
- Samtidig störning (datering)
- ...



Muir-Wood R, 1993. A review of the seismotectonics of Sweden. SKB TR 93-13. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fenton C, 1999. Glacio-isostatic (postglacial) faulting: Criteria for recognition. In Hanson K L, Kelson K I, Angell M A, Lettis W R (eds). Identifying Faults and Determining Their Origins U.S. Nuclear Regulatory Commission, Vol NUREG/CR-5503, Appendix A, A-51 - A-99.

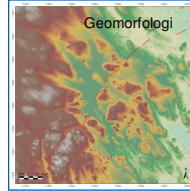
Multidisciplinärt arbete krävs för entydig identifikation



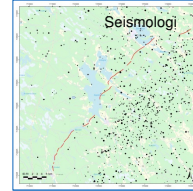
Kvartärgeologi



Glaciologi



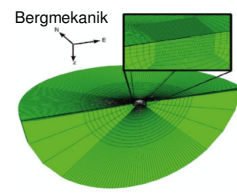
Geomorfologi



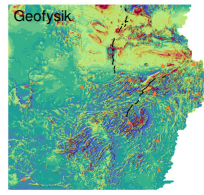
Seismologi



Strukturgeologi



Bergmekanik

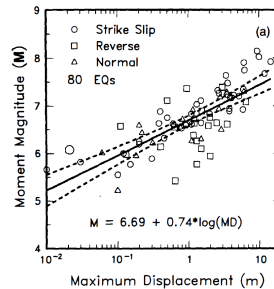
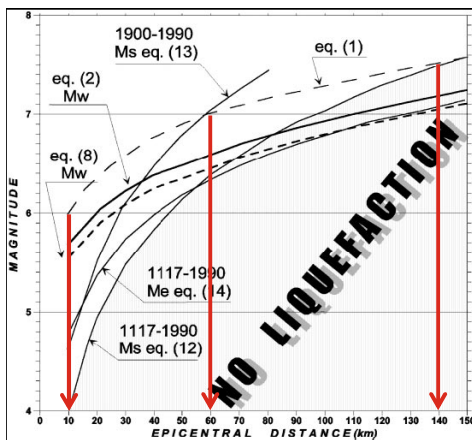


Geofysik

- Varje disciplin bidrar med indicier/bevis i enlighet med etablerad, ämnesspecifik, metodik
- Samtolkning sker i en iterativ process
- Indicierna måste vara inbördes konsistenta
- Osäkerheter propageras och integreras
- Antaganden väljs i samråd
- "Möjlig"- "trolig"- "påvisad": Anger osäkerhet
- Kriterier finns publicerade (t ex Fenton 1994)

Lund B, Bucheva D, Tryggvason A, Berglund K, Juhlin C, Munier R, 2015. The Burträsk endglacial fault: Sweden's most seismically active fault system. Proceedings of EGU General Assembly Conference Abstracts, 2015.
 Malehmir A, Andersson M, Mehta S, Brodic B, Munier R, Place J, Maries G, Smith C, Kamm J, Bastani M, Mikko H, Lund B, 2016. Post-glacial reactivation of the Bollnäs fault, central Sweden – a multidisciplinary geophysical investigation. Solid Earth, Volume 7, issue 2, p. 509-527. doi:10.5194/se-7-509-2016
 Fenton C, 1994. An annotated bibliography of postglacial faulting in eastern north America: the first 150 years. Bulletin of the INQUA Neotectonics Commission. Volume 17, p. 61-62

Vad innebär 15 m förkastning?



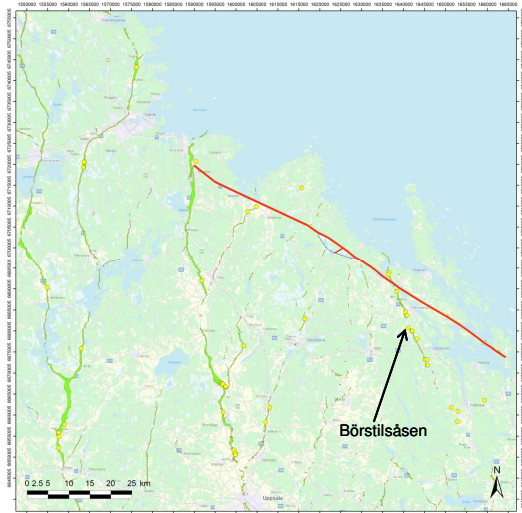
- En förkastning om 15 m innebär magnitud > M7
- Ger effekter i sediment > 60 km från zonen

Galli P, 2000. New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction. Tectonophysics, Volume 324, issue 3, p. 169-187

Wells D L, Coppersmith K J, 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Volume 84, issue 4, p. 974-1002

Huvudfrågan – Är Forsmarkszonen reaktiverad i postglacial tid?

