

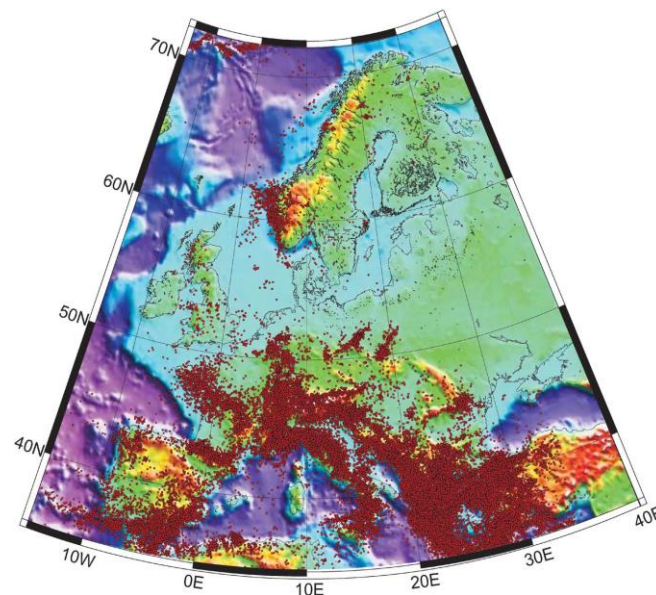
SEISMOLOGIE A SEISMOTEKTONIKA

část 11.: Přirozená seismicitá v regionu Evropy

Silná zemětřesení (s magnitudem 5.5 a větším) známe zejména z prostoru jihovýchodní Evropy a východní části Středomoří.

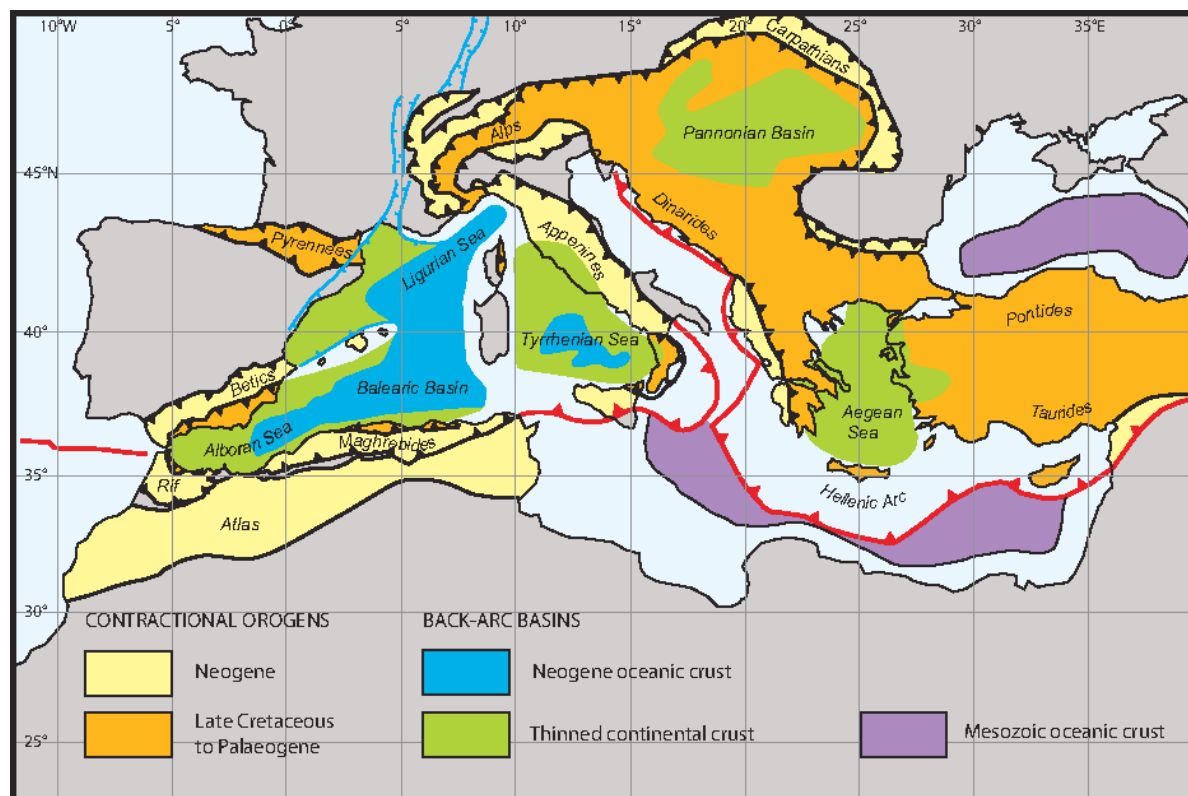


silná zemětřesení (Blumetti et al. 2017)



zemětřesení v databázi NEIC (podle Cloetingh et al. 2015)

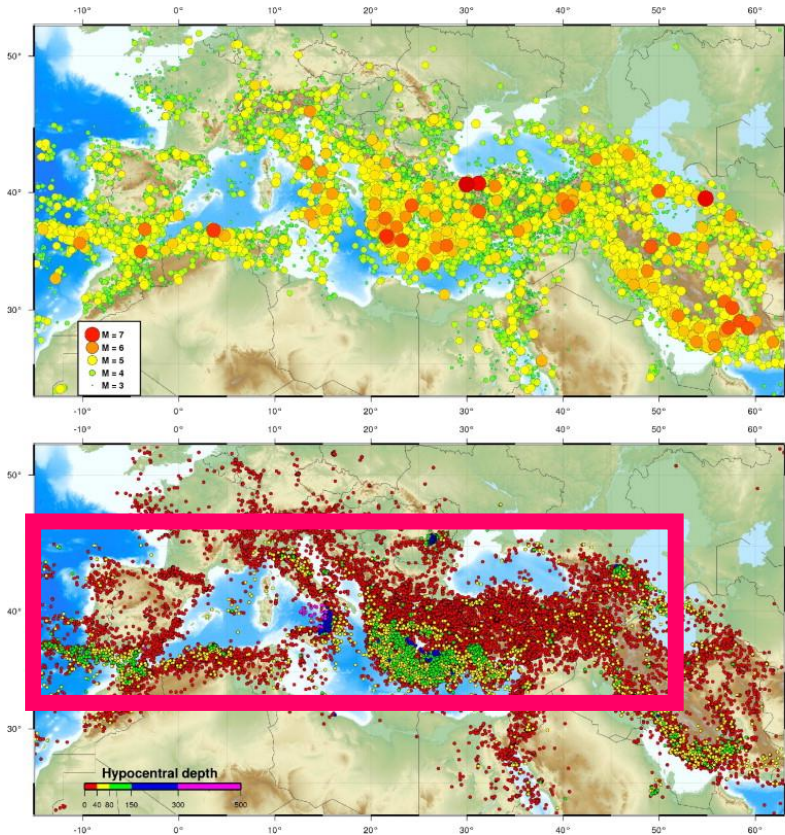
Středozevní oblast je kolizní zónou mezi eurasijskou a africkou deskou – v střední a východní části stále probíhá aktivní subdukce, v západní části je vyvinuta oceánská kůra neogenních zaobloukových pánví.



Tektonické schéma Středozevní oblasti (Platt 2007)

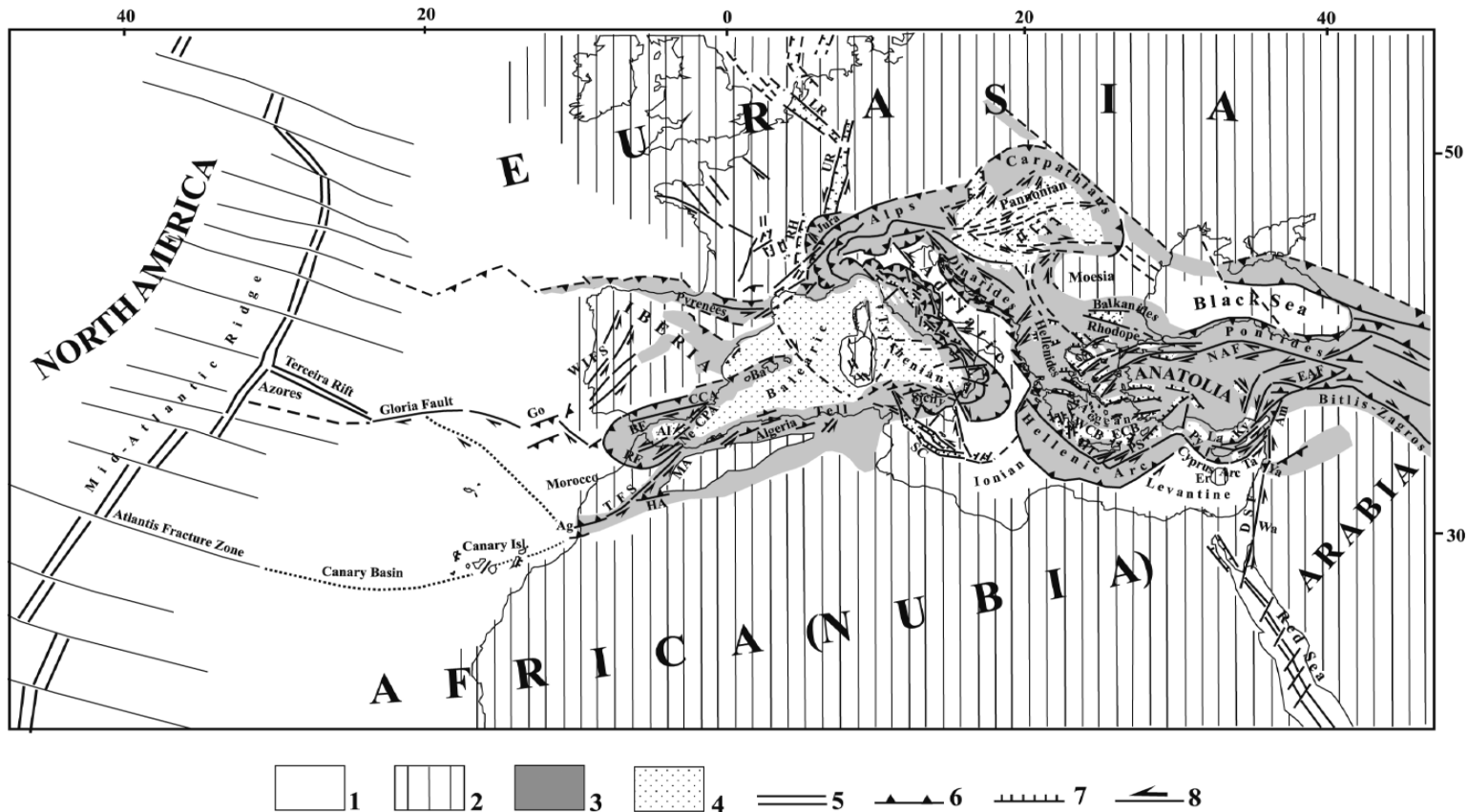
11.1: Přirozená seismicita v regionu Středomoří

Oblast Středomoří a jižní Evropy vykazuje znaky mezideskové seismické aktivity. Zvláště významně se projevuje seismická aktivita ve východní části Středozevní oblasti.



11.1.a: západní část Středozemního moře

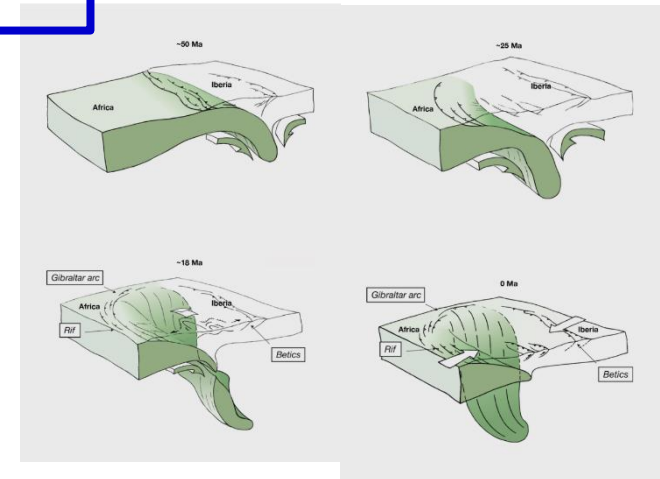
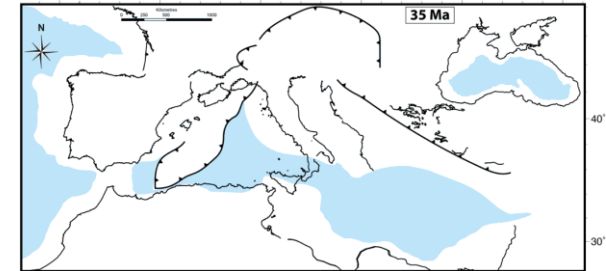
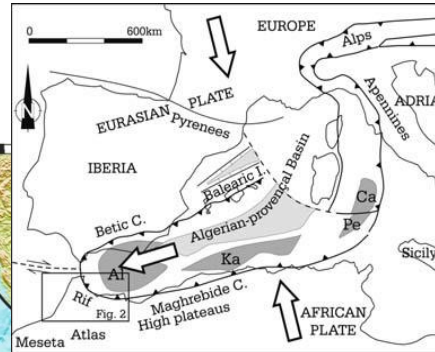
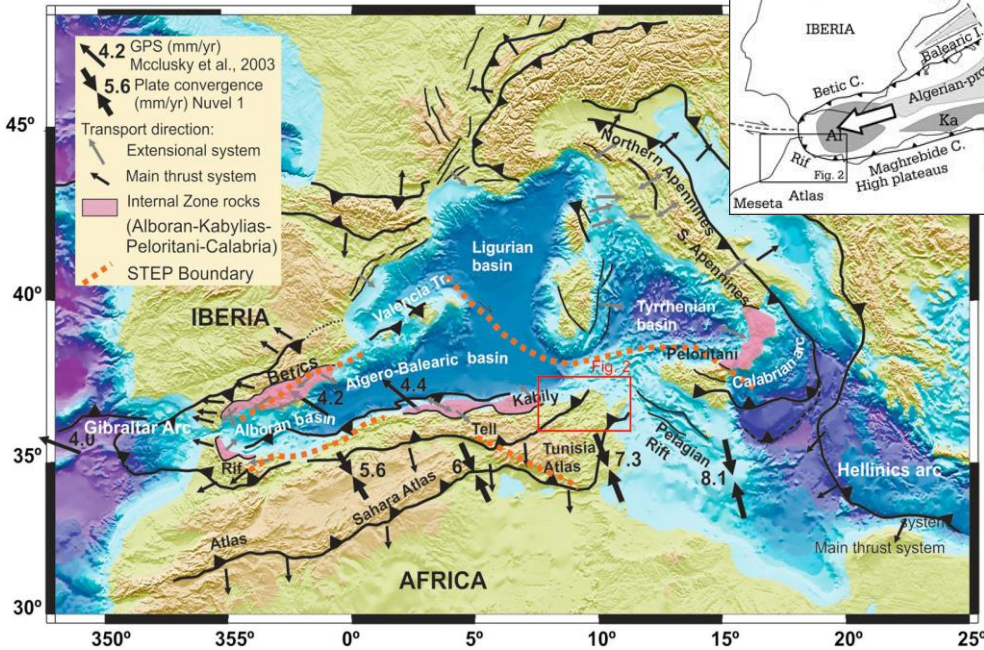
Region Středomoří je složitou kolizní zónou mezi eurasijskou a africkou deskou, přičemž vzájemný pohyb těchto desek má v různých místech deskového rozhraní různý charakter (nejen konvergentní).



Tektonické schéma kontaktu eurasijské a africké desky (Mantovani et al. 2007)

Tektonika západní části Středomoří je komplikována v důsledku vmístění zaobloukových pánví do prostoru mezi africkou a iberskou deskou.

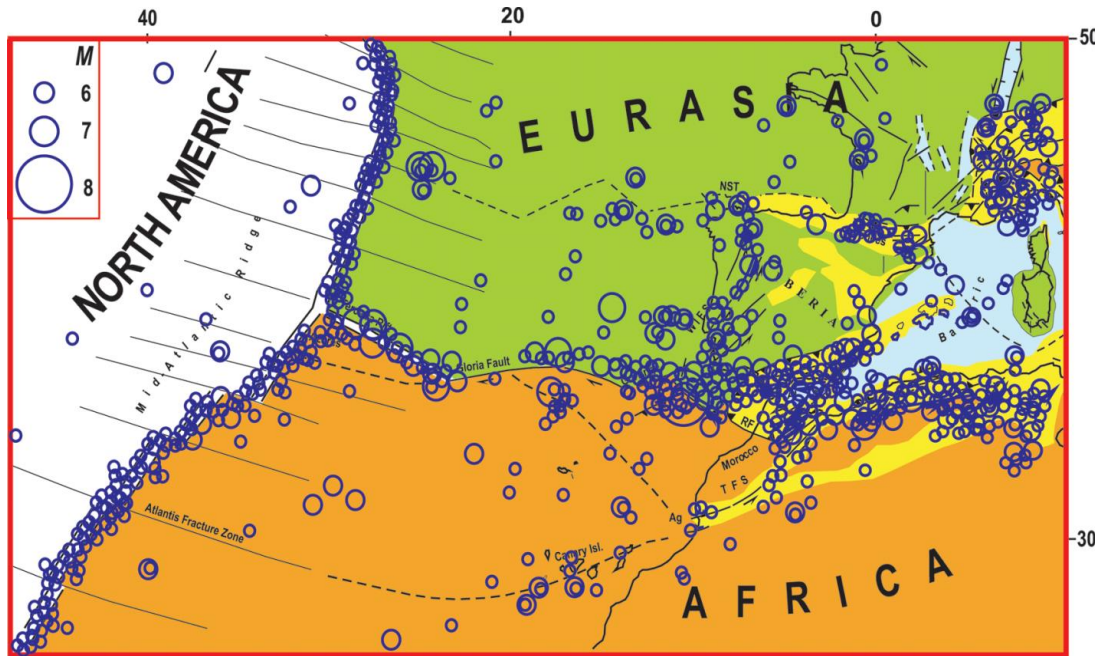
(Chalouan et al. 2006)



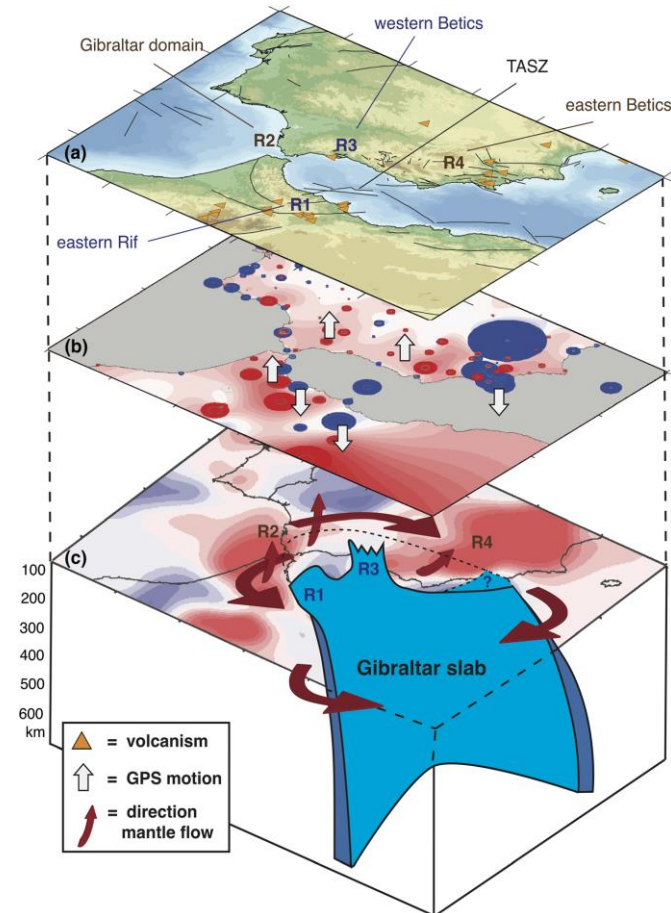
Tektonické schéma západní části Středomořího moře (Booth-Rea et al. 2018)

Vývoj Gibraltarského oblouku podle Joliveta

V Atlantické oblasti se pak nachází vedle konvergentních struktur také divergentní (riftové) struktury a transformní zlomy. V prostoru Kanárských ostrovů lze pozorovat difuzní seismicitu na kontaktu marocké a nubijské části africké desky.

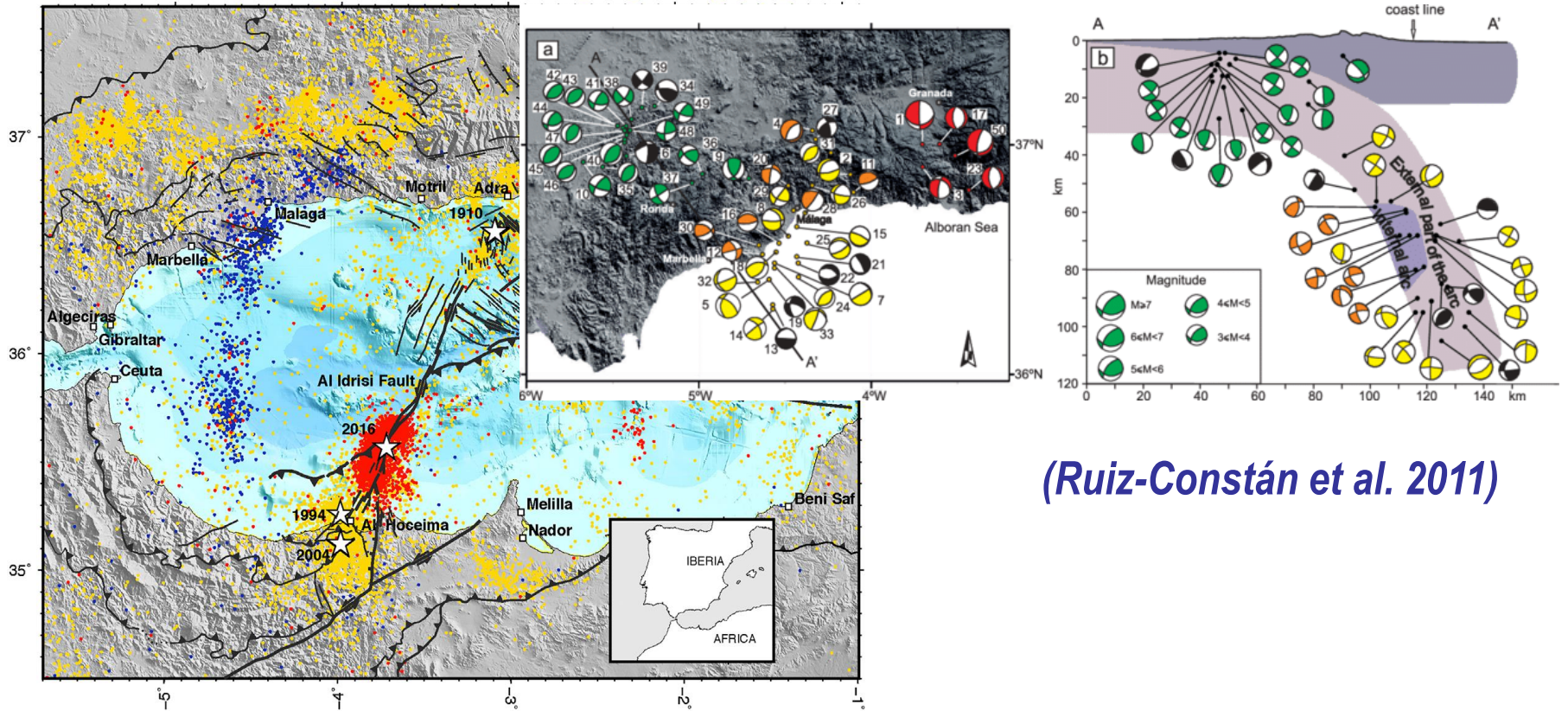


Seismicita západní části kontaktu eurasijské a africké desky (Mantovani et al. 2007)



(Civiero et al. 2020)

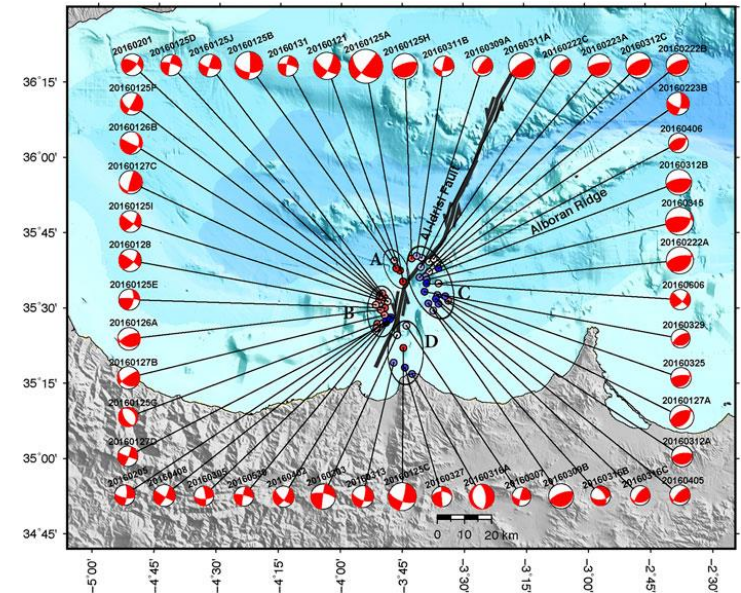
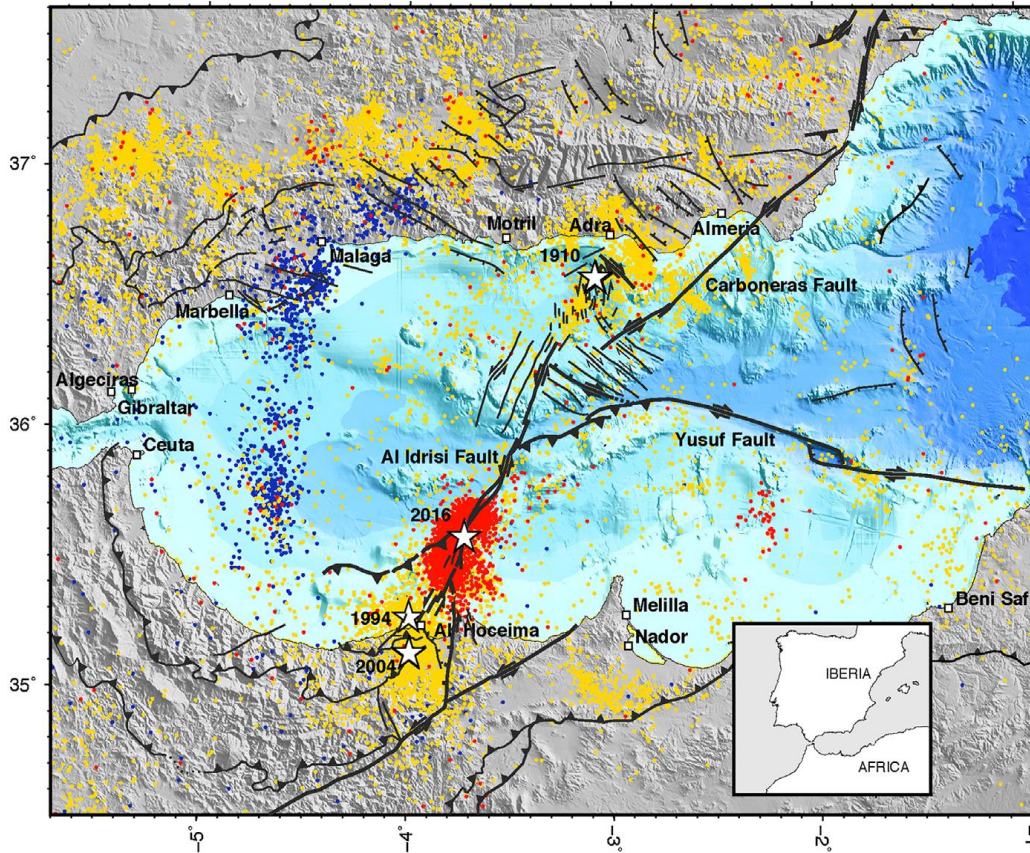
Hluboká zemětřesení se vyskytují v nejzápadnější části Alboranského moře a v prostoru jižního Španělska.



(Ruiz-Constán et al. 2011)

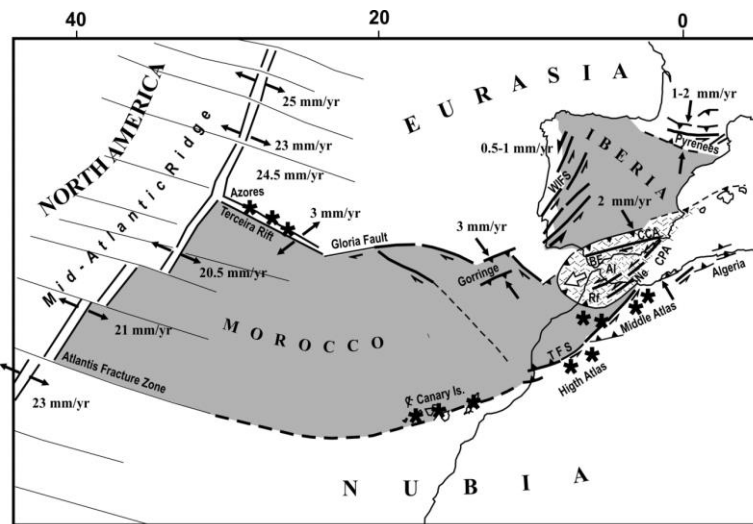
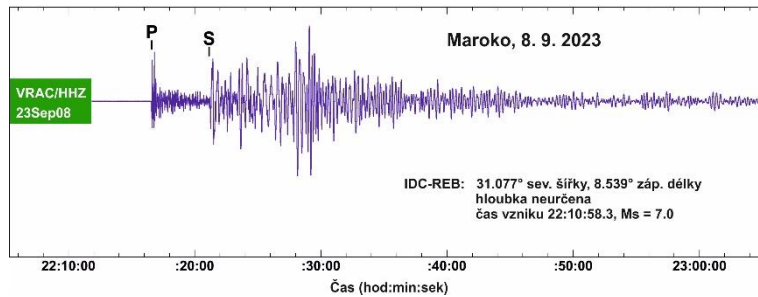
Seismicita Alboranského moře – modré tečky vyznačují hypocentra hlubší než 40 km (Stich et al. 2020)

Ničivé zemětřesení v Alboranském moři 25. 1. 2016 (Mw = 6.4).

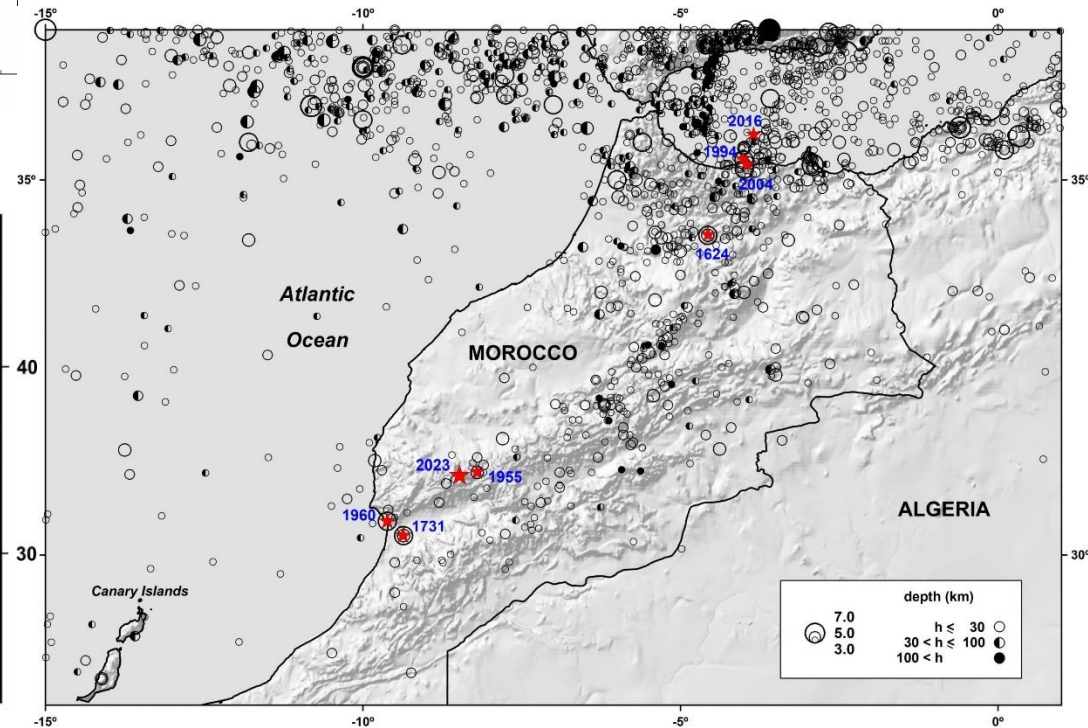


Seismicita Alboranského moře – modré tečky vyznačují hypocentra hlubší než 40 km (Stich et al. 2020)

Ničivé zemětřesení v Maroku 8. 9. 2023 ($M_s = 7.0$).



(Mantovani et al. 2007)



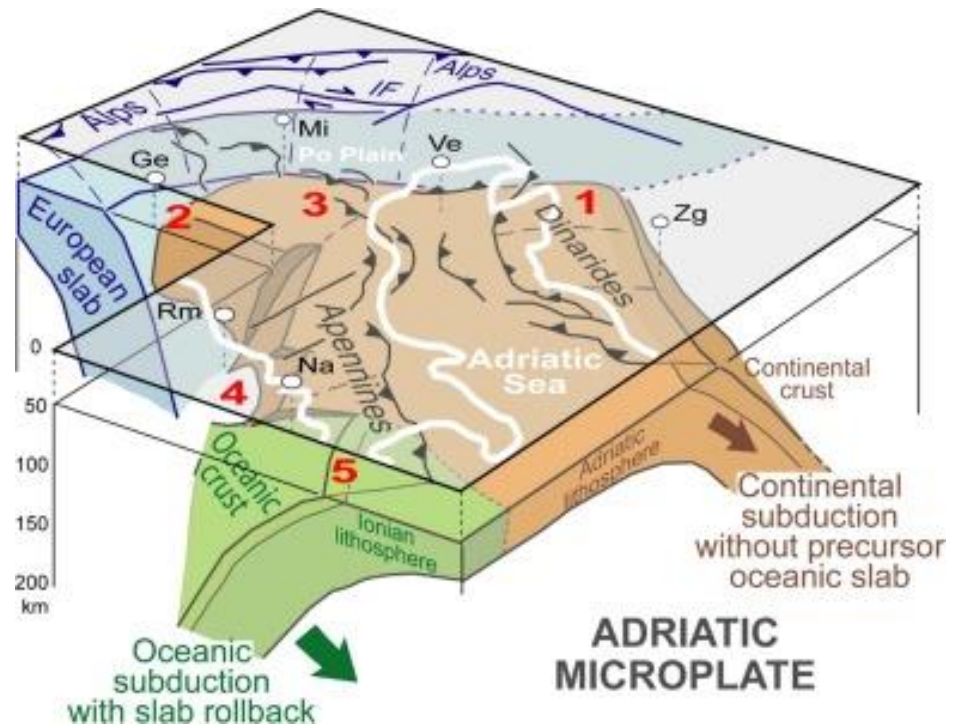
Seismicita Maroka (Peláez 2023, Temblor)

11.1.b: centrální část Středozemního moře a region Itálie a Jaderského moře

Nejmarkantnějším tektonickým prvkem v centrální části Středozeří je umístění adriatické mikrodesky a její sevření mezi Apeniny a Dinaridy.

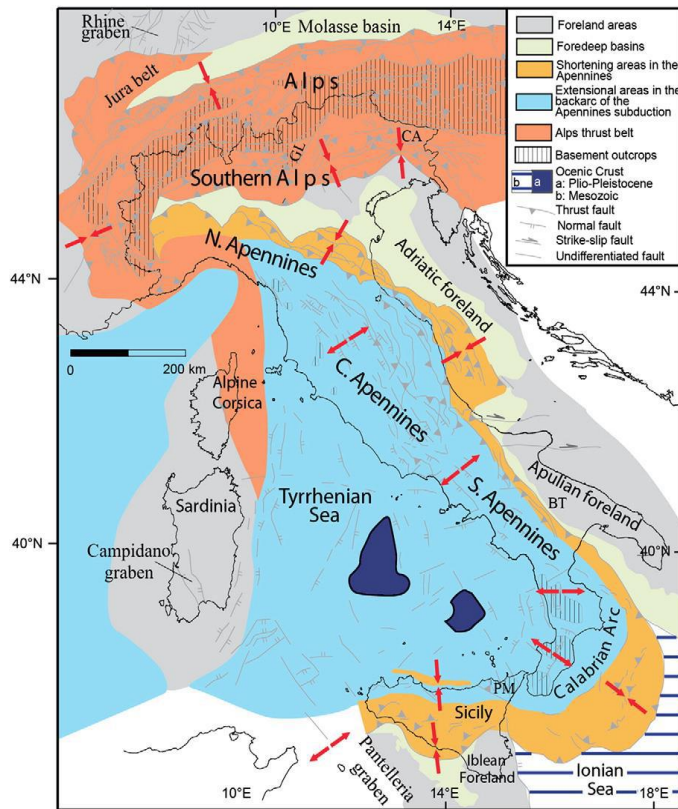


*Seismicita adriatické desky
(Weber et al. 2010)*

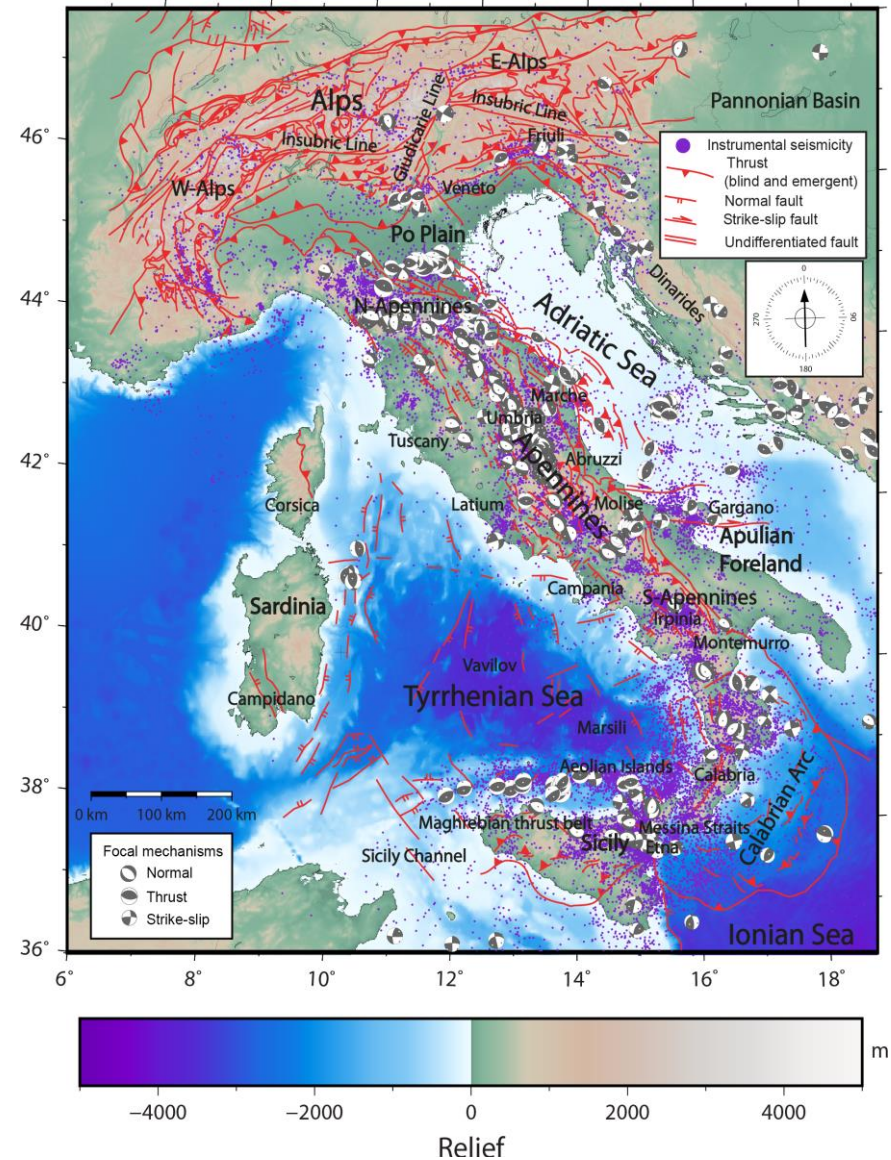


(Sun et al. 2019)

Recentní pohyby vedou ke kompresi v předpolí, ale k extenzi v centrální a západní části Apenin a v Tyrhénském moři.

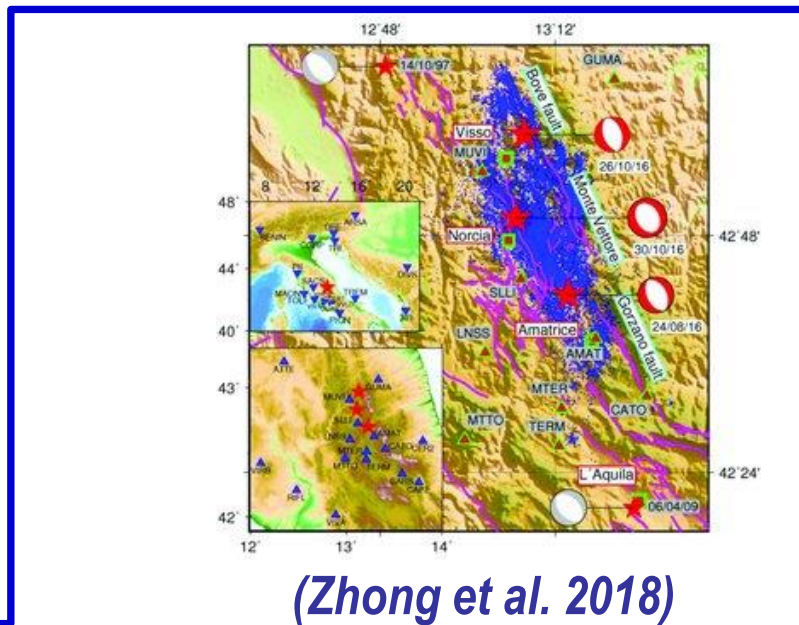
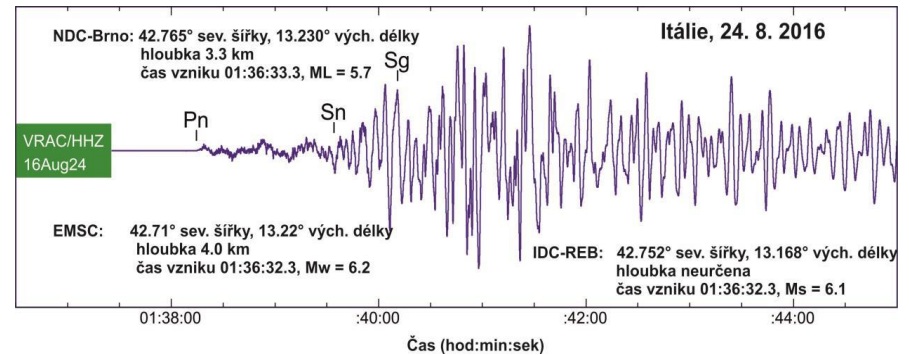
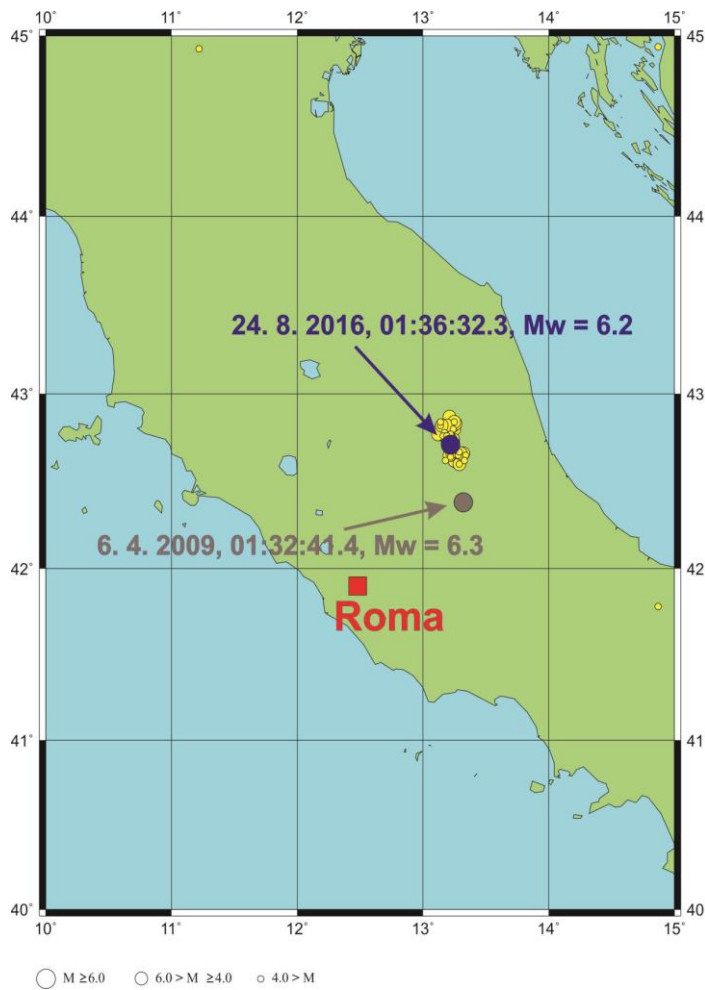


(Carminati – Doglioni 2012)

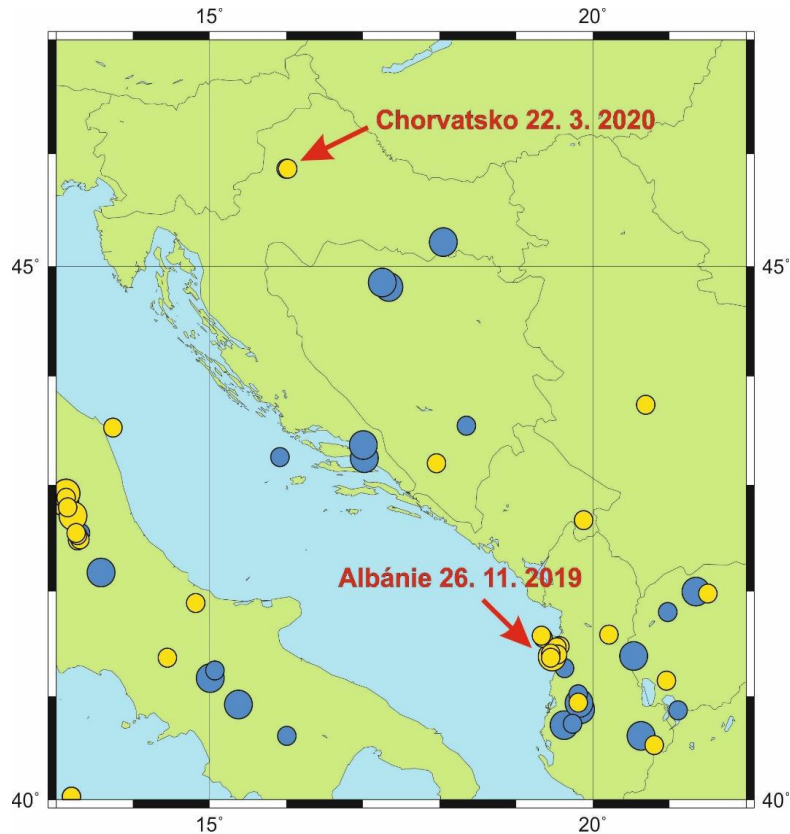


(Trippeta et al. 2019)

Seismicita se vyznačuje občasným výskytem ničivých zemětřesení s magnitudem vyšším než 6.

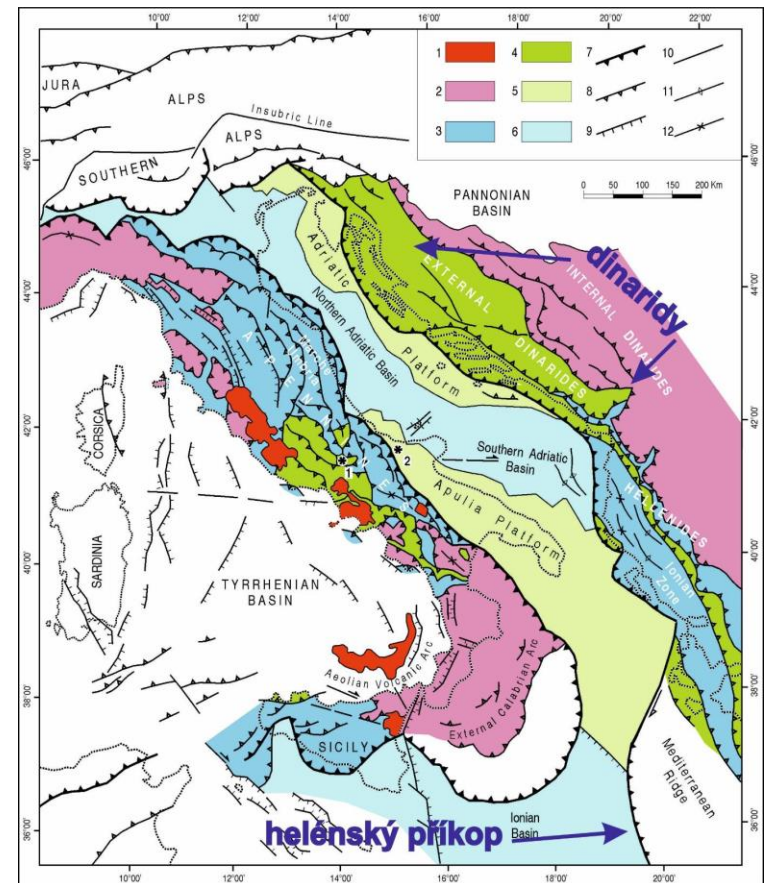


Seismická aktivita se projevuje nejen na Apeninském poloostrově, ale také v prostoru Dinarid.