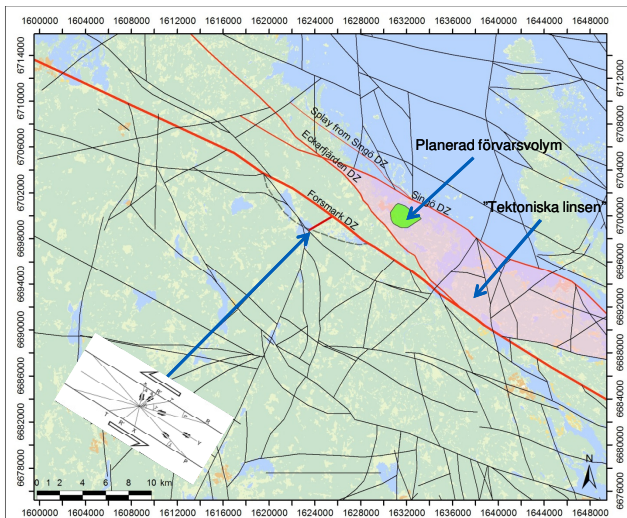
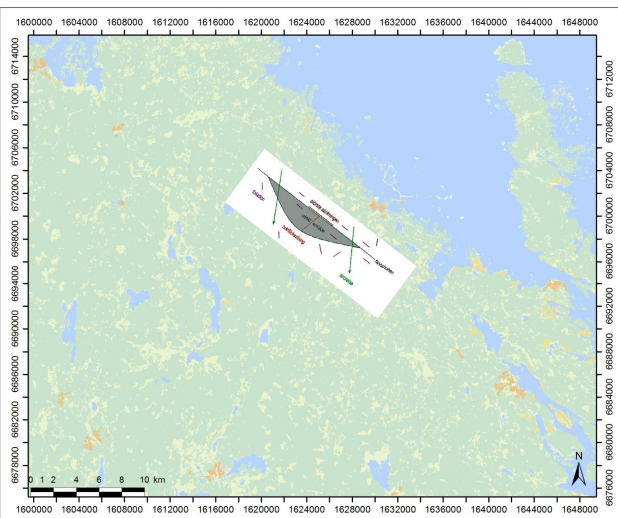
- Forsmarkszonen skär tvärs isälvsediment (t ex Börstilsåsen)
- Trots gynnsamma förhållanden kunde **inga** störningar (t ex flytbildning eller vattenavgång) påvisas i **något** av de grävda diken i Börstilsåsen
- Med ett fåtal förklarliga undantag har **inga** störningar kunnat kopplas till skalv i **något** av **samtliga** grävda diken i Uppland
- **Forsmarks deformationszon (DZ) har inte reaktiverats i postglacial tid**
- **Inget annat skalv av betydelse ($M > \approx 6$) har skett inom detta område i postglacial tid**



Lagerbäck R, Sundh M, Svedlund J-O, Johansson H, 2005. Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Forsmark region. Results from 2002-2004. Forsmark site investigation. SKB R-05-51, Svensk Kärnbränslehantering AB.

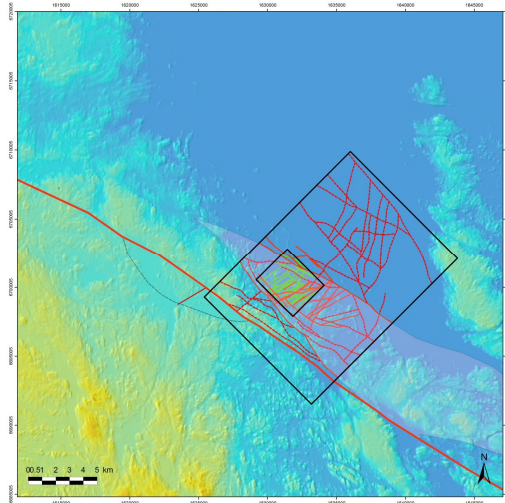
Lagerbäck R, Sundh M, 2008. Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden. Research Paper C 836. SGU - Sveriges Geologiska Undersökning.

Om själva sänkan (orienteringskartan igen)



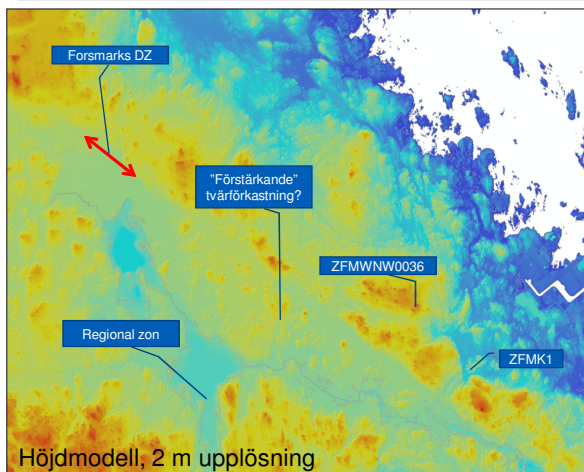
Data: Deformationszoner är utdrag från SGU:s berggrundskartor kombinerat med SKB:s platsbeskrivning av Forsmark