○ M ≥ 6.0 ○ 6.0 > M ≥ 5.0

Zemětřesení z let 1904-2010 (modrá kolečka) a 2010-2020 (žlutá kolečka)

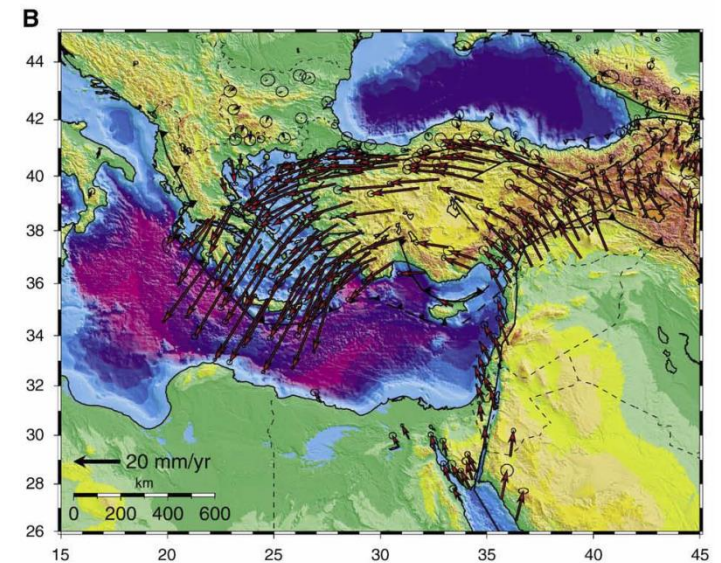
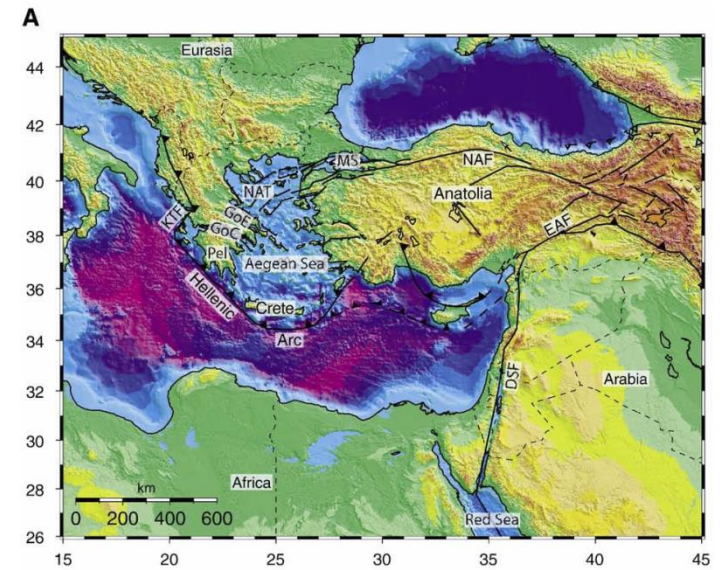
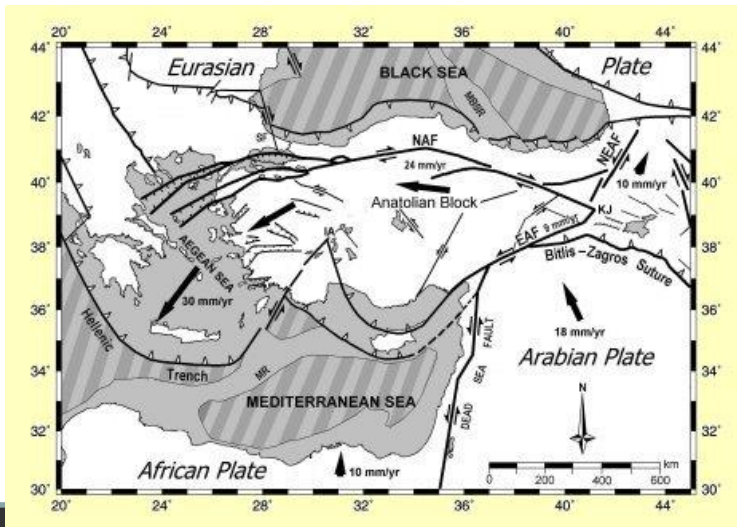


(Patacca - Scandone 2011)

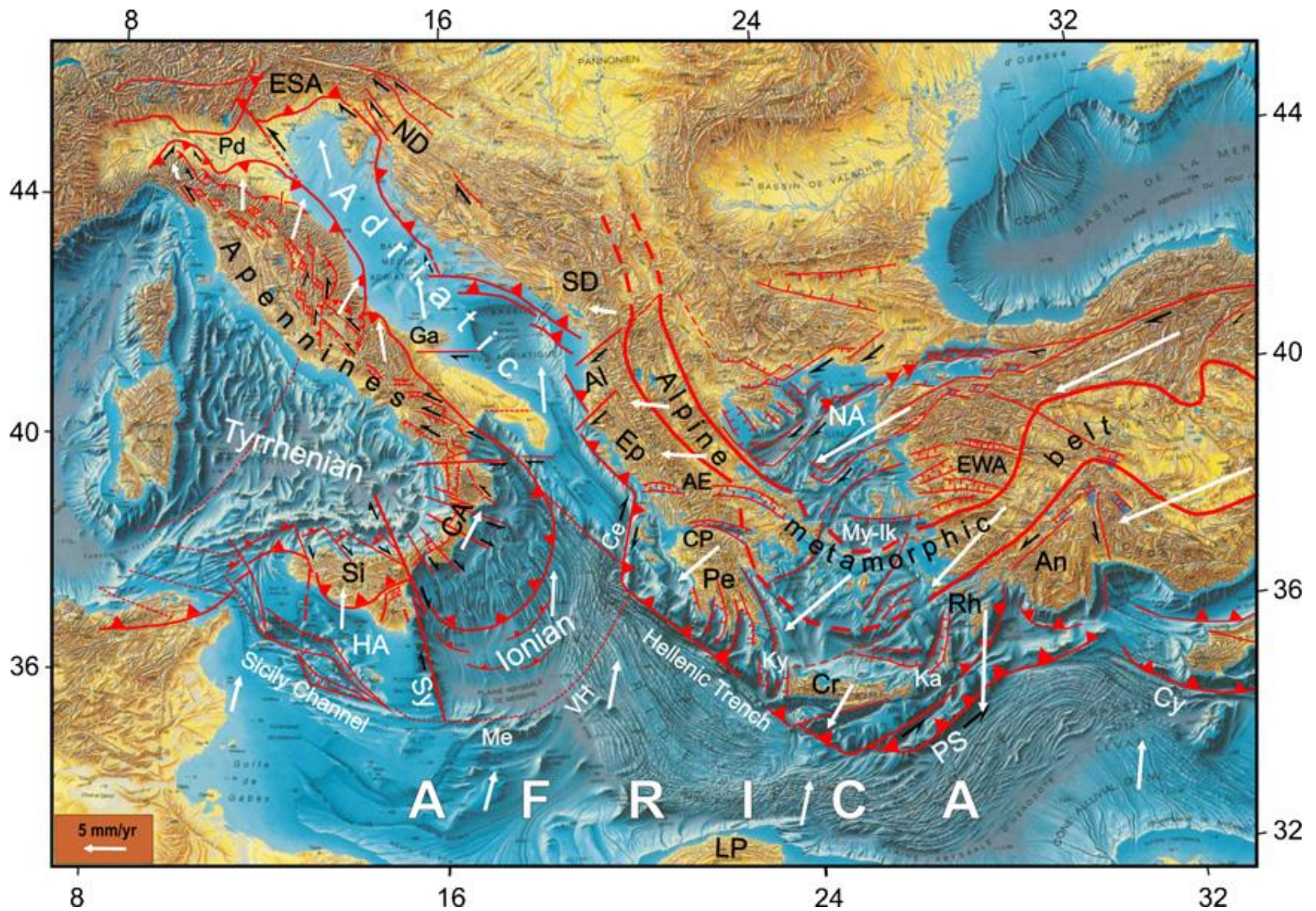
11.1.c: východní část Středozemního moře

K nejvýznamnějším strukturám patří subdukční zóny jižně od Řecka a Turecka a střižná zóna v severním Turecku (severoanatolský zlom).

Zmíněné struktury lemují tzv. anatolský blok, který vytváří rotační pohyb, při kterém se pohybuje podél severoanatolského zlomu k západu a nasouvá se podél helénského příkopu k jihozápadu.

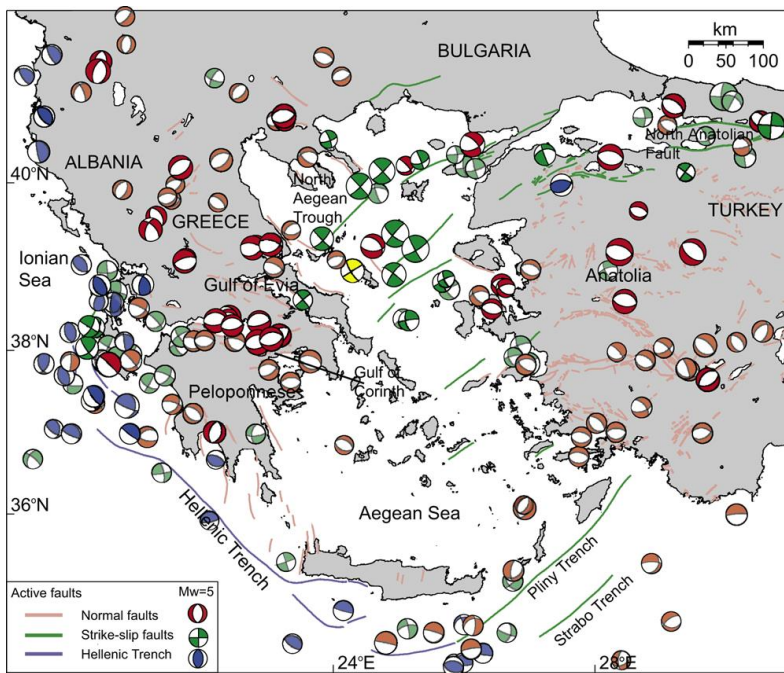


(Reilinger et al. 2009)

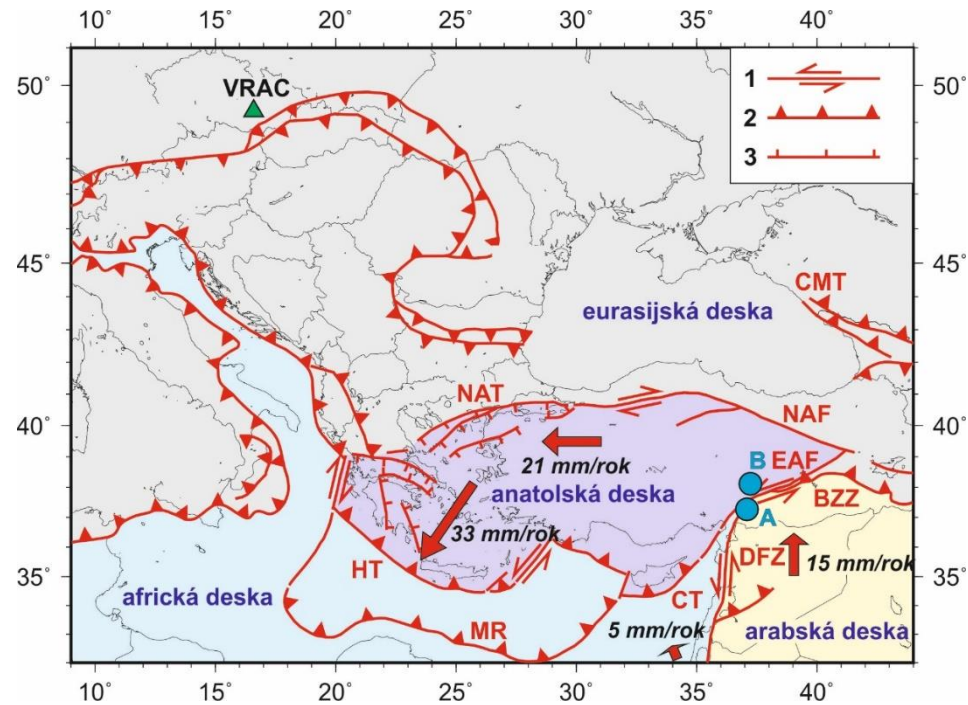


(Viti et al. 2010)

Rychlost pohybu dosahuje hodnot 20-30 mm/rok. Charakter deskového rozhraní je na různých okrajích odlišný.

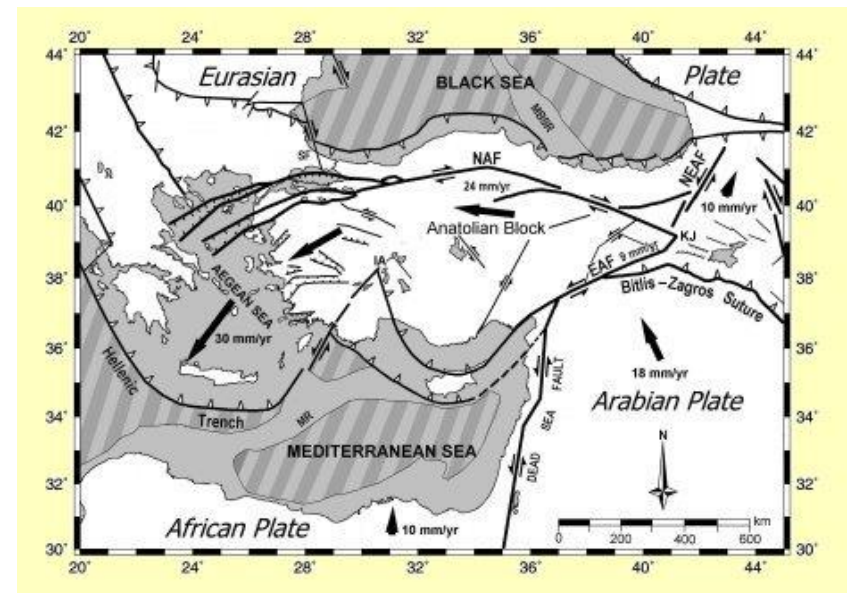
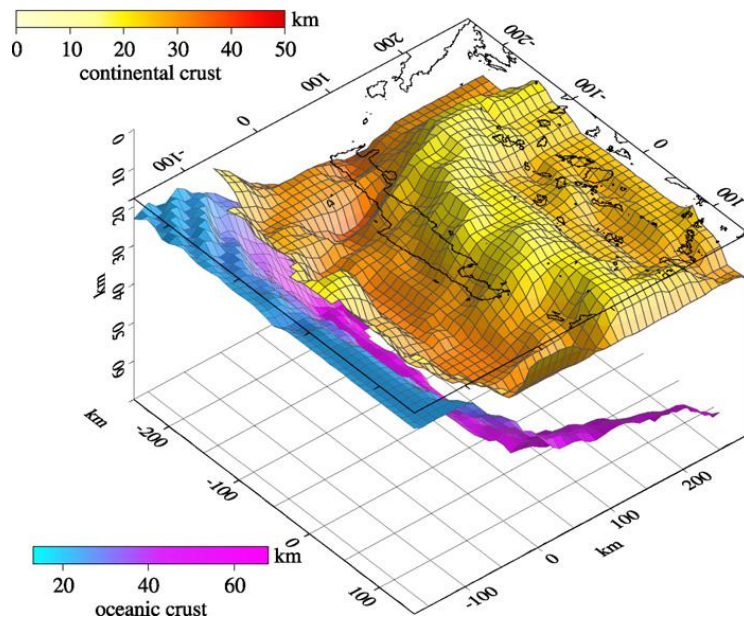


(Nyst-Thatcher 2004)



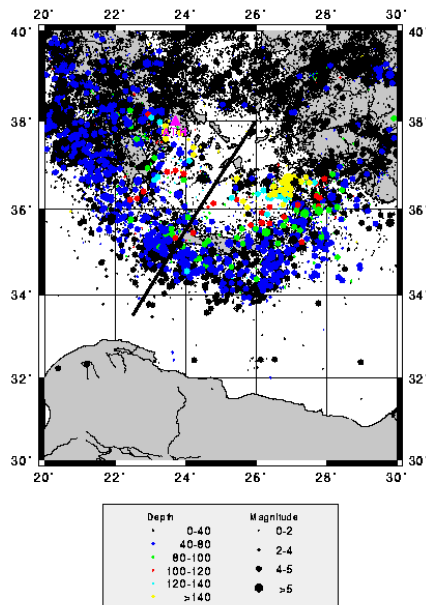
Podél helénského oblouku (Hellenic subduction zone) dochází k podsouvání severního okraje africké desky pod anatolskou mikrodesku.

Severní okraj africké desky zanořující se do subdukční zóny má charakter oceánské kůry.

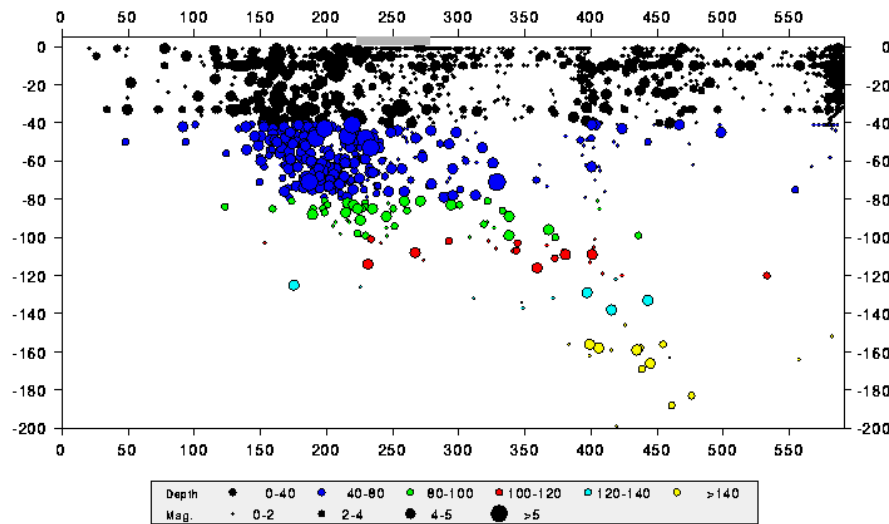


Model subdukce v helénském příkopu (Snopek et al. 2007)

Seismicita svým charakterem odpovídá seismicitě v subdukčních zónách. Hloubka ohnisek je až několik set kilometrů. Rozložení hypocenter ukazuje existenci Benioffovy zóny.



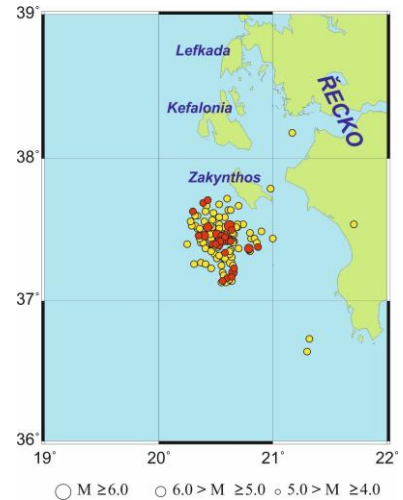
Hypocenters are from ISC bulletin 1970-1993.
Profile 1: (22.5E,33.5N) - (26.0E,38.0N).



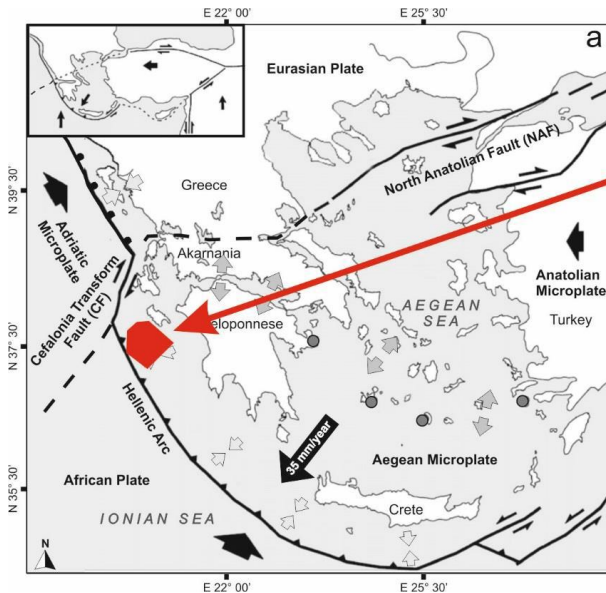
Hypocenters are from ISC for 1970-1993. Profile 1: (22.5E,33.5N) - (26.0E,38.0N). W = 200 km

Příklad významnější seismické aktivity z posledních let: zvýšená seismická aktivita v říjnu a listopadu 2018 v. od poloostrova Peloponés. Hlavní otřes: 25. 10. 2018, Mw = 6,8

Následovalo více než 900 dotřesů s $M \geq 3$

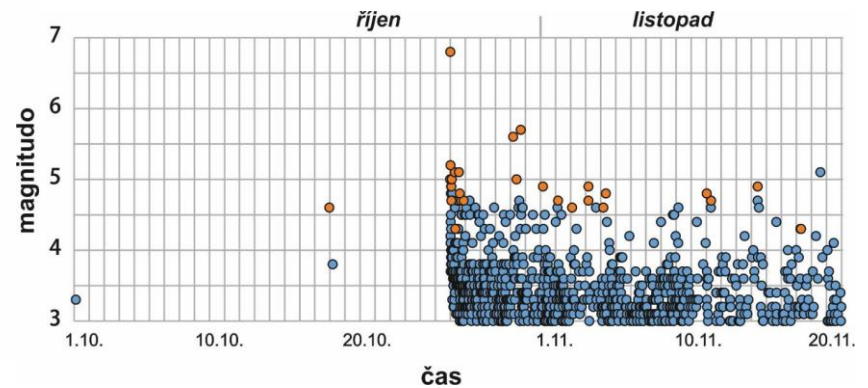


**epicentrální oblast
25.10.-20.11.2018**



- ◄◄ extension
- ◄◄ compression
- plate movement (rate)
- back arc volcanism
- ▬ subduction
- ▬ continent-continent collision
- ▬ transform fault
- ▬ local to regional fault zone
- ▬ graben structure

Based on: Clews 1989, Haslinger et al. 1999, McClusky et al. 2000, Doutsos & Kokkalas 2001. Cartography: M. May, A. Vött, 2006.

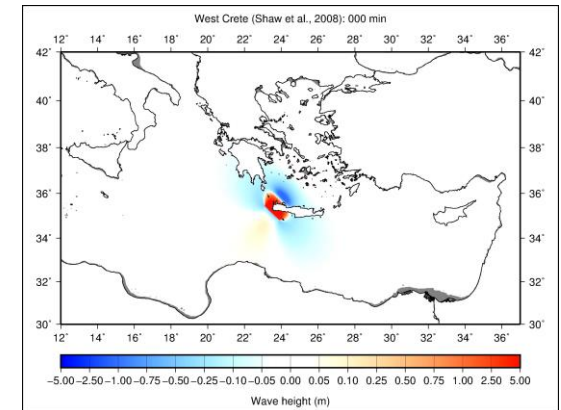


Nejsilnějším známým zemětřesením z prostoru helénského oblouku bylo zemětřesení z roku 365 (21. 7. 365), $M_w \sim 8,3 - 8,5$.

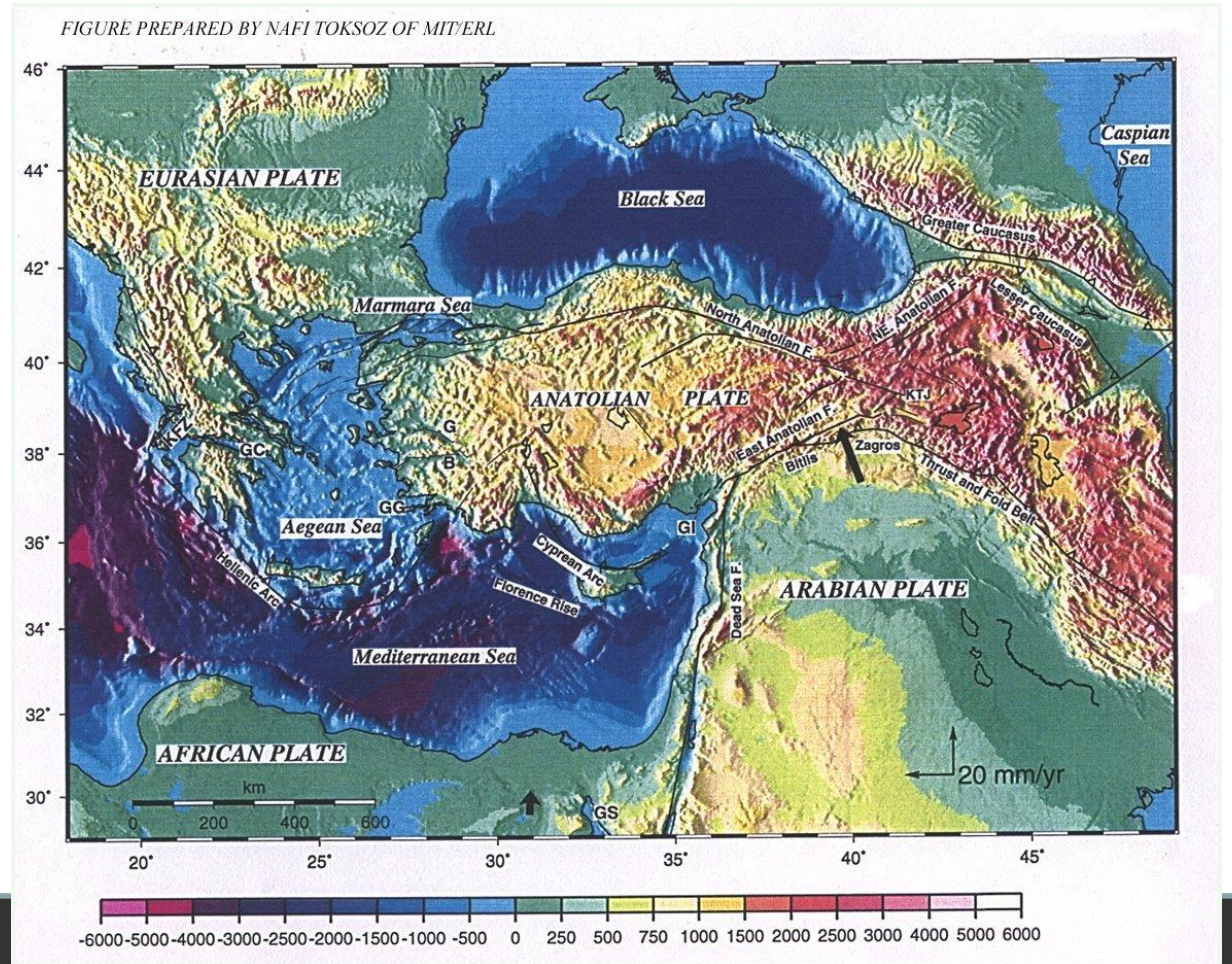


Výzdvih západní části Kréty při zemětřesení v roce 365 a modely geometrie zlomu spojeného s tímto výzdvihem (Stiros 2020).

Zemětřesení způsobilo mohutnou vlnu tsunami.



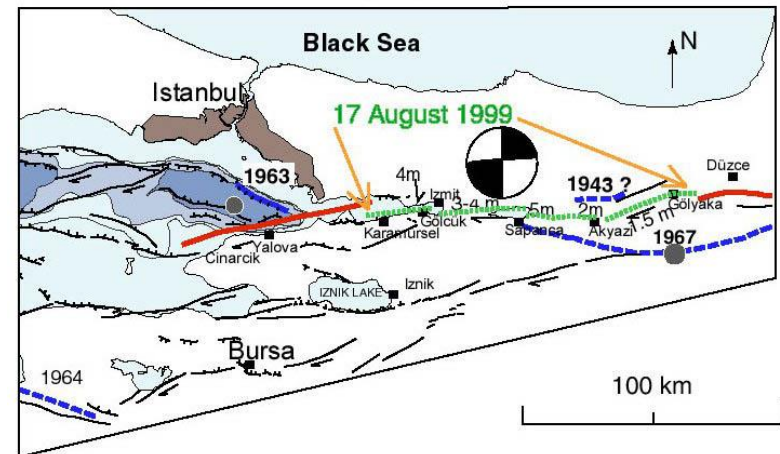
Severoanalský zlom je střížná zóna, podél níž je vysouvána anatolská mikrodeska k západu z prostoru mezi arabskou deskou a euroasijskou deskou.



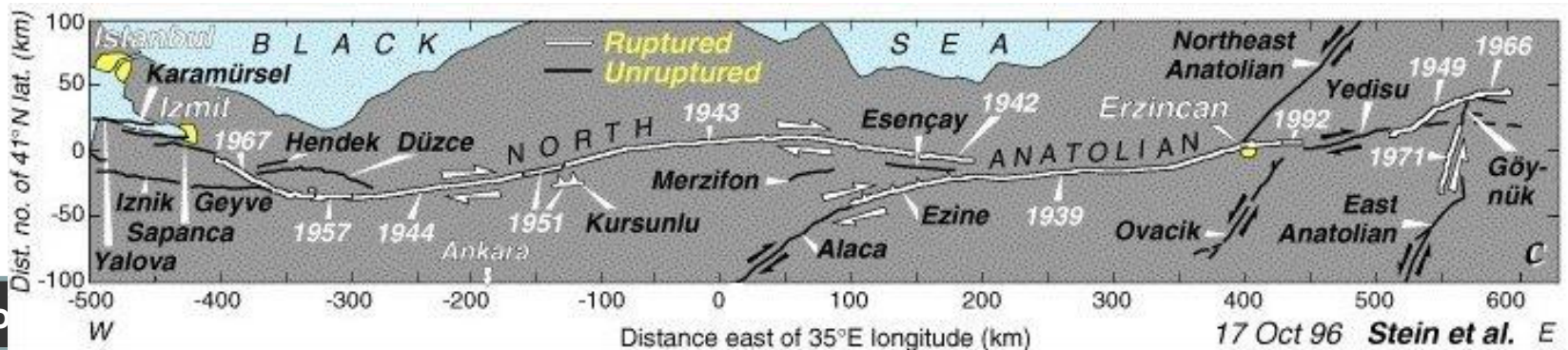
Severoanalský zlom má tak charakter pravostranné strižné zóny (či transformního zlomu).



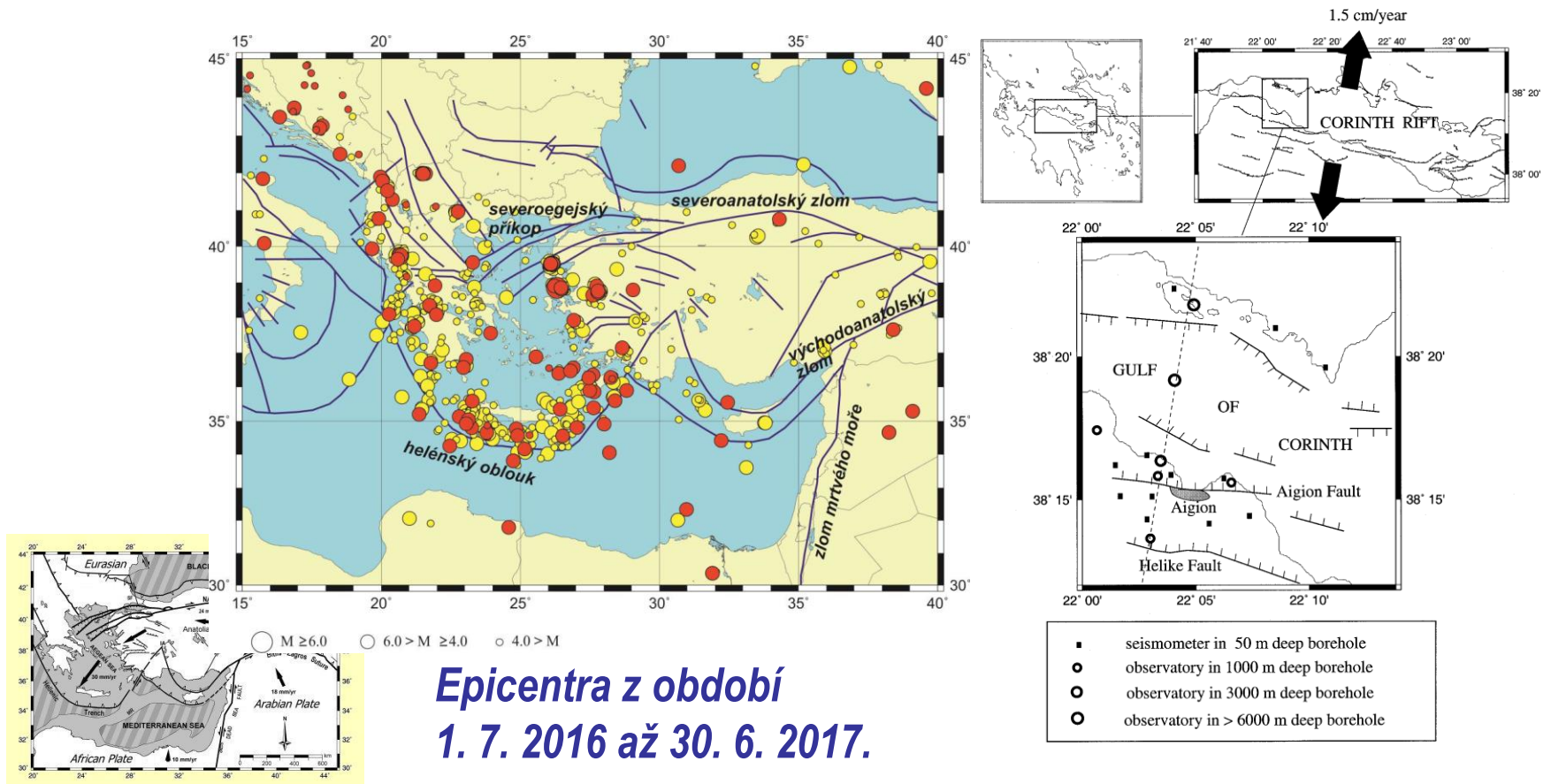
Barka et al., in prep.
Joint effort of 1999 rupture mapping
 Istanbul Technical University, A. Barka, S. Akyüz, E. Altunel, Z. Çakir, G. Sunal, A. Dikbas, M. Özkaya, B. Yerli
 US Geological Survey, T. Fumal, R. Langridge, H. Stenner, S. Christofferson
 Southern California EQ Center, T. Rockwell, J. Dolan, T. Dawson, R. Hartleb, A. Tucker
 Institute Physique de Globe, Paris, R. Armijo, B. Meyer, J. B. Chabalyer



Rupture segments (green lines) of the August 17, 1999 Izmit earthquake. This century earthquake ruptures are blue, red segments are holding highest risk to rupture following the August 17 1999 earthquake (see also Ambraseys and Finkel, 1991, Stein et al., 1997, Barka, 1997, Straub et al., 1997,).

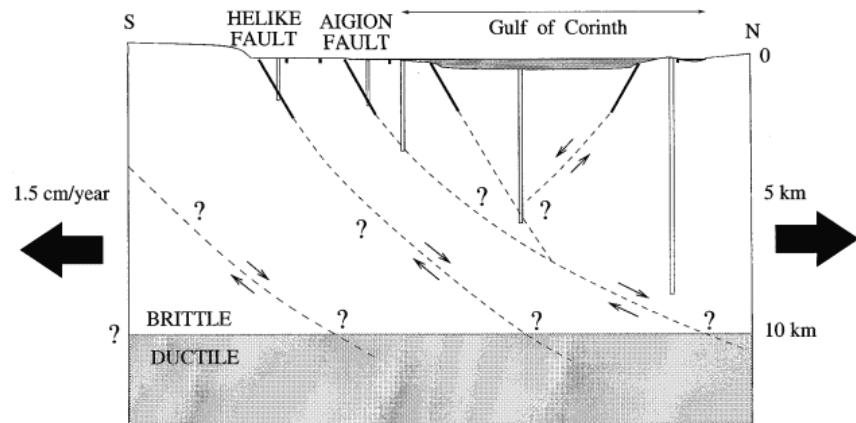
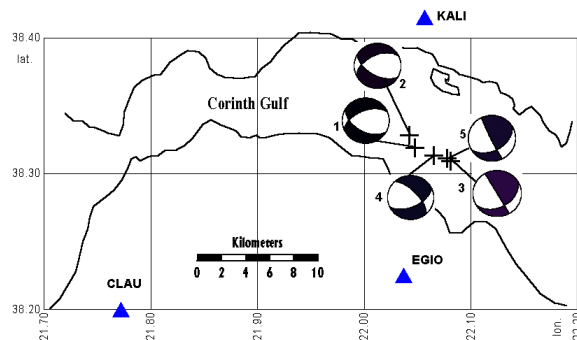
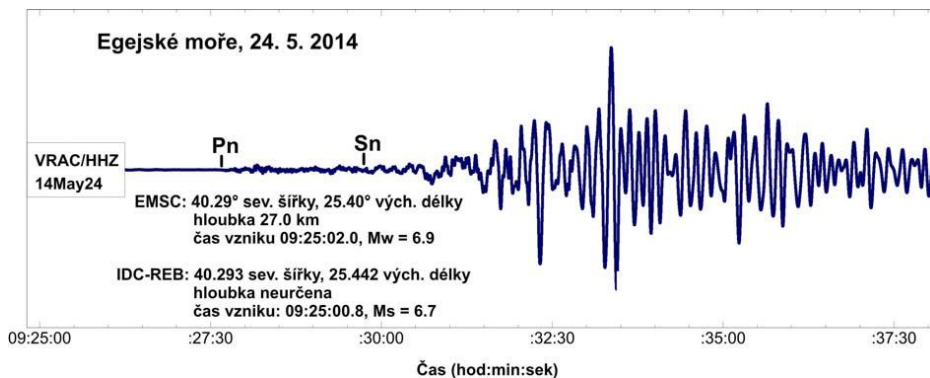


V oblasti Korintského zálivu a Egejského moře dochází naopak k extenzi, která je doprovázena relativně mělkými otřesy.



V této extenzní zóně převládají zemětřesení s poklesovou složkou zdrojového mechanismu, popřípadě horizontální posuny na strmých zlomech v pokračování severoanatolského zlomu.

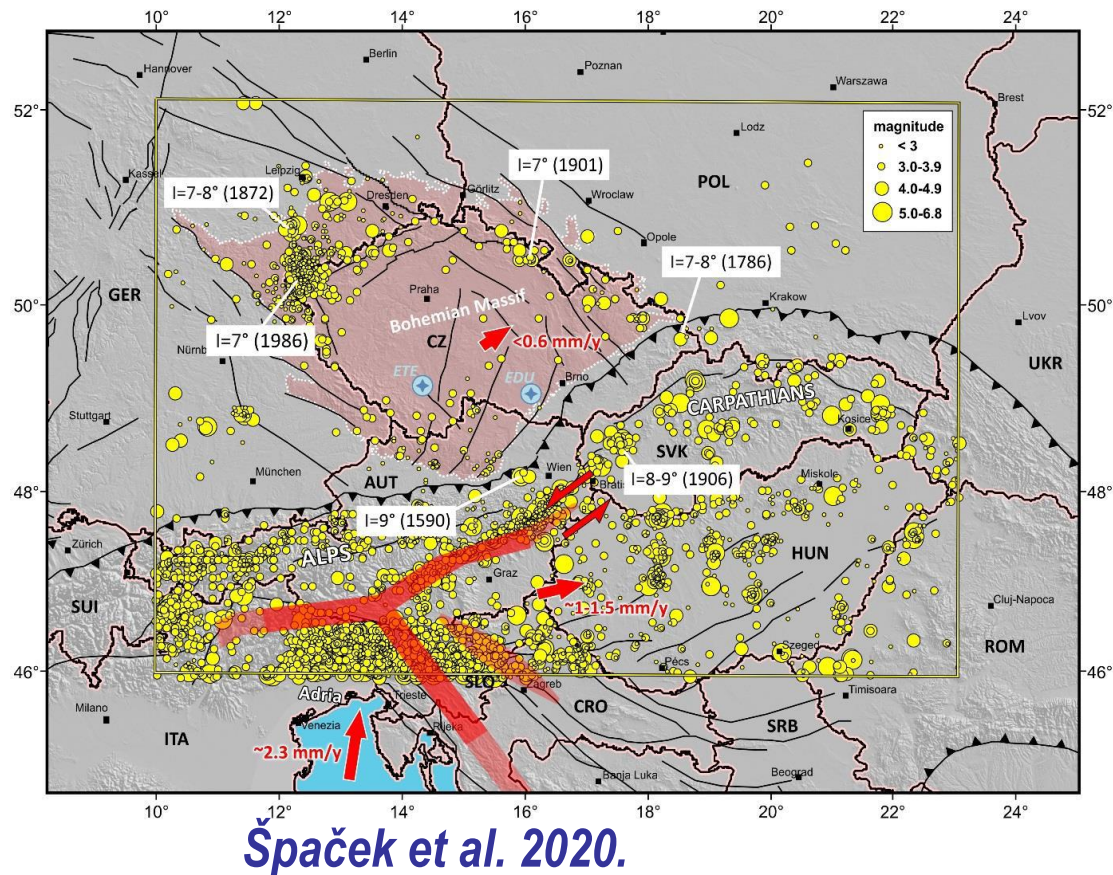
Zemětřesení spjaté s horizontálním posunem jz. od ostrova Sámothraké.



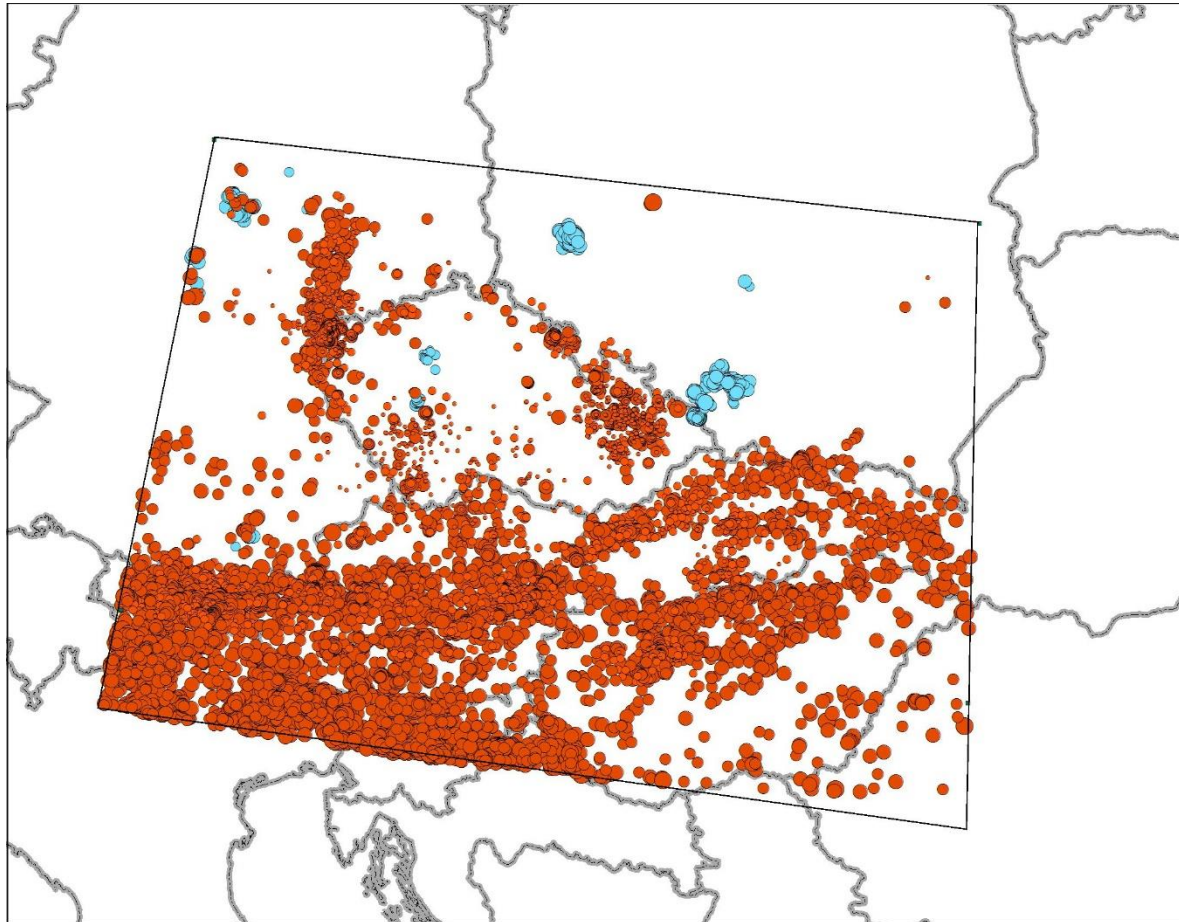
11.2: Přirozená seismicita alpinských jednotek střední Evropy

11.2.a: Přirozená seismicita na styku Východních Alp a Západních Karpat

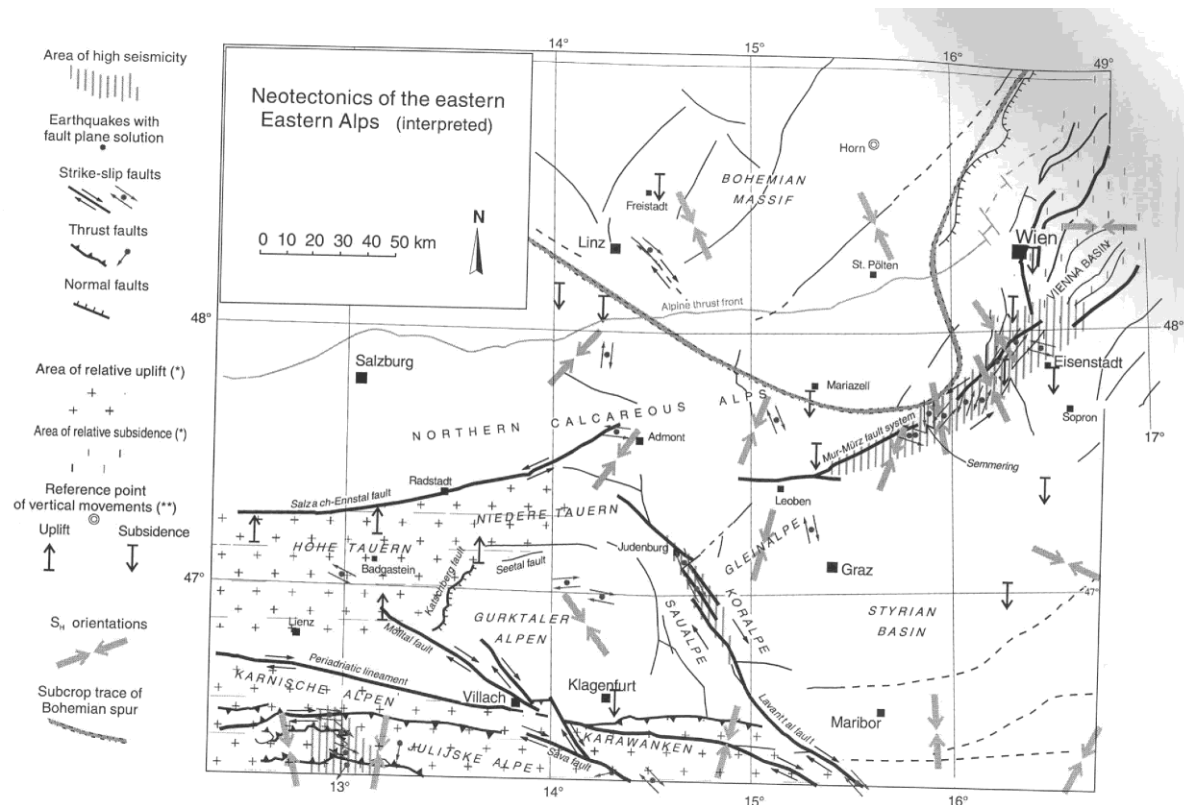
Na styku Východních Alp a Západních Karpat se projevují vnitrodeskové tektonické pohyby, vzájemné rychlosti pohybu významných tektonických bloků nepřesahují míru prvních milimetrů za rok.



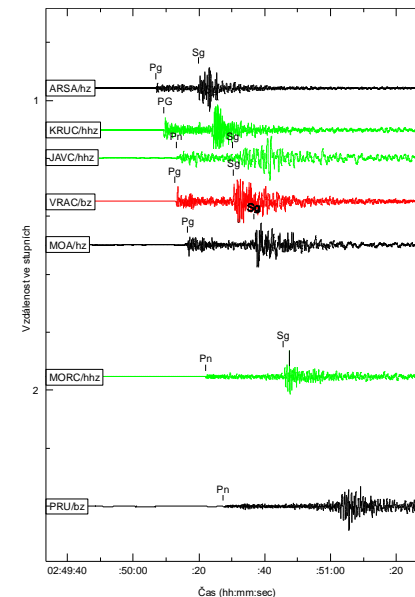
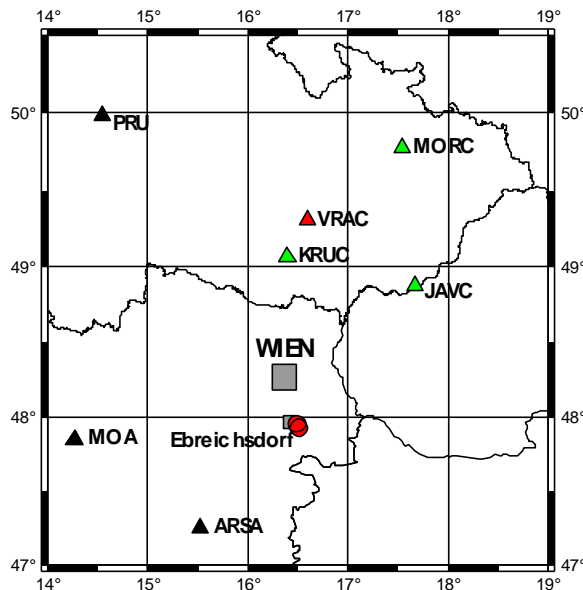
Na styku Východních Alp a Západních Karpat se velmi významně seismicky projevuje zóna probíhající z regionu Severních Vápencových Alp přes údolí řek Mur a Leitha do Západních Karpat.



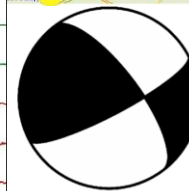
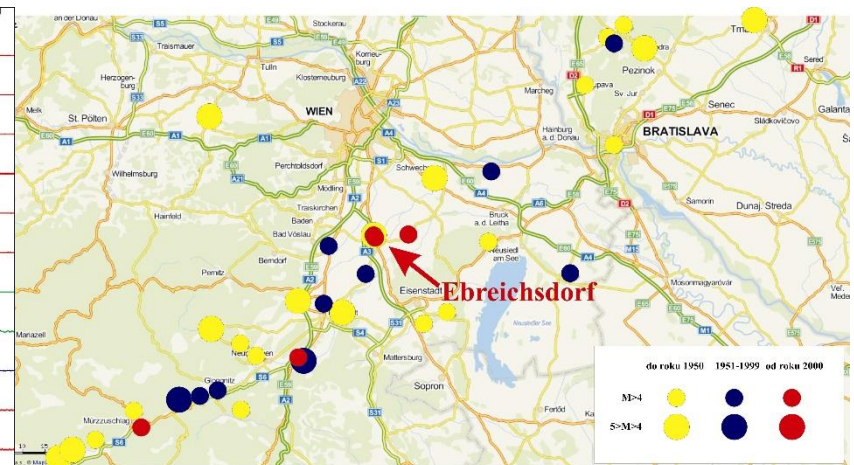
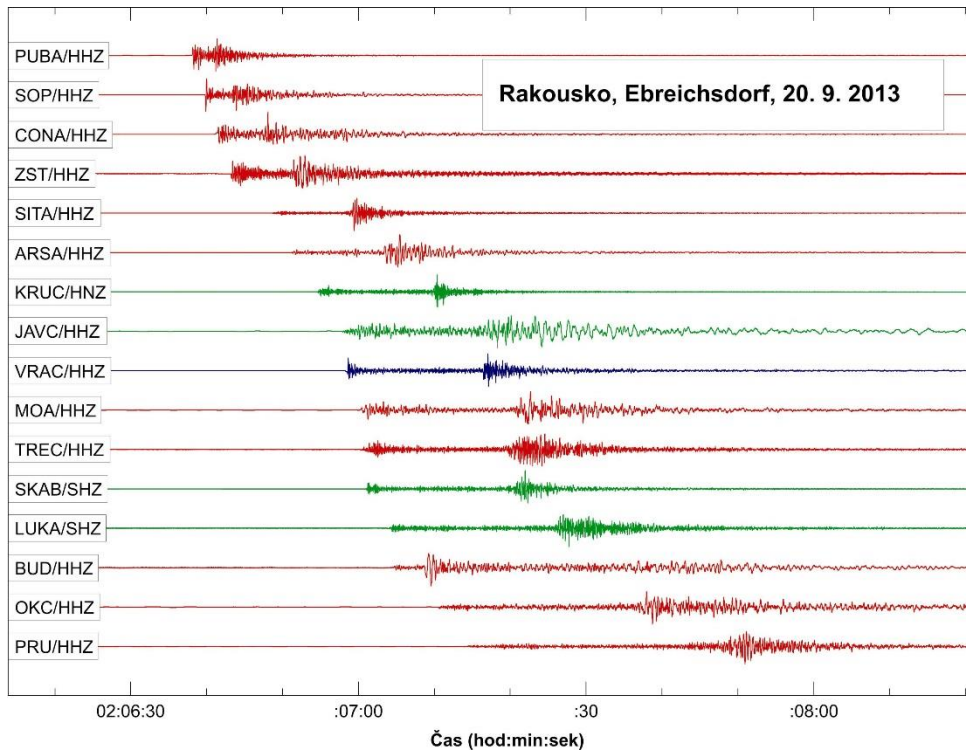
Aktivita této zóny klesá od JZ k SV. S aktivitou zmíněné zóny souvisí také známý silný otřes v regionu Villachu z roku 1348. Nejintenzivnější seismická aktivita je soustředěna do oblasti Semmeringu (jižně od Vídně).



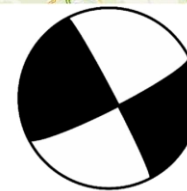
Silnější otřesy z regionu Východních Alp a Západních Karpat se makroseismicky projevují také na území Českého masivu. V roce 2000 se v průběhu seismického roje v Rakousku (Ebreichsdorf) vyskytly otřesy, které byly makroseismicky pozorovány také na území ČR. Lokální magnitudo nejsilnějšího otřesu (11. 7. 2000) mělo hodnotu 4.3.



Nověji byly makroseismické projevy pozorovány v roce 2013, opět byly spojeny se seismickým rojem u Ebreichsdorfu. Lokální magnitudo nejsilnějších otřesů mělo hodnotu 4.5 (20. 9. 2013) a 4.3 (2. 10. 2013).

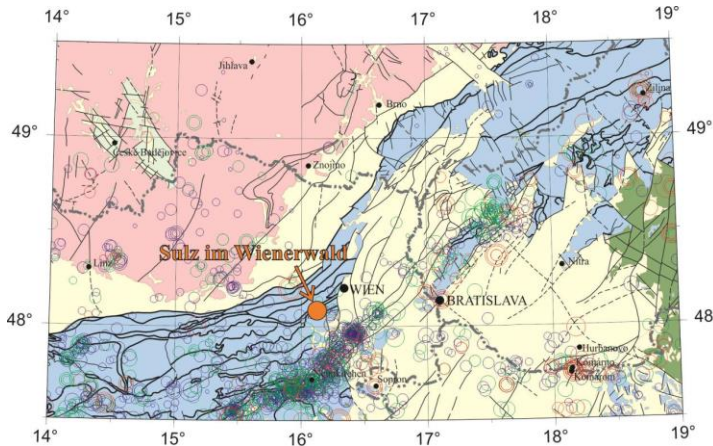
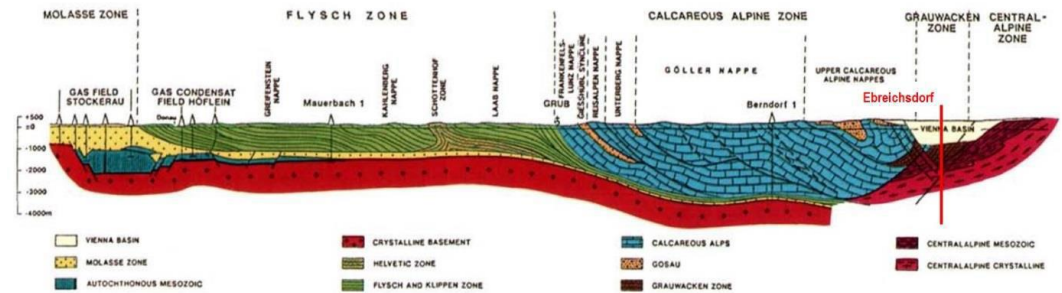


2013-1 MI 4.2
(ZAMG)

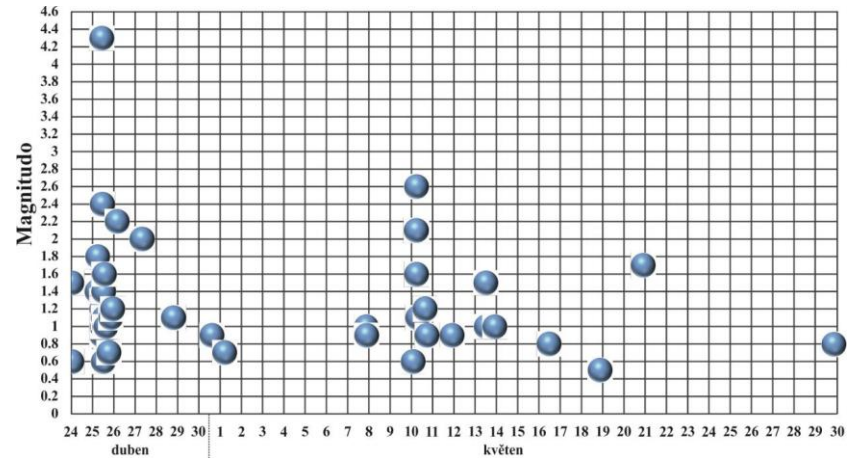
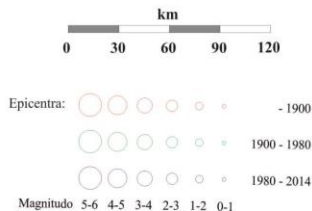


2013-2 MI 4.2
(ZAMG)

Makroseismické projevy byly pozorovány také u zemětřesení jz. od Vídně (mezi obcemi Sulz im Wienerwald a Alland, 25. 4. 2016, ML = 4,3).