Relation till geologiska platsmodellen

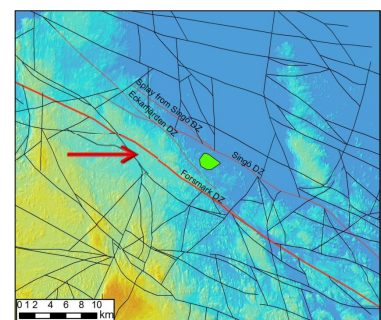


Data: LMV GSD-Höjddata, grid 50+

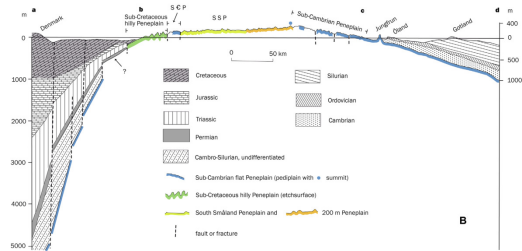
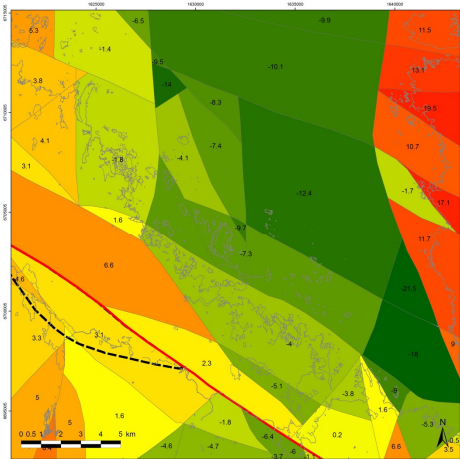
- Den regionala modellvolymens omfattning bedömdes säkerställa tillräcklig informationsmängd (och randvillkor) för säkerhetsanalysen
- "Sänkan" ligger delvis innanför modellområdet
- Den tolkade, relativt korta, "tvärförkastningen" går ej in i modellvolymen, utan trunkeas mot Forsmarks DZ
- Påverkan av en eventuell reaktivering av (den potentiella) tvärförkastningen hindras av Forsmarks DZ (bergmekaniskt)
- Om modellvolymen varit större hade fler zoner identifierats, möjligen även "tvärförkastningen"



- Det finns en sänka SV om Forsmarks DZ
- Inom denna sänka finns ytterligare sänkor
- Det finns ingen *uppenbar* "tvärförkastning" i höjddata men en sådan kan inte uteslutas
- Det går inte att med befintligt material avgöra om sänkan är en skjuvlins
- Det finns ingen *uppenbar* koppling till förvarslinsen
- Det finns ingen *uppenbar* koppling till säkerhet efter förslutning



Alternativ förklaringsmodell



- Vertikala blockrörelser av det subkambriska peneplanet
- Isostatisk respons av sedimentation, erosion, glaciation
- Höjdskillnaden identifierad redan under förstudierna
- Undersökningar med dInSAR (Differential Interferometric synthetic aperture radar) påvisade inga pågående vertikala rörelser
- Ingen pågående seismicitet
- Branten existerade före den senaste istiden

Tirén S A, Beckholmen M, 1992. Rock block map analysis of southern Sweden. In: Geologiska Föreningen i Stockholms Förhandlingar (GFF), Volume 114, p. 253-269

Lidmar-Bergström K, 1996. Long term morphotectonic evolution in Sweden. Geomorphology. Volume 16, issue 1, p. 33739-3559

Lidmar-Bergström K, Olvmo M, Bonow J M, 2017. The South Swedish Dome; a key structure for identification of peneplains and conclusions on Phanerozoic tectonics of an ancient shield. GFF, p. 1-16. doi:10.1080/11035897.2017.1364293

Bergman T, Johansson R, Linden A H, Rudmark L, Stephens M, Isaksson H, Lindroos H, 1999. Förstudie Tierp. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB R-99-53, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Slutförvarets utformning är anpassad för jordskalv

- Kapslar är placerade bortom influensvolymen (ca 600 m) av de stora zonerna Singö-, Forsmark- och Eckarfjärden DZ. → Försumbar effekt på kapslar "oavsett" skalv (M7.5).
- Respektavstånd till zoner som kan hysa M5 och kraftigare skalv.
- Överskott av positioner för att ta höjd för bortfall pga kritiska sprickor (starkt vattenförande/skjuvbenägna).
- Antagande: Samtliga zoner kan hysa det största skalvet som är kompatibelt med sin storlek.
- Förvarets utformning minimerar risken för kapselskador på grund av jordskalv.



Slutsats

- Forsmarks DZ har inte reaktiverats i postglacial tid
- Sänkan är inte någon uppenbar skjuvlins eller effekt av skjuvning längs Forsmarks DZ – det finns enklare, alternativa, förklaringsmodeller
- Tvärförkastningen kan inte bekräftas (med tillgängligt material)
- Prof Henkels argumentation påverkar inte SKB:s bedömning om säkerhet efter förslutning
- SKB har för övrigt utformat förvaret för att undvika kapselskador som följd av skalv