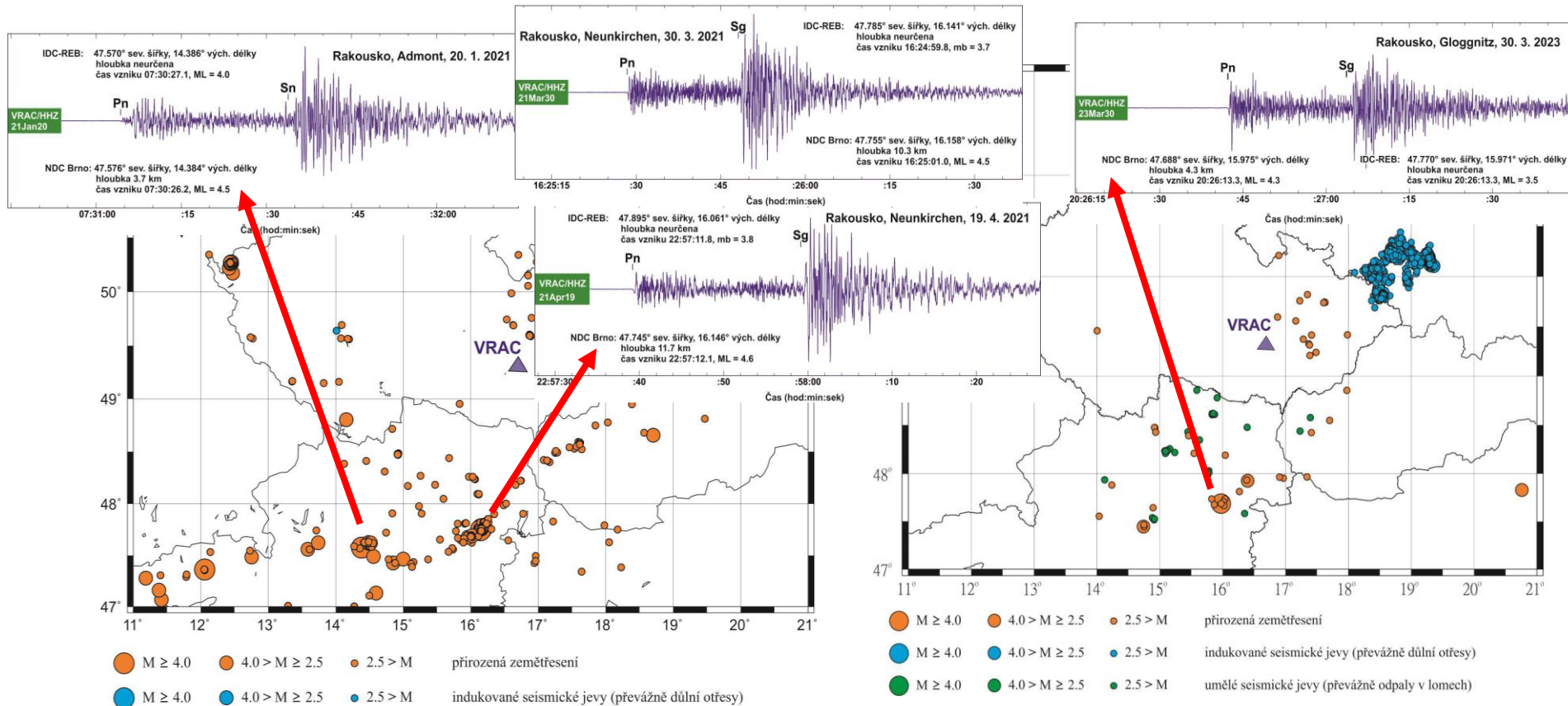


- Český masív včetně paleozoického sedimentárního pokryvu
- Východní Alpy a Západní Karpaty
- Mesozoický pokryv Českého masívu
- Kenozoický sedimentární pokryv Českého masívu a kenozoické sedimenty alpinské předhlubně, vídeňské pánve a dunajské pánve
- Kenozoické vulkanity
- Hlavní zlomy
- Čela příkrovů



Seismická aktivita u Allandu zaznamenaná stanicí VRAC v dubnu a květnu 2016.

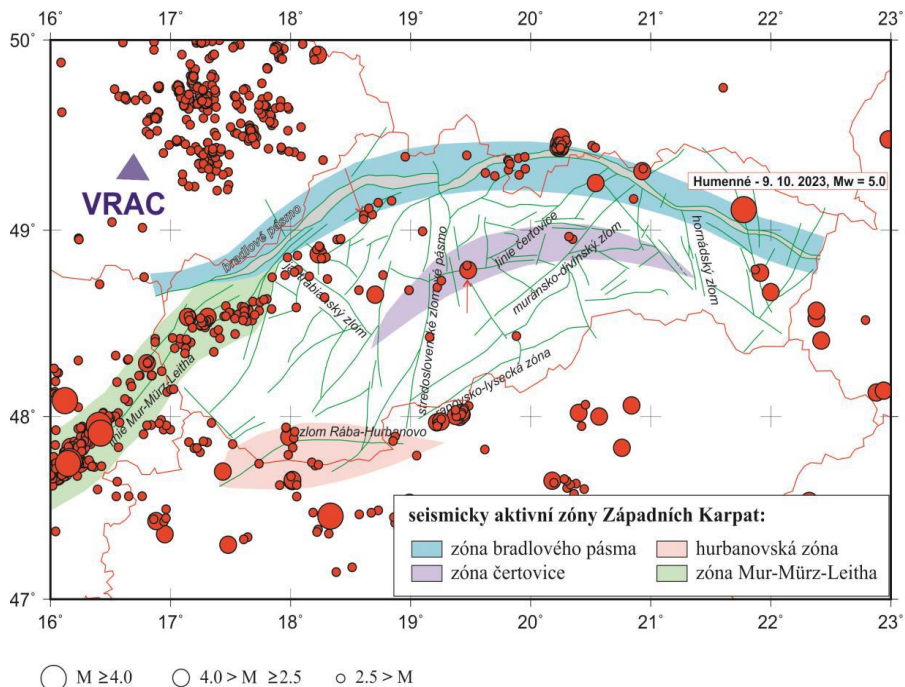
Rakouská zemětřesení s ML o hodnotě 4 nebo vyšší po roce 2020:



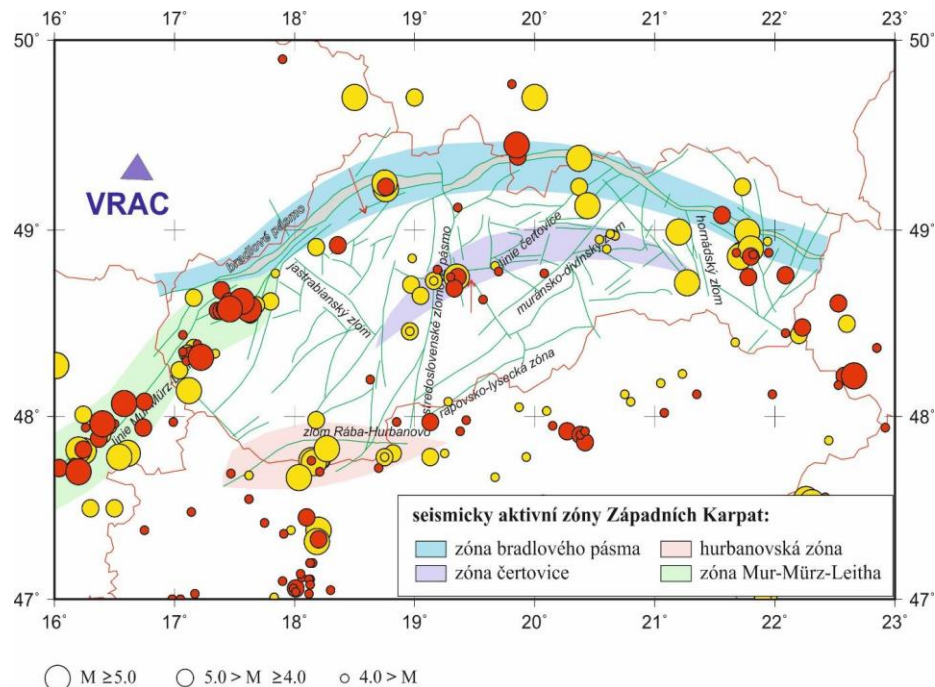
Seismická aktivita v roce 2021

Seismická aktivita v listopadu 2022 až v březnu 2023

Seismicky aktivní zóna pokračuje dále k SV do prostoru Západních Karpat. Kromě zóny Mur-Mürz-Leitha a zóny bradlového pásma je seismická aktivita známá i z dalších tektonických struktur.



Epicentra otřesů zaznamenaných stanicí VRAC z období 2011-2023.



Epicentra historických otřesů z let 1590-1899 (žlutá kolečka) a 1900-2006 (červená kolečka).

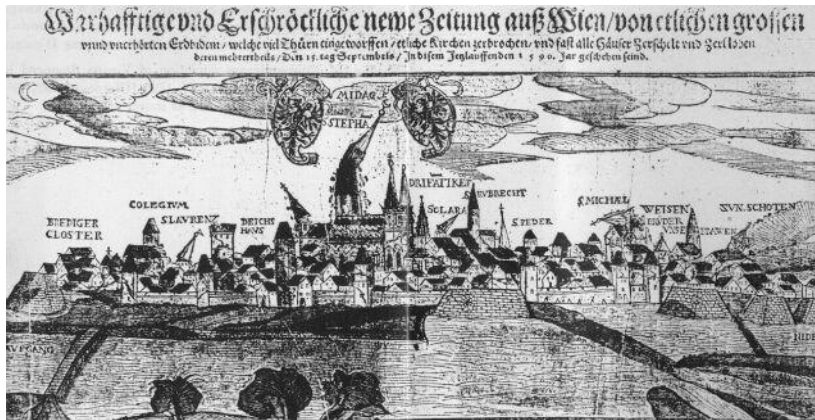
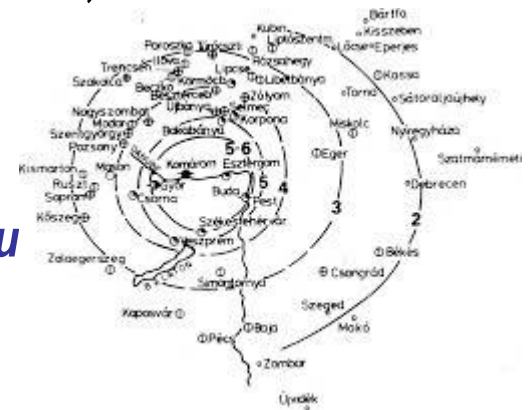
příklady významných historických zemětřesení:

Neulengbach (z. od Vídně), 15. 9. 1590, ML = 5,7 až 5,8

Komárno, 28. 6. 1763, ML = 5,8

Dobrá Voda, 9. 1. 1906, ML = 5,7

Izoseisty při zemětřesení v Komárnu z roku 1763 (Szeidovitz 1986).



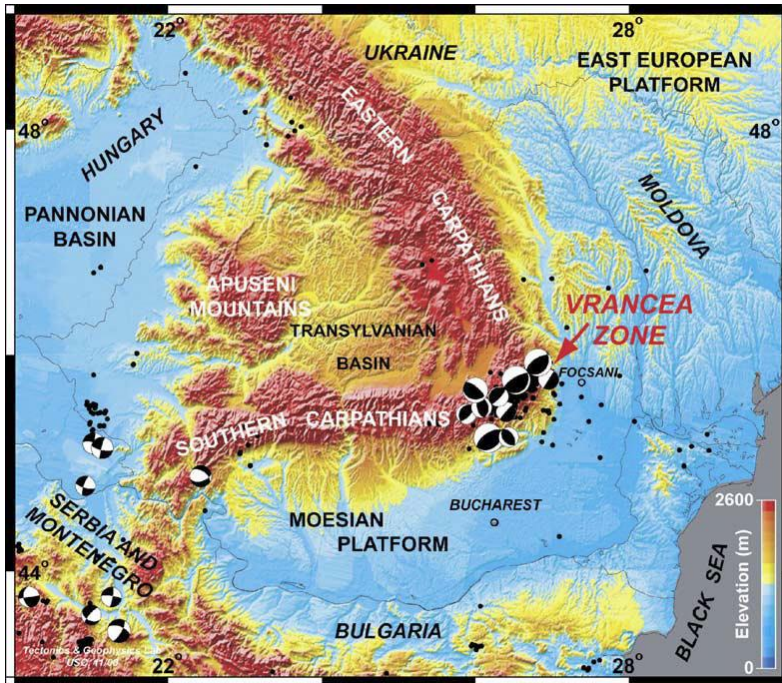
Obraz zachycující škody ve Vídni při zemětřesení v roce 1590.



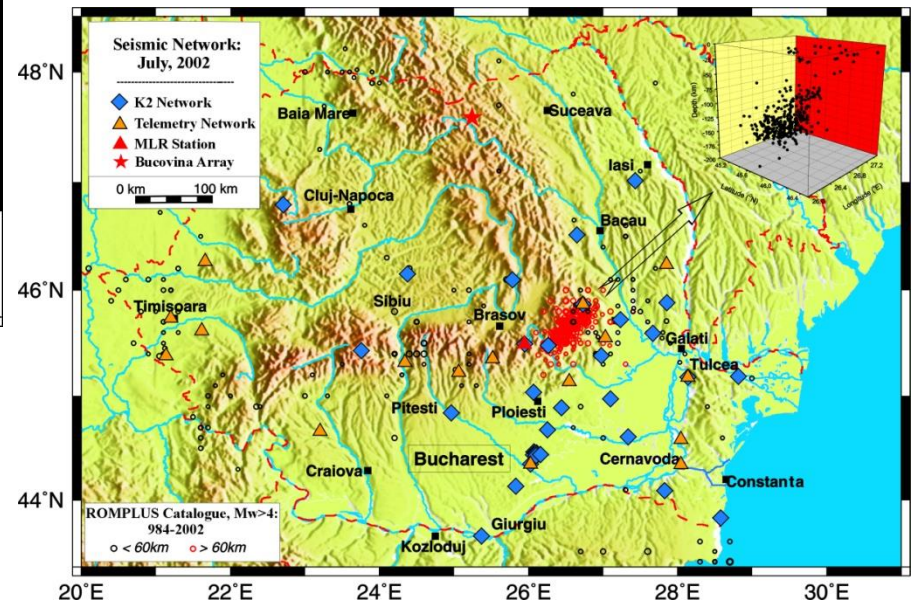
Obraz zachycující škody po zemětřesení v Komárnu z roku 1763.

11.2.b: Přirozená seismicita zóny Vrancea

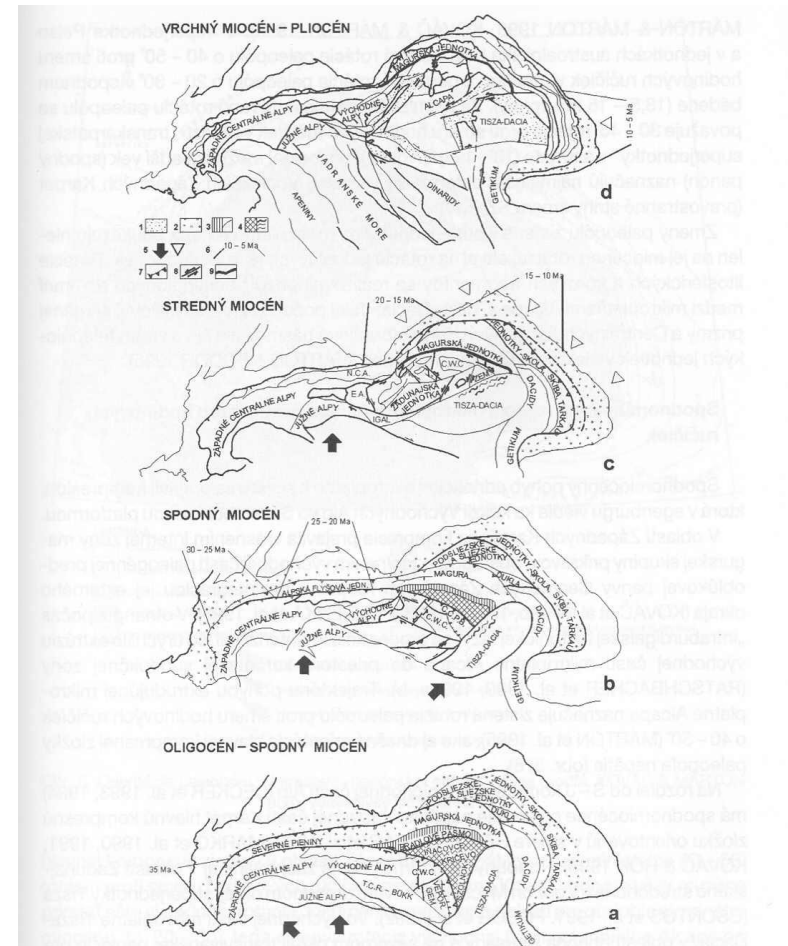
Zóna Vrancea se nachází v Rumunsku, na východním okraji oblouku Východních Karpat.



(Knapp et al. 2005).



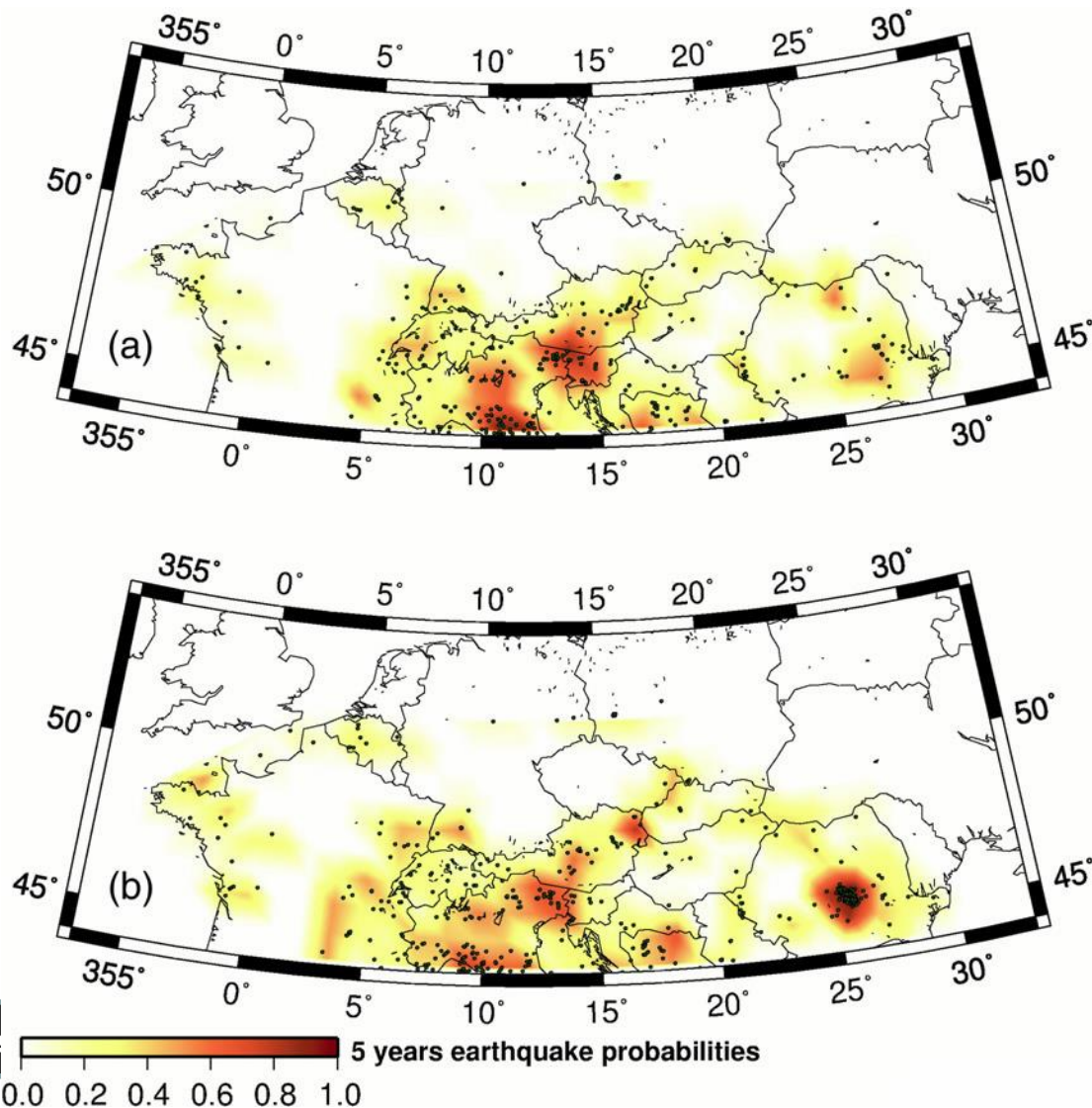
Zóna Vrancea je součástí kolizní zóny Karpatského oblouku. Jedná se o část, kde docházelo k nejmladším pohybům příkrovů.



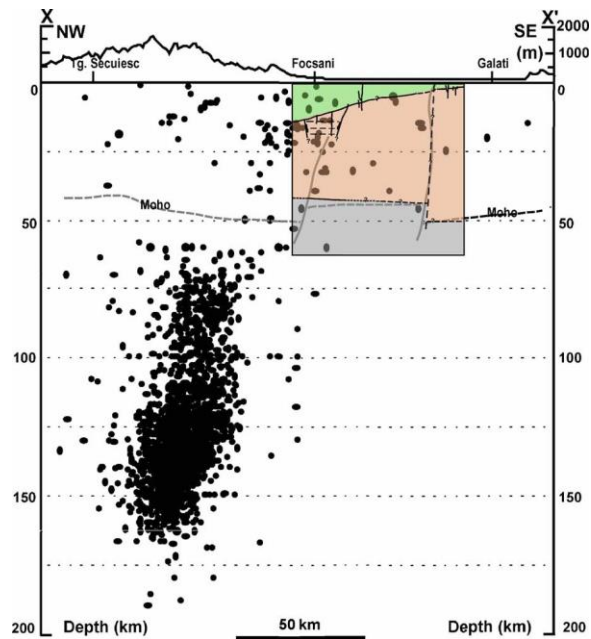
Obr. 4. Palinspastická rekonštrukcia neoalpínskeho vývoja alpsko-karpatsko-panónskej oblasti. Zostavené na základe prác BALLA (1984, 1987), JIŘÍČEK (1979), HORVÁTH (1984), KOVÁČ et al. (1989a, 1994a), ROYDEN (1988), SANDULESCU (1988), SEIFERT (1992).
 Vysvetlivky: 1 – neogénne panvy, 2 – čelná predhľeba, 3 – bradlové pásmo, 4 – szolnocký flyšový bazén, 5 – orientácia hlavnej kompresie, 6 – posledné dosnutie príkrovov na platformné predpolie, 7 – násuny príkrovov, 8 – horizontálne posuny; ďalšie vysvetlivky na strane 13.

Zóna Vrancea je charakteristická zvýšenou úrovní seismicity, zejména pokud jde o hluboká zemětřesení.

Pravděpodobnosti výskytu zemětřesní s magnitudem $M_w = 4.0$ a více: a) mělká zemětřesení, b) mělká + hluboká zemětřesení (Faenza et al. 2009).

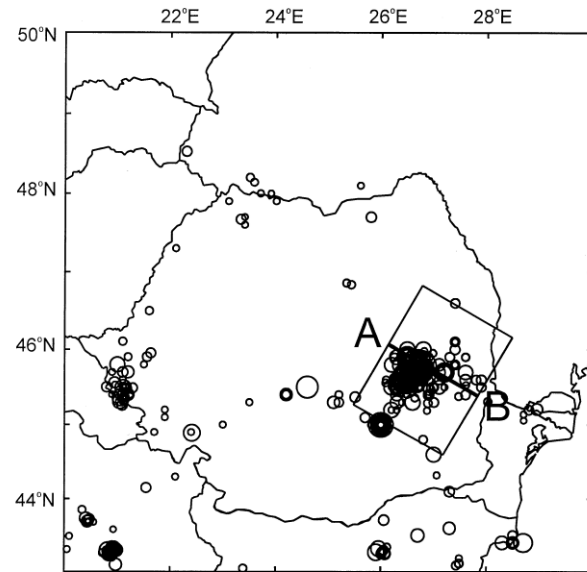


Charakter seismicity je srovnáván se seismicitou v subdukčních zónách.

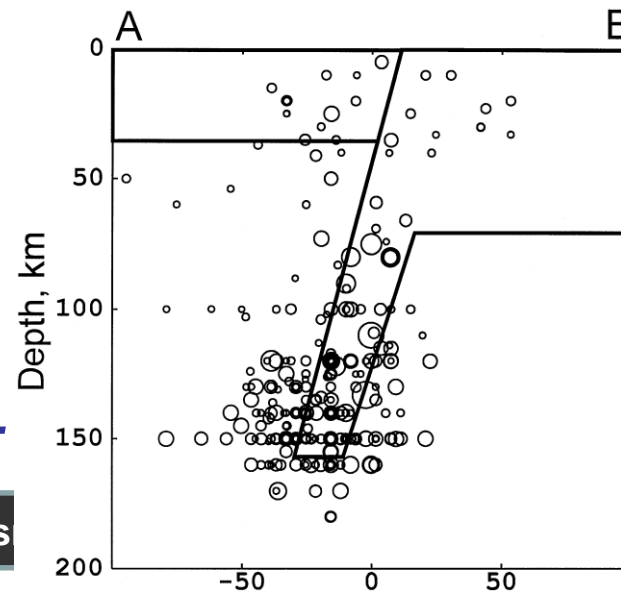


(Mucuta et al. 2006).

(Izmail-Zadeh et al. 1999).

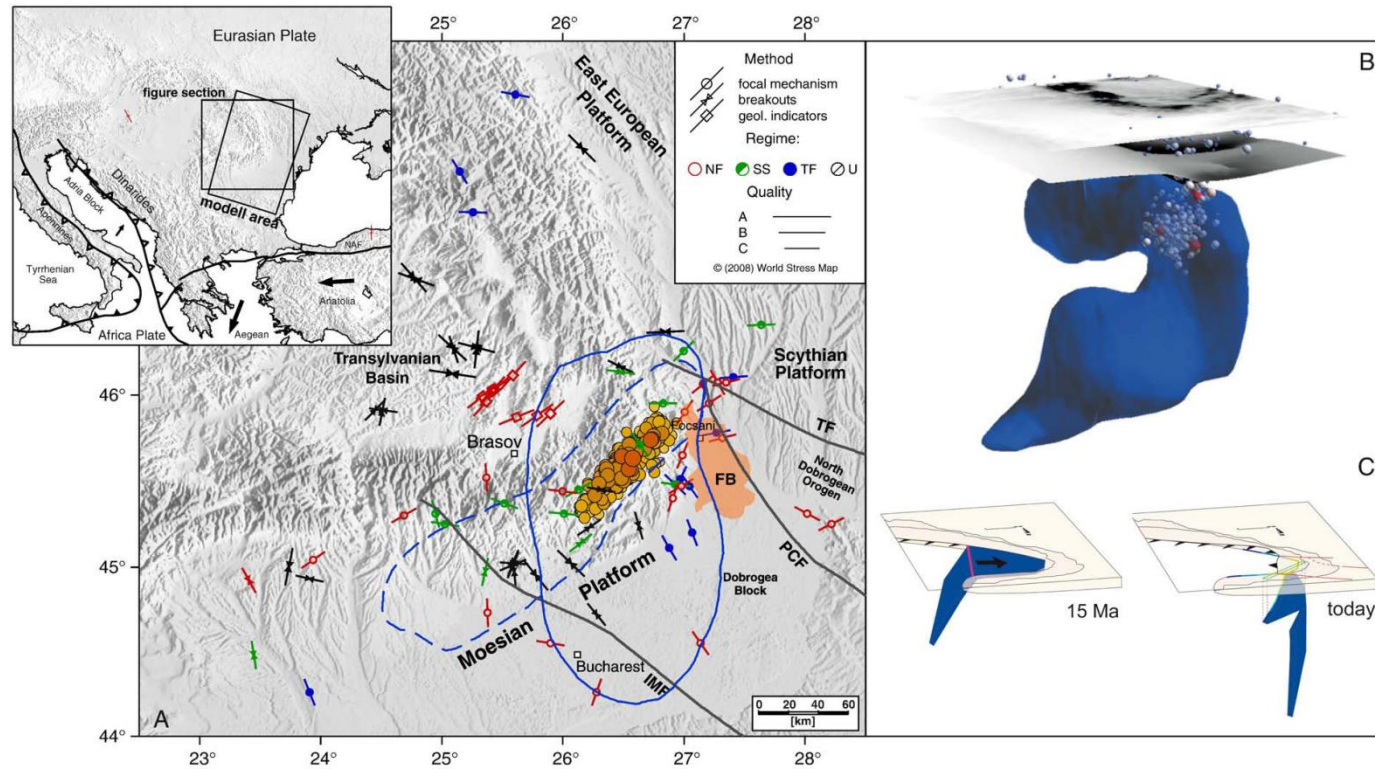


a

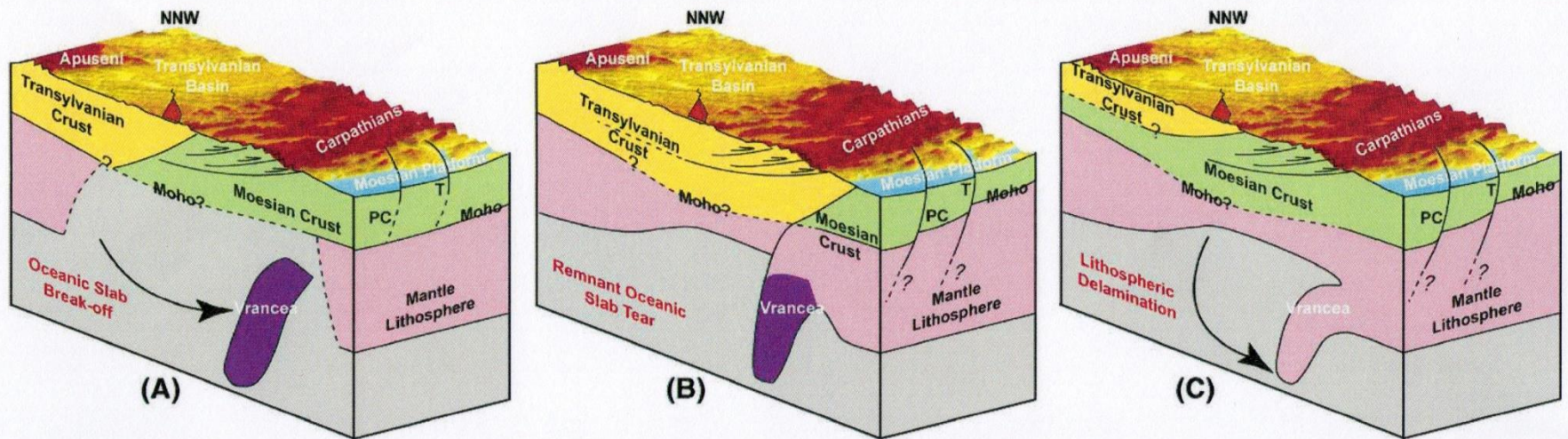


b

Seismická tomografie ukazuje existenci tělesa kůry zanořeného do svrchního pláště.



A) Orientace recentního napětí B) geometrie zanořené kůry podle seismické tomografie C) schéma vývoje zanoření kůry do pláště v zóně Vrancea (Muller et al. 2010).

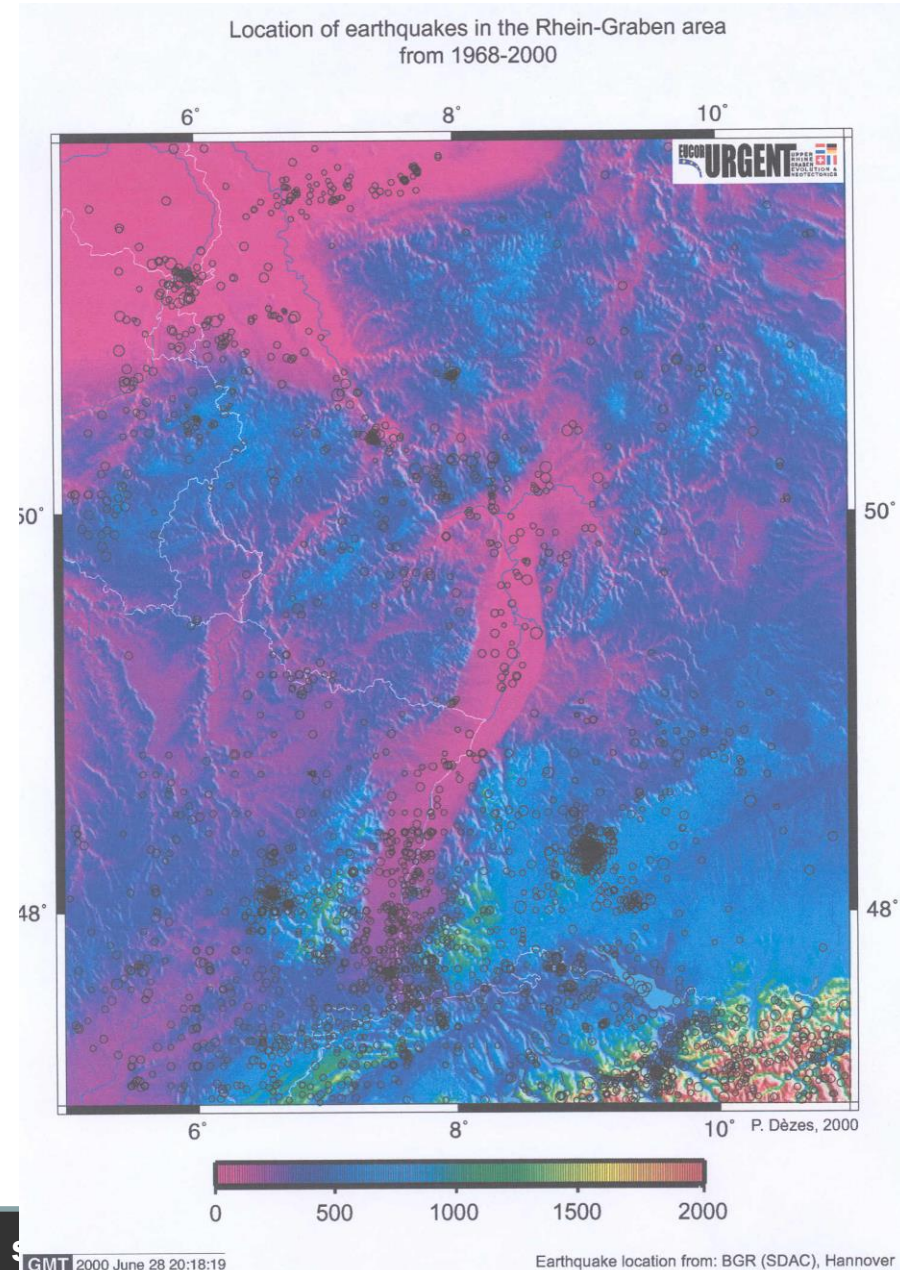


Modely zanořené kůry v zóně Vrancea: A) zanoření a následné odlomení oceánské kůry; B) zanoření oceánské kůry a laterální odtržení v karpatském předpolí C) delaminace kontinentální litosféry (Knapp et al. 2005).

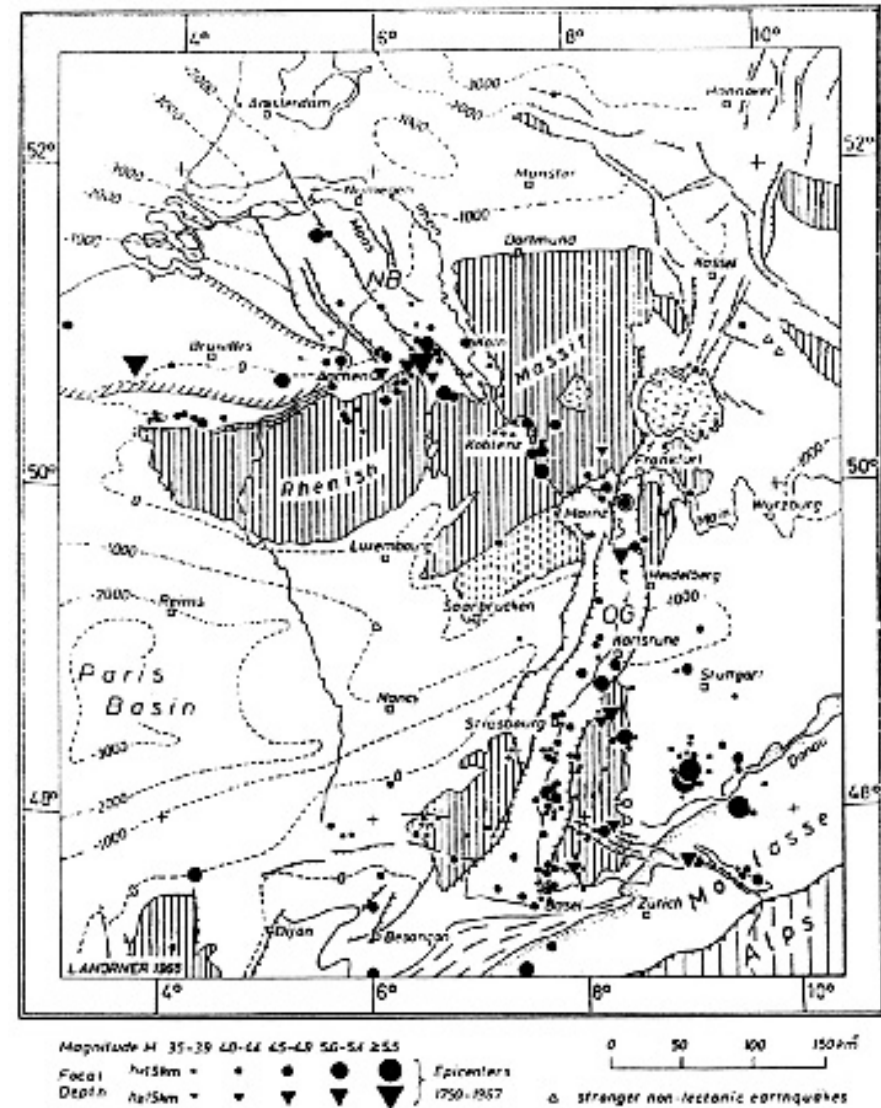
11.3: Přirozená seismicita alpinského předpolí

11.3.a: Přirozená seismicita rýnského prolomu

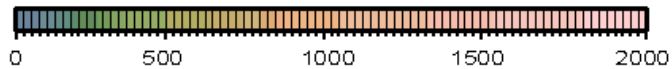
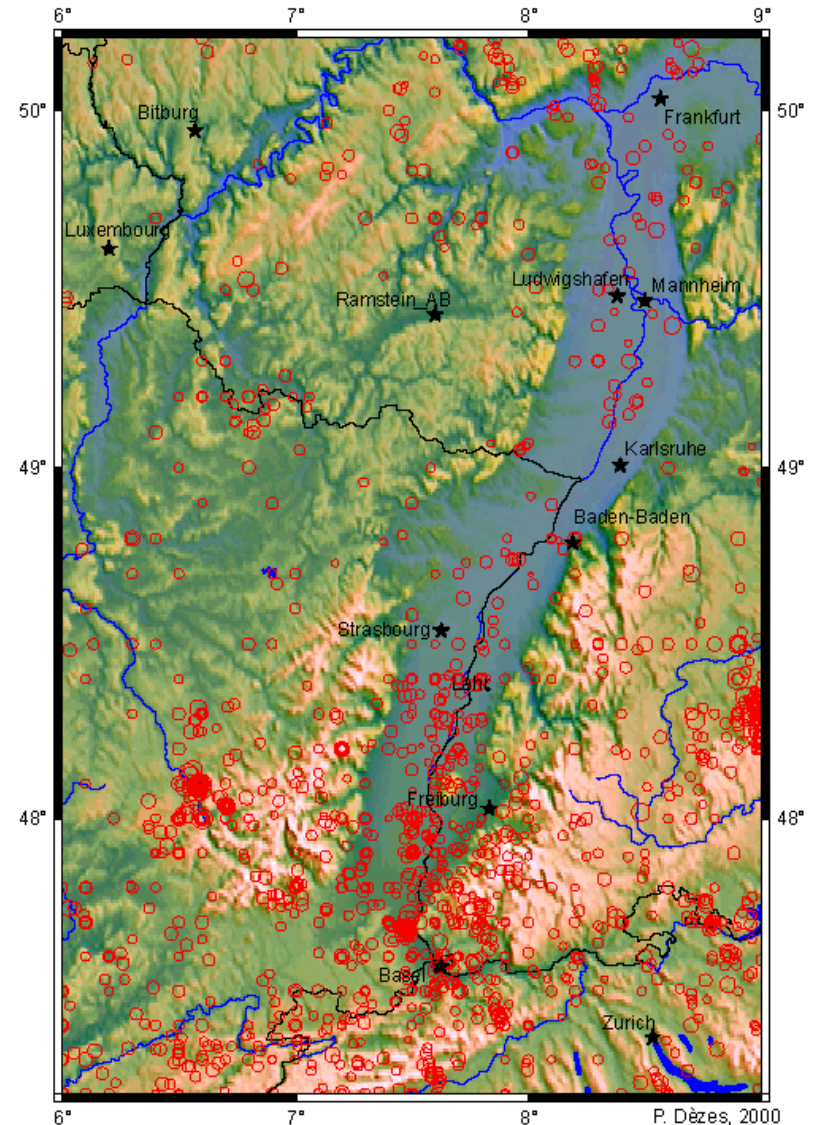
Jednou z nejaktivnějších struktur v alpínském předpolí v regionu Evropy je Rýnský prolom, zejména jeho jižní část (Upper Rhine Graben).



Severní část struktury rýnského prolomu má směr SSZ-JJV (Lower Rhine Graben), jižní část má směr SSV-JJZ (Upper Rhine Graben).



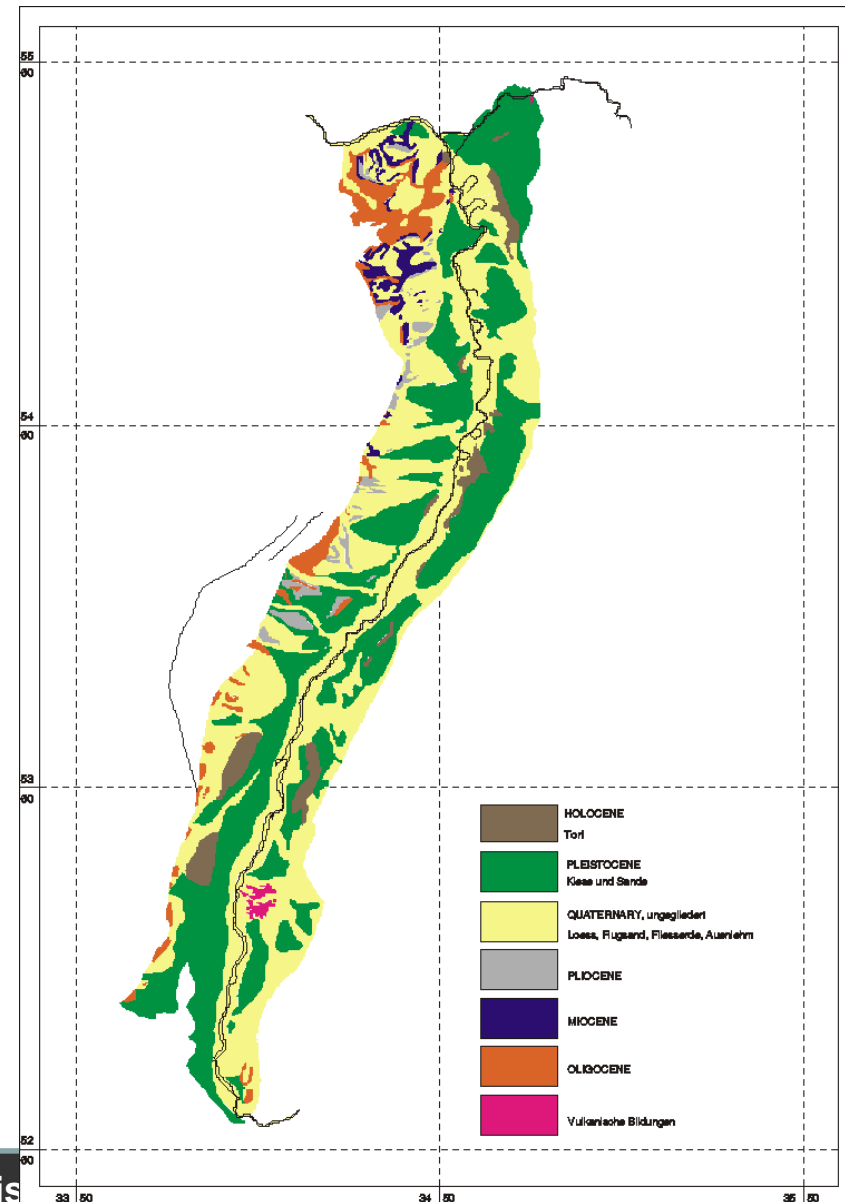
Relativně vysoká seismická aktivita se projevuje zejména v jižní části rýnského prolomu (Upper Rhine Graben).



GMT 2000 May 31 20: 8:19

Earthquake location from: BGR (SDAC), Hannover

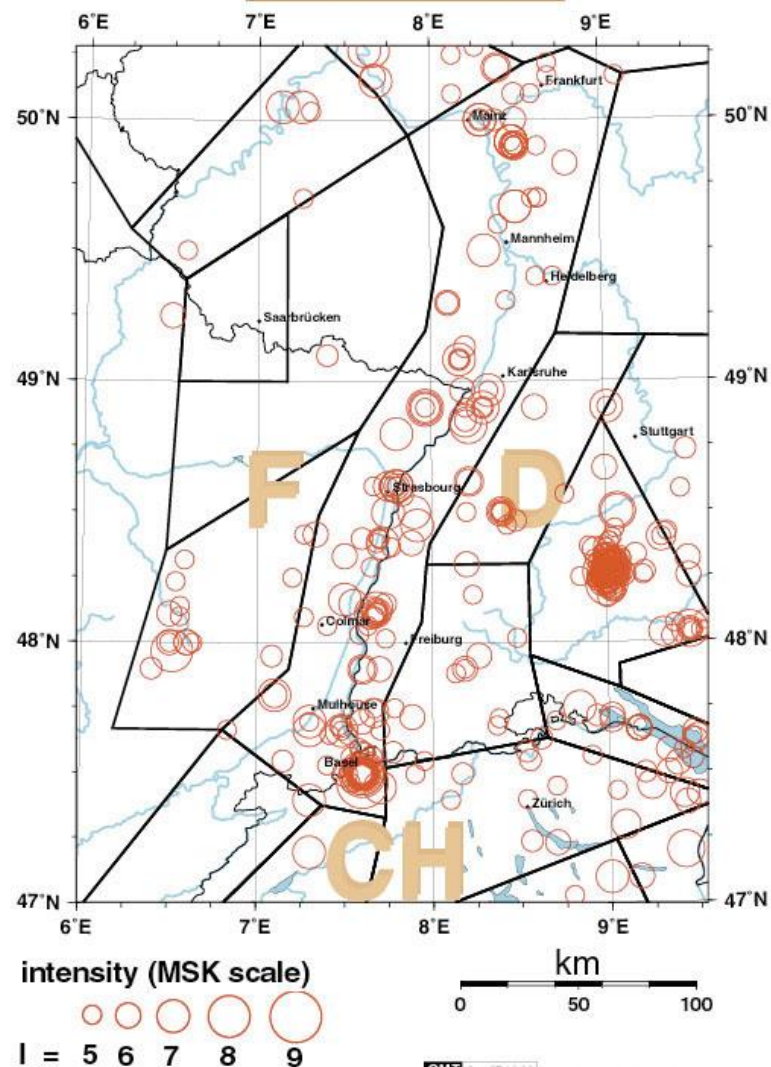
Tato část se zřetelně projevuje také v morfologii (zaklesnutý region prolomu mezi hrástěmi Schwarzwaldu a Vogéz) a vyznačuje se významnou kvartérní sedimentací.



Z regionu jižní části rýnského prolomu regionu jsou známy také silné ničivé historické otřesy. Epicentrální intenzita dosahovala při nejsilnějších známých otřesech hodnoty 9° MSK.

Damaging earthquakes in the Upper Rhine Graben area

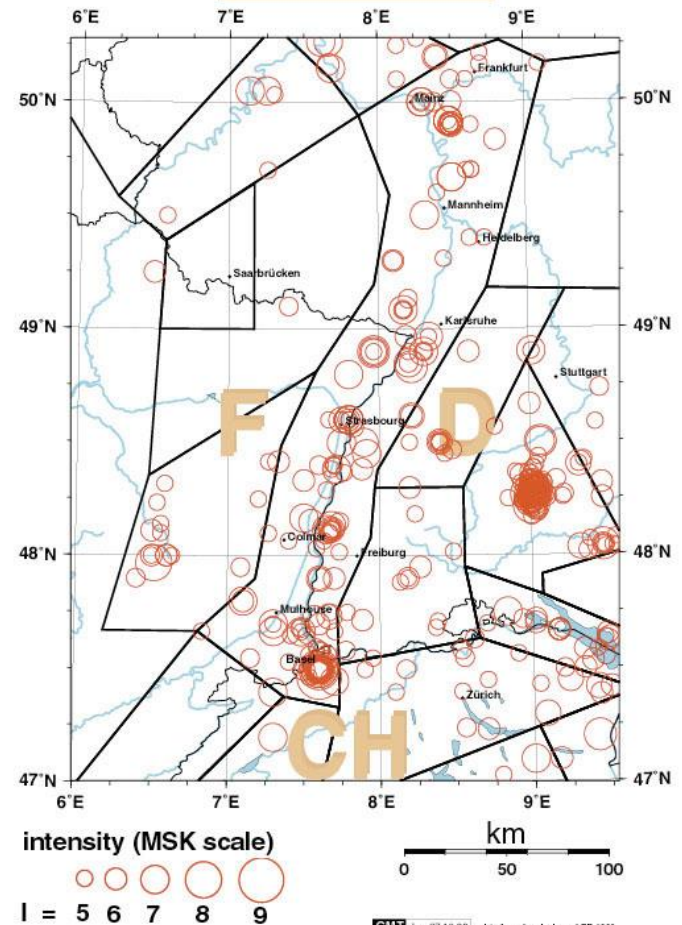
since the year 1000 AD



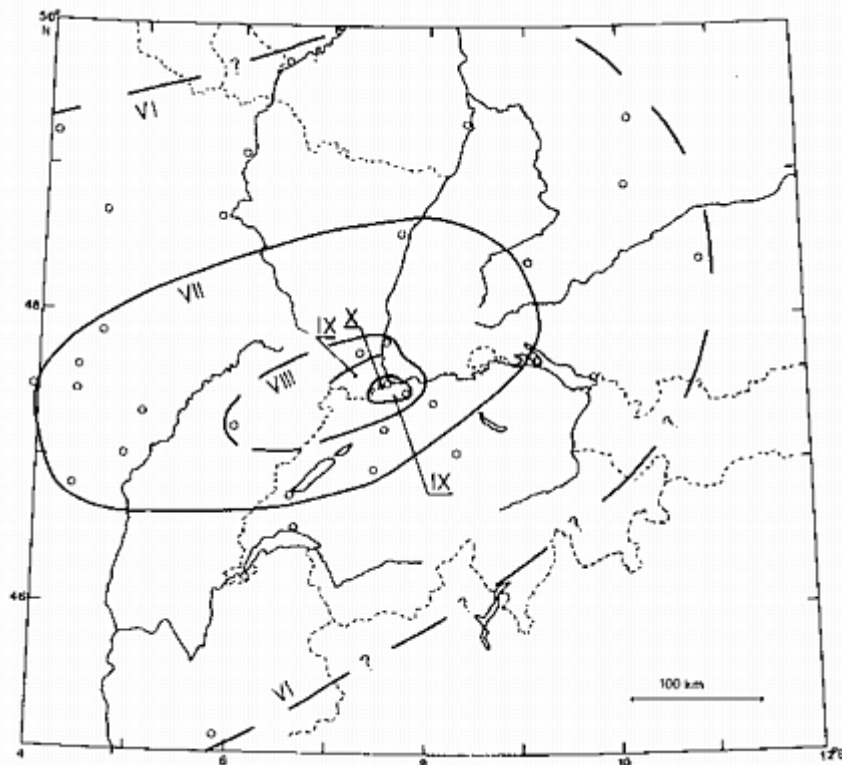
Nejznámější z těchto otřesů je zemětřesení z roku 1356, které poničilo město Basilej.



Damaging earthquakes in the Upper Rhine Graben area since the year 1000 AD



Zemětřesení z regionu Basileje z roku 1356 se projevilo epicentrální intenzitou IX až X MSK, jeho magnitudo je odhadováno na hodnotu 6.2-6.5. Šlo o jedno z nejsilnějších historických zemětřesení z regionu sz. Evropy.



Hloubka hypocenter se pohybuje do 30km. Většina hypocenter není hlubších než 20km.

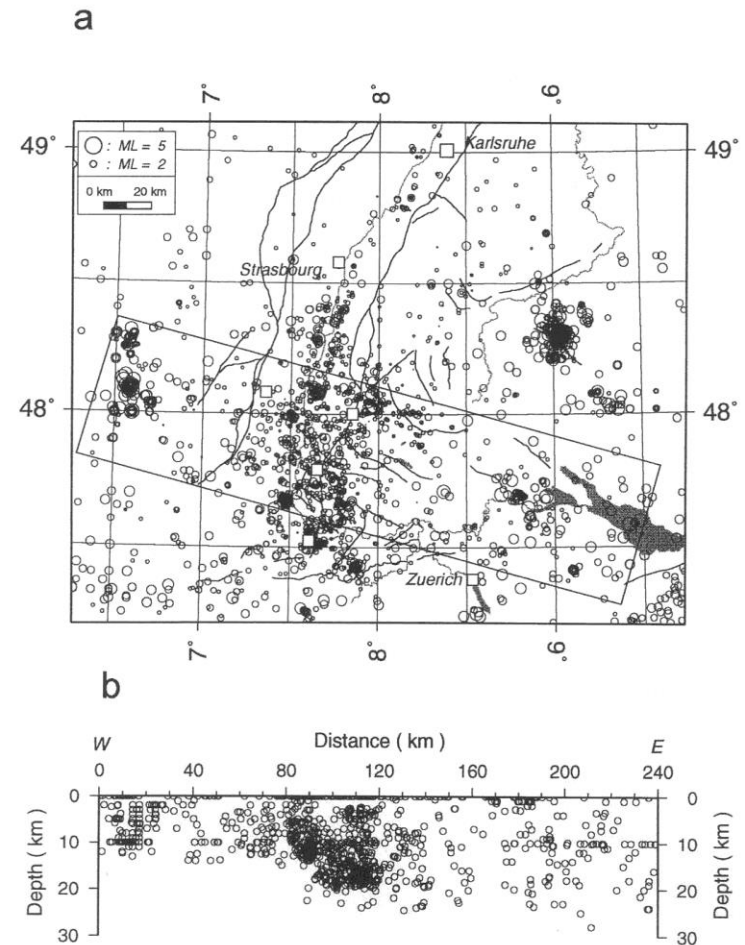


Fig. 5. (a) Southern Rhine Graben seismicity 1971–1994. (b) Average cross-section of focal depths perpendicular to the strike of the graben. Vertical exaggeration is 2:1. (c, d) Epicentre map (top) and cross-section of focal depths (bottom) with a mean azimuth of N15°W between the Elzach fault (latitude of about 48°10') and the Tabular Jura, northern Switzerland (approx. latitude 47°10'). Only hypocentres within the rectangular area are projected onto the section (bottom). Thick black line represents the course of the eastern borderfault (eBF); + signs denote earthquakes without depth determination. Colours of chosen depth intervals are given in Fig. 7a. In this data set fixed depth hypocentre determinations are clearly visible in the western and easternmost parts of the cross-section in (b). Most of the Swiss data are provided by N. Deichmann, ETH-Zuerich. The majority of data at the periphery of Fig. 5a are taken from the routine bulletins of the agencies responsible.

Všetchna hypocentra leží v zemské kůře, většina z nich je situována do svrchní kůry nebo při rozhraní svrchní a spodní kůry.

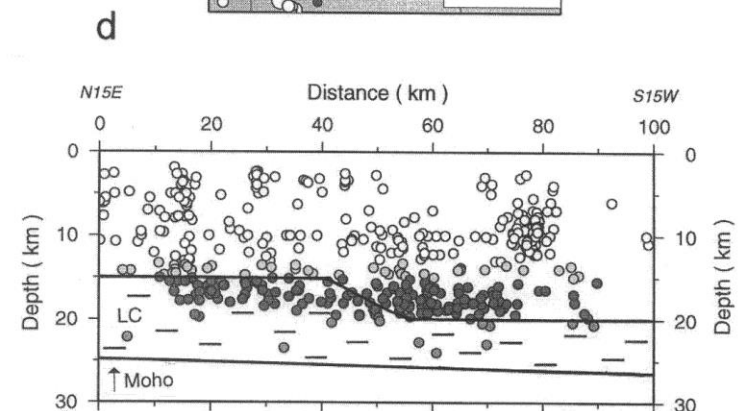
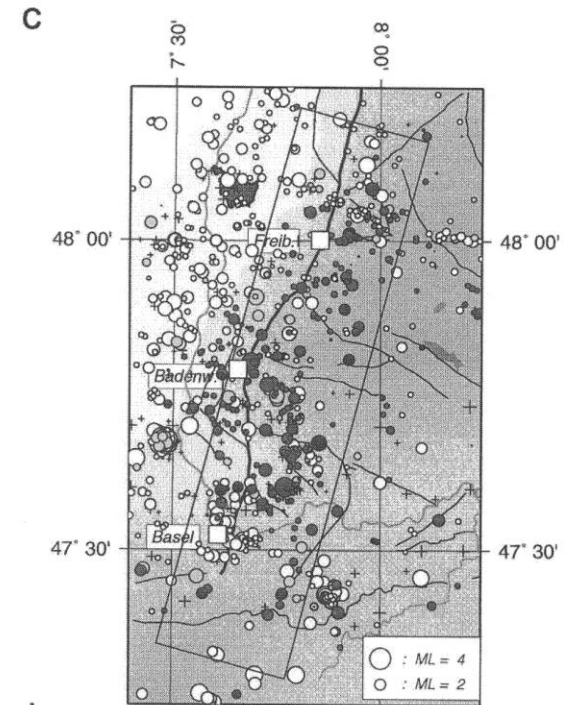
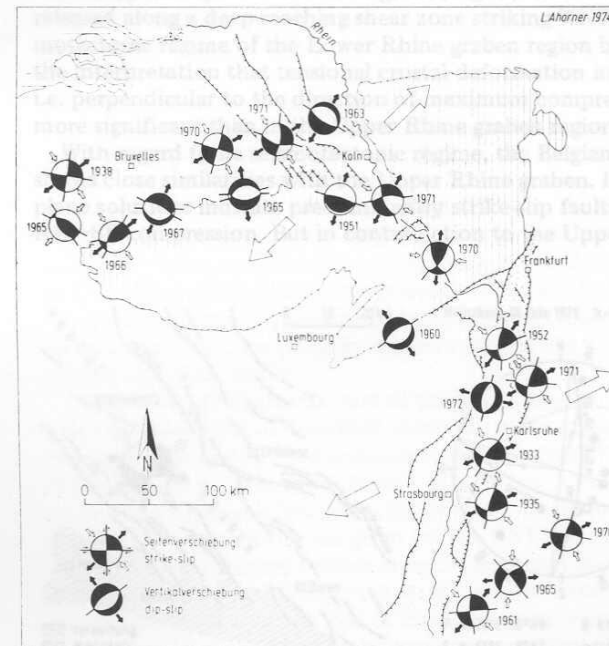
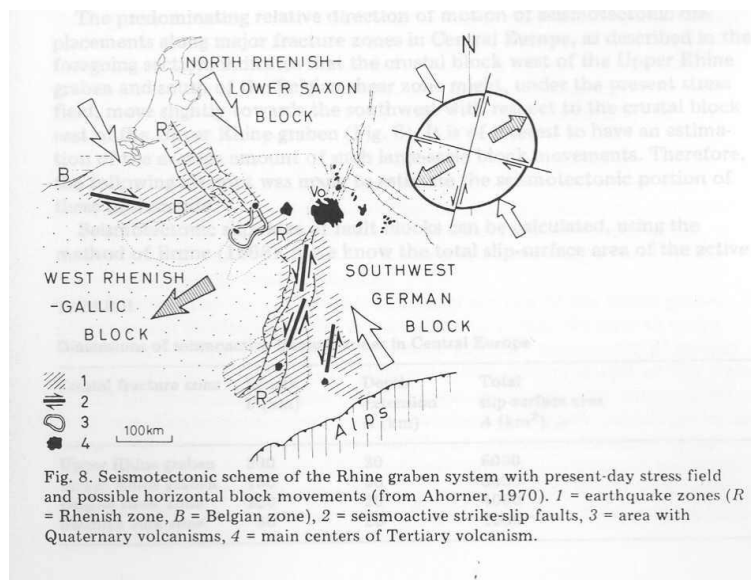


Fig. 5 (continued).

Fokální mechanismy ukazují velmi nejednotný charakter pohybů podél zlomových ploch (jsou tu přesmyky, poklesy i horizontální posuny). Většina mechanismů ale ukazuje na převládající kompresi ve směru SZ-JV a extenzi SV-JZ.



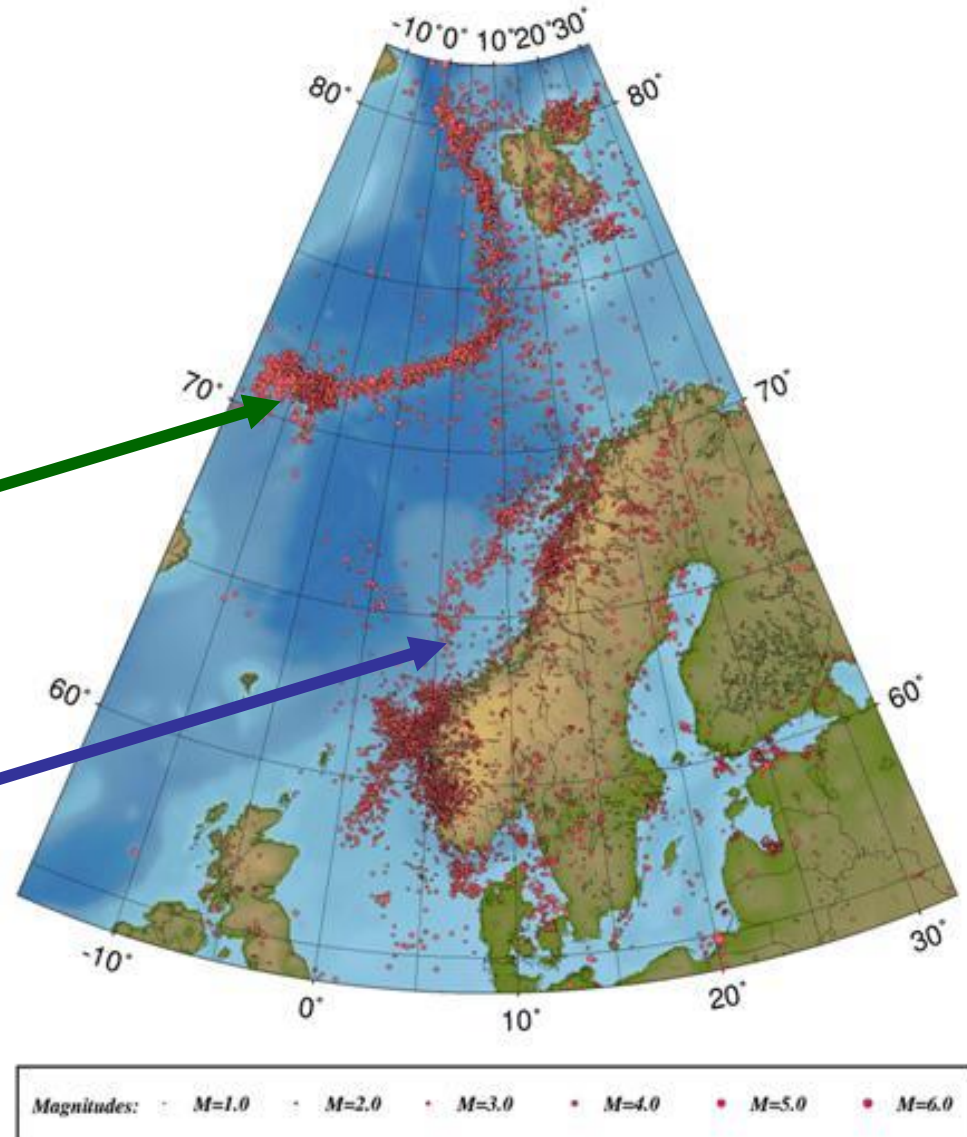
11.4: Seismicita Skandinávie

V regionu Skandinávie a přilehlých oblastí se projevuje několik vlivů. K nejvýznamnějším patří:

- seismicita

Středoatlantického riftu

- seismicita zlomů při kontinentálním okraji (Severní moře, pobřeží Norska)

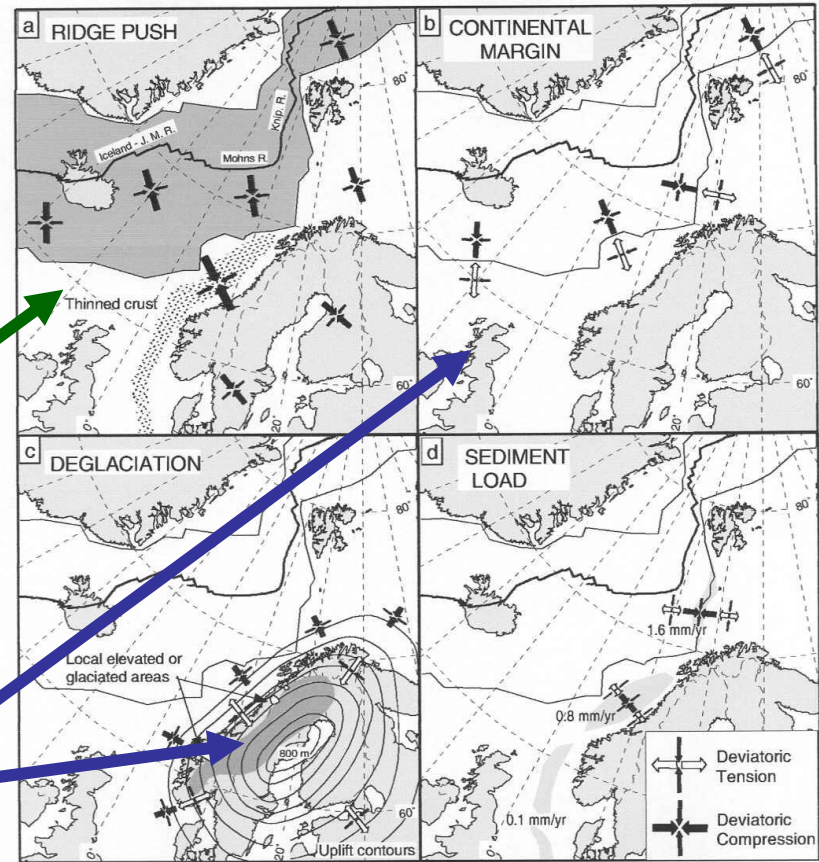


V regionu Skandinávie a přilehlých oblastí se projevuje několik vlivů. K nejvýznamnějším patří:

- seismicita

Středoatlantického riftu

- seismicita zlomů při kontinentálním okraji (Severní moře, pobřeží Norska)



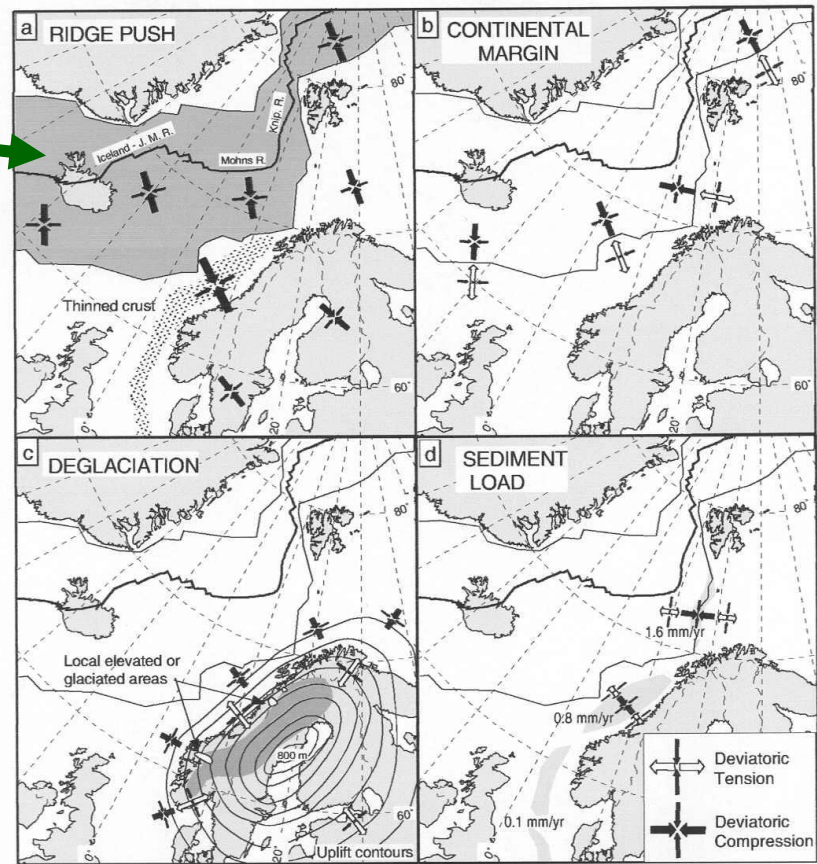
REGIONAL STRESS GENERATING MECHANISMS ACTING IN THE NORWEGIAN AREA

Fig. 2. Driving forces for earthquakes. The forces are causing stress accumulations that are leading to failure when the stresses exceed the rock strength limit.

- seismicita
Středoatlantického riftu

Seismicita Středoatlantického riftu má charakteristické rysy seismické aktivity divergentních rozhraní.

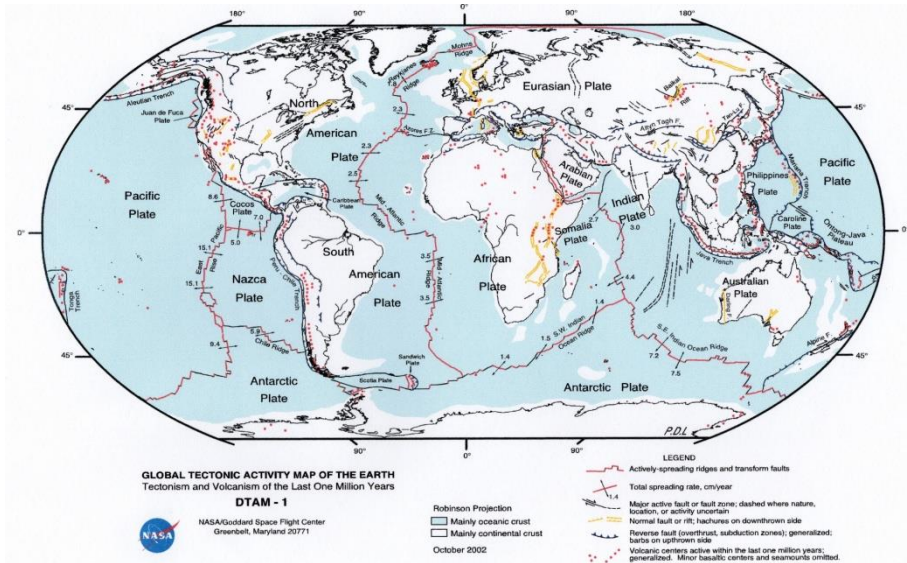
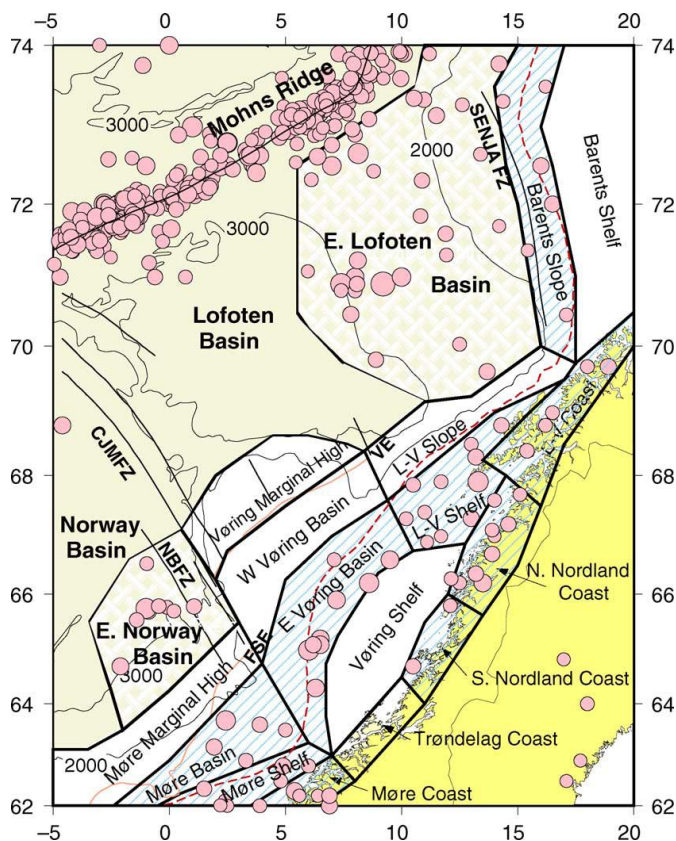
Vliv tlaku riftu se projevuje také ve vnitrodeskových regionech.



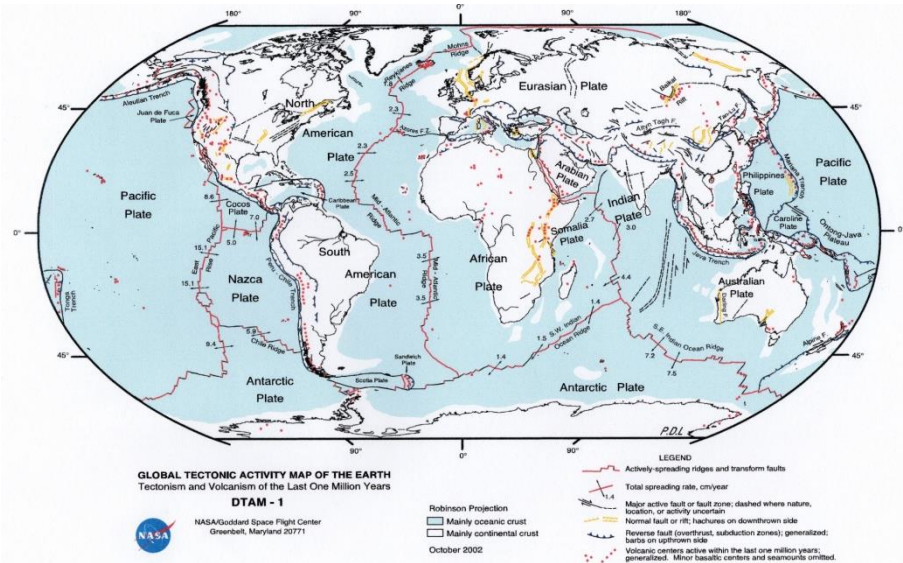
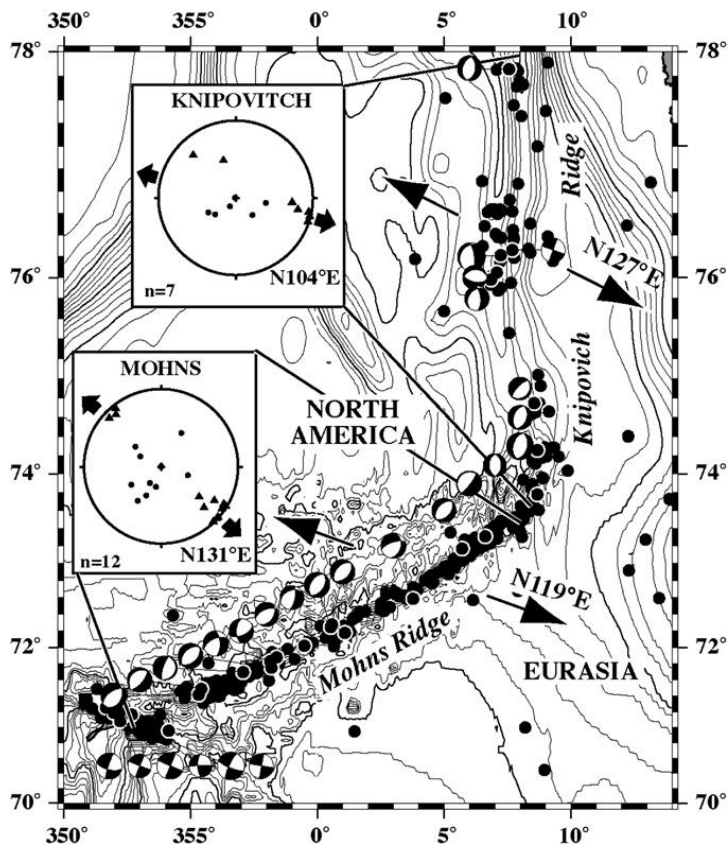
REGIONAL STRESS GENERATING MECHANISMS ACTING IN THE NORWEGIAN AREA

Fig. 2. Driving forces for earthquakes. The forces are causing stress accumulations that are leading to failure when the stresses exceed the rock strength limit.

Recentně aktivní pokračování Středoatlantického hřbetu je reprezentováno strukturou Mohns Ridge, zlomová zóna Jan Mayen reprezentuje systém transformního zlomu.



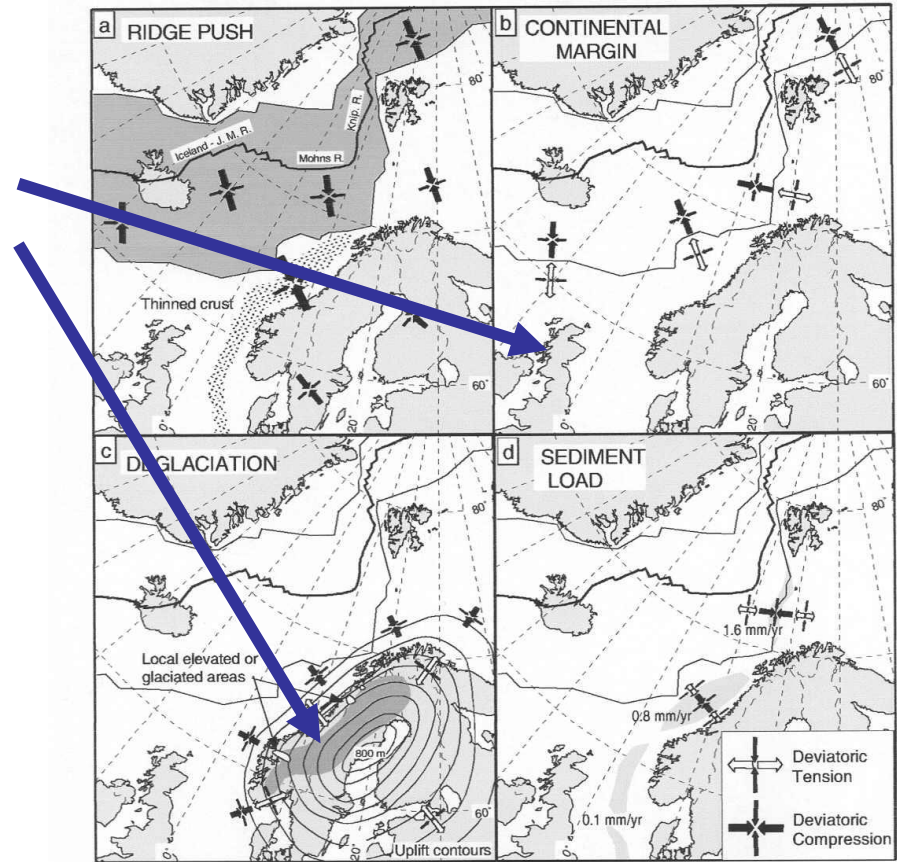
Recentně aktivní pokračování Středoatlantického hřbetu je reprezentováno strukturou Mohns Ridge, zlomová zóna Jan Mayen reprezentuje systém transformního zlomu.



seismicita zlomů při kontinentálním okraji (Severní moře, pobřeží Norska)

Seismicita zlomů v regionu Skandinávie a Severního moře má charakter vnitrodeskové seismicity.

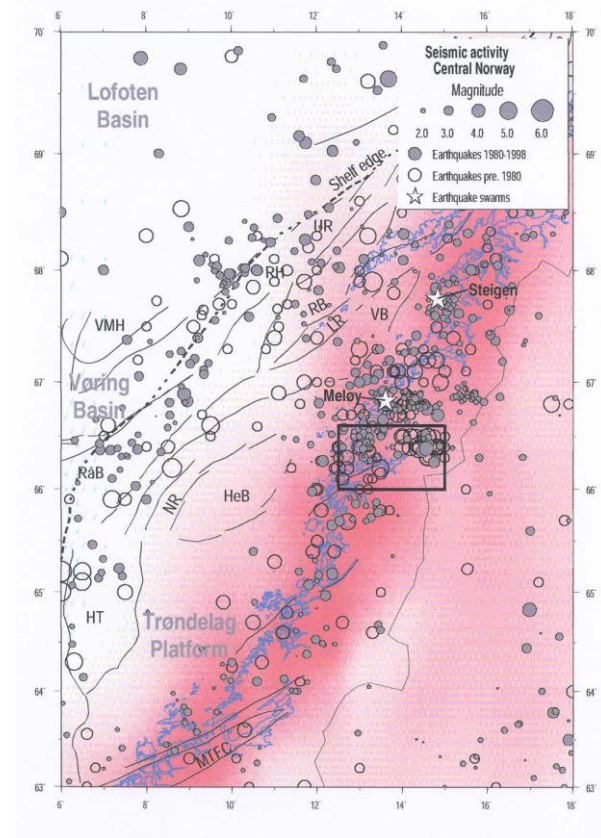
Velký význam má výzdvih spjatý s deglaciací.

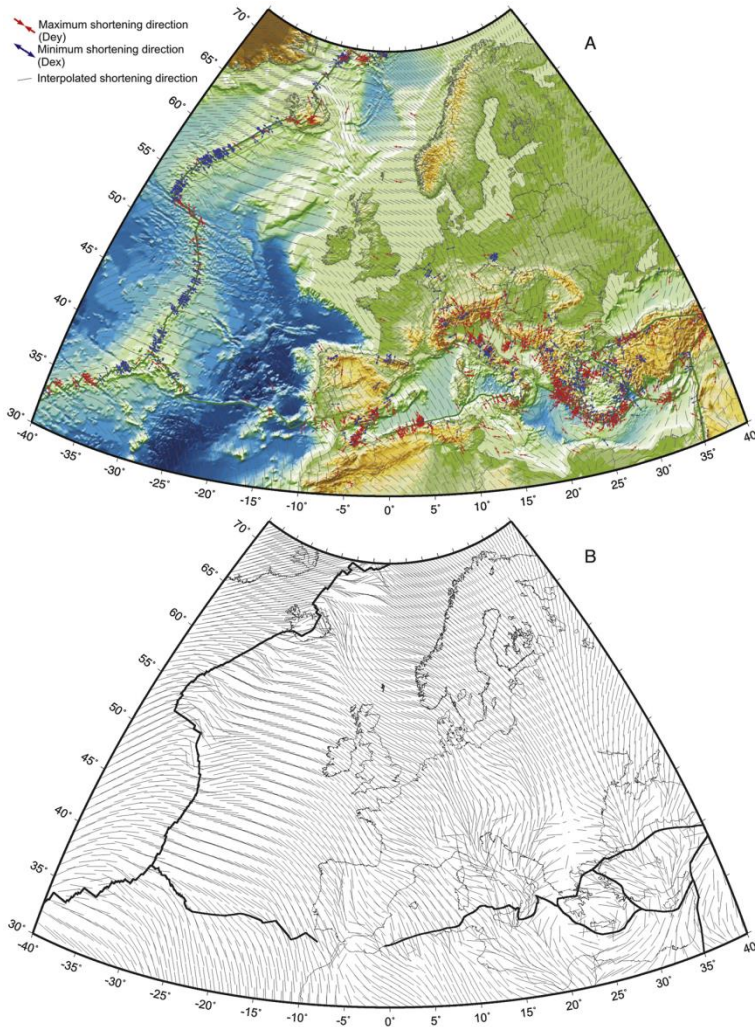


REGIONAL STRESS GENERATING MECHANISMS ACTING IN THE NORWEGIAN AREA

Fig. 2. Driving forces for earthquakes. The forces are causing stress accumulations that are leading to failure when the stresses exceed the rock strength limit.

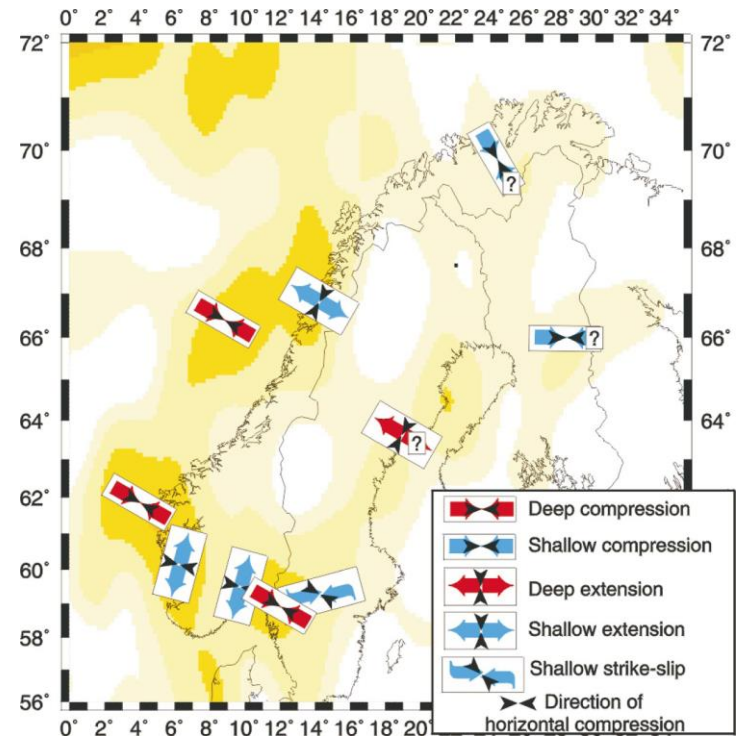
Rozložení epicenter zemětřesení dobře koreluje s místy nejrychlejšího výzdvihu (gradient výzdvihu je na obrázku znázorněn červenou barvou). Rychlost výzdvihu ve Skandinávii dosahuje hodnot až 9 mm/rok.





(Olaiz et al. 2009).

Napěťové pole je významně ovlivněno silami odtlačujícími litosferické desky od riftu.



(Fjeldskaar et al. 2000).

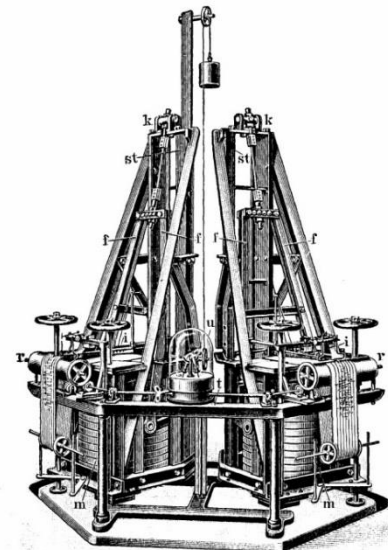
11.5: Monitorování přirozené seismické aktivity na území ČR

Seismická aktivita v rámci Českého masivu je studována jednak pomocí přístrojového monitorování, jednak na základě analýz zpráv o makroseismických projevech starších otřesů.

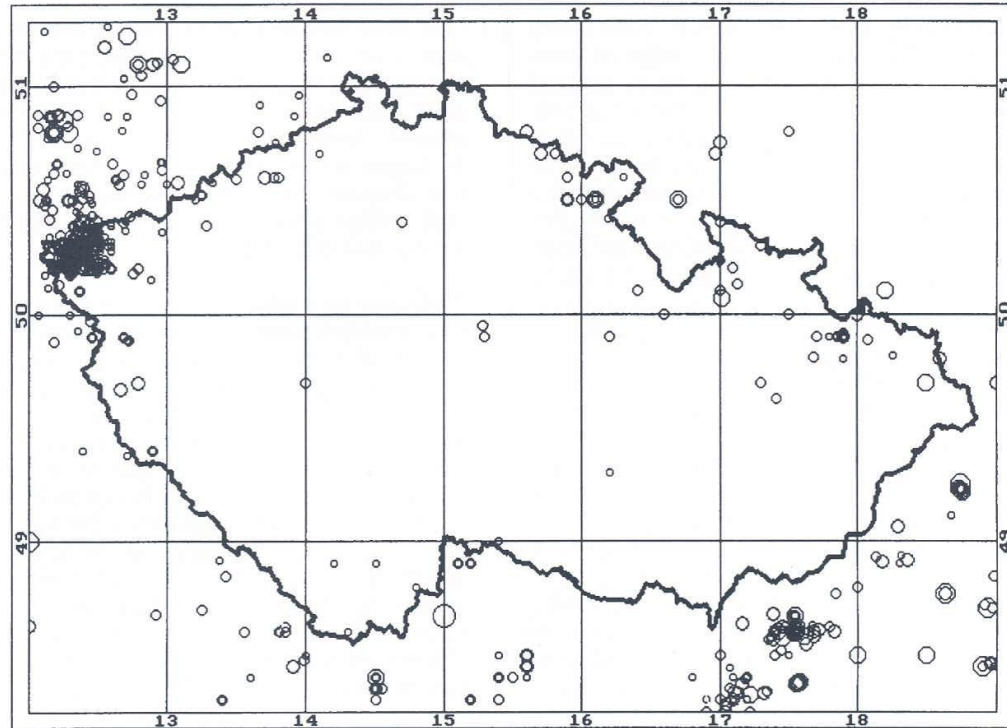
První seismologický experiment na území dnešní České republiky byl proveden v letech 1903-1905 Hansem Benndorfem (1870-1953, prof. fyziky) v Příbrami. První stálá seismologická stanice pak byla na území dnešní České republiky postavena a spuštěna **v roce 1908 v Chebu**. Detailnější seismické monitorování (včetně monitorování lokálními sítěmi) je ale na území České republiky prováděno až od 80. let 20. století.



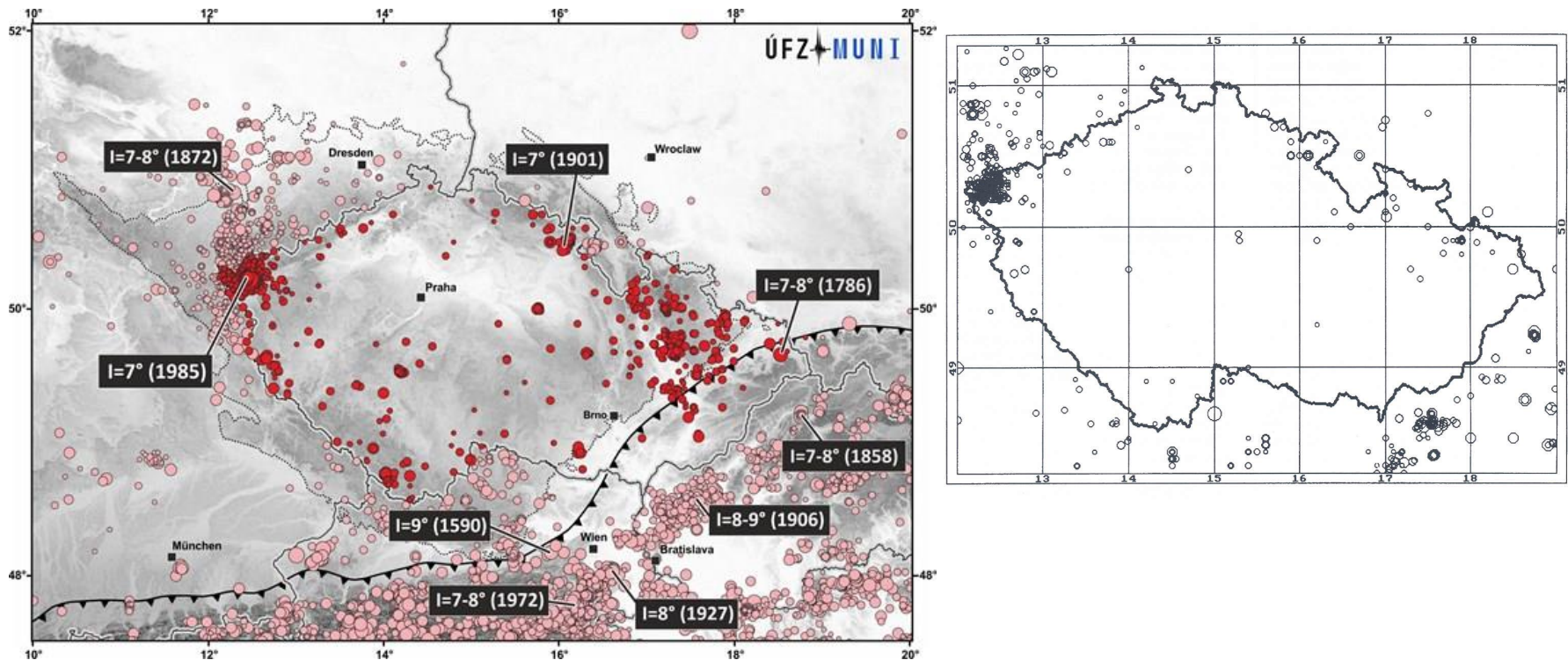
Hans Benndorf
1870-1953



Zprávy o historických zemětřeseních jsou (s proměnlivou kvalitou) známy z území České republiky od roku 1200, z území Rakouska od roku 1400, z území Německa od roku 1390, z území Slovenska od roku 1400, z území Polska od roku 1500 a z území Maďarska od roku 455 (viz Schenková, Kárník, Schenk 1981).



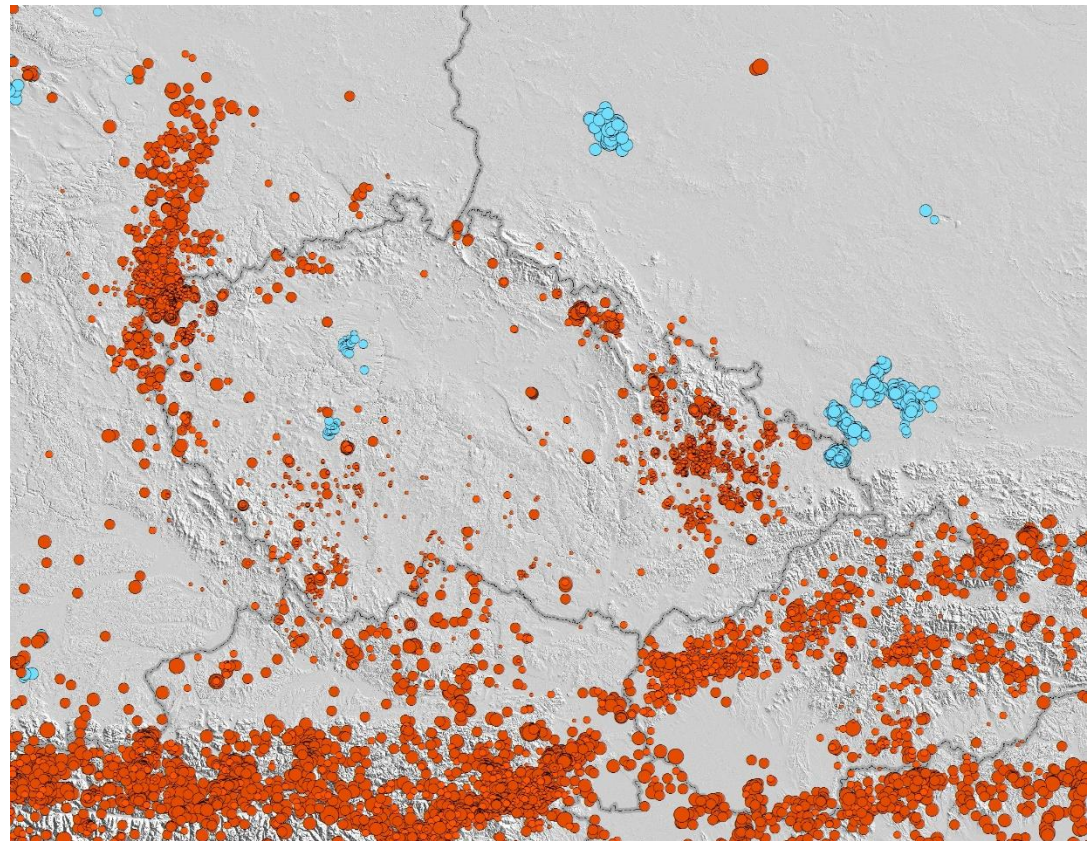
V rámci Českého masivu jsou epicentra známých historických otřesů soustředěna převážně do regionu západních Čech. Dále je patrna určitá (relativně slabá) historická seismicita v severní části Českého masivu (severní část ČR a jz. část Polska) a v nejjižnější části Českého masivu (převážně na území Rakouska).



Současná přístrojová i makroseismická pozorování ukazují, že nejvýznamnější seismické projevy v regionu Českého masivu jsou vázány na projevy indukované seismicity v důlních oblastech. Přesto bylo během let 2000-2018 zaznamenáno cca 35000 zemětřesení s epicentrem na území ČR (878 s M 2,0 a více).

Nejvýznamnější projevy přirozené seismické aktivity v Českém masivu jsou pak v současnosti známy v západočeském regionu a v regionu sv. části Českého masivu.

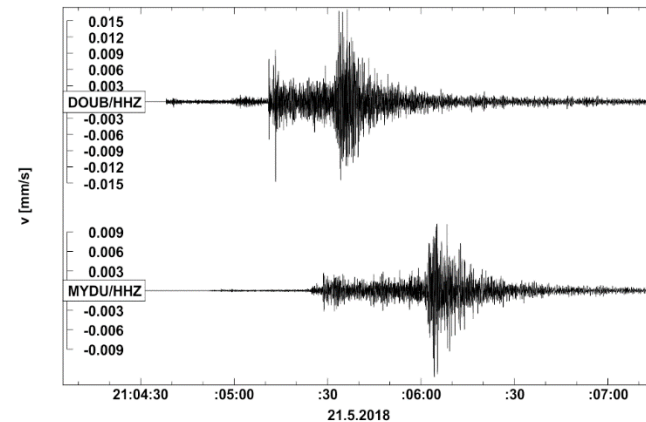
Epicentra zemětřesení a indukovaných otřesů z let 2000-2018 (Pazdírková, IPE, Brno).



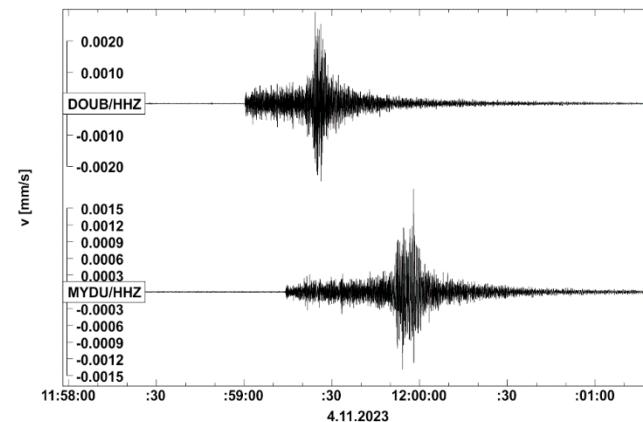
Výjimečně jsou přirozená zemětřesení na území České republiky pocítěna makroseismicky. Kromě otřesů z regionu západních Čech byly pocítěny např. otřesy:

- 25. 10. 2005, ML = 3.3, Hronovsko
- 13. 1. 2007, ML = 2.3, Orlická nádrž
- 5. 5. 2009, ML = 1.8, Horní Planá
- 7. 5. 2009, ML = 1.8, Horní Planá
- 12. 1. 2012, ML = 2.1, Český Krumlov
- 28. 3. 2012, ML = 2.0, Králíky
- 14. 10. 2013, ML = 2.3, Domažlice
- 24. 4. 2014, ML = 1.0, Vysoký Chlumeč
- 10. 12. 2017, ML = 3.5, Hlučín
- 25. 10. 2019, ML = 2.0, Prášily
- 6. 1. 2020, ML = 1.8, Prášily
- 29. 4. 2021, ML = 1.1, Orlická nádrž
- 26. 10. 2021, ML = 2.5, Polná na Šumavě
- 5. 8. 2022, ML = 1.2, Orlická nádrž
- 23. 8. 2022, ML = 1.7, Orlická nádrž
- 15.10.2022, ML= 2.2, Tachov

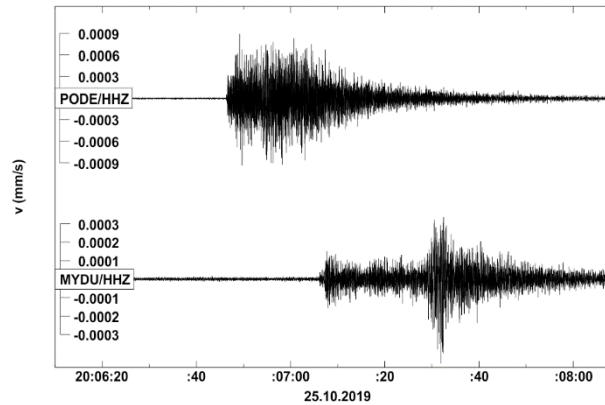
Novější makroseismické pozorování je spojeno s otřesy v západních Čechách (např. 21. 5. 2018, ML = 4,1)



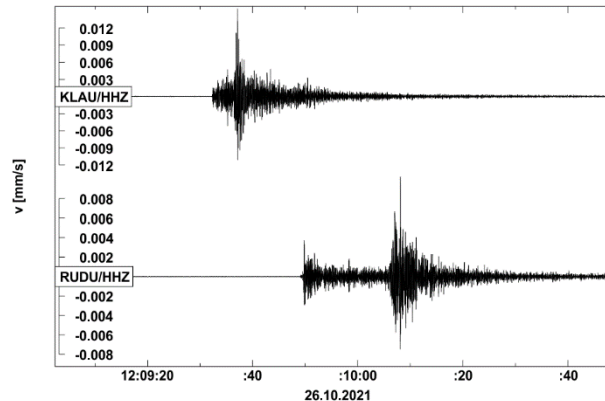
nebo nejnověji v listopadu 2023 (4. 11. 2023, ML = 3,0)



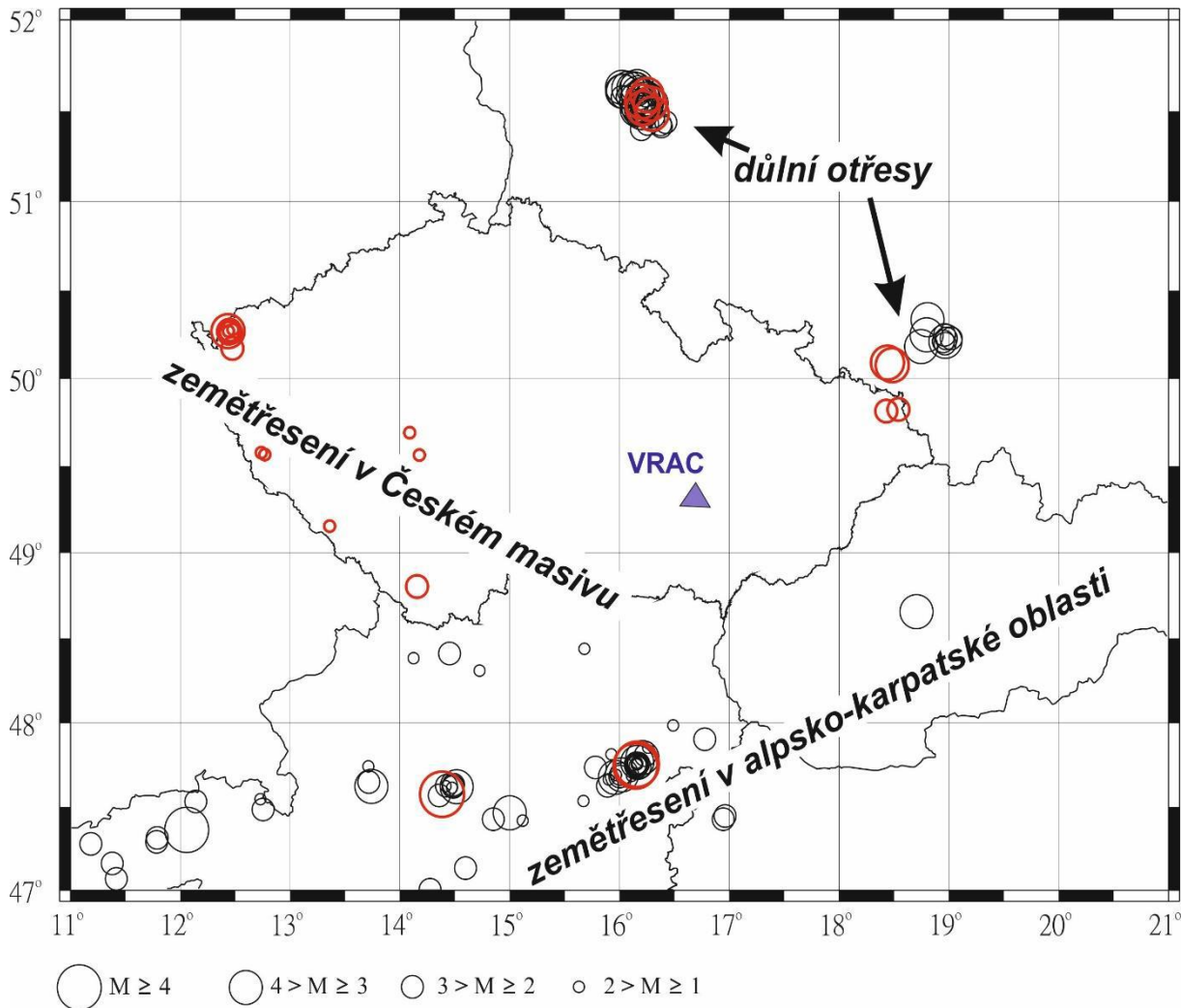
Mimo západní Čechy pak zemětřesení u obce Prášily (j. Čechy) ze dne 25. 10. 2019 (ML = 2,0)



či u Polné na Šumavě ze dne 26. 10. 2021 (ML = 2.5)



Pocítená zemětřesení na území ČR v letech 2020-2021:



region západních Čech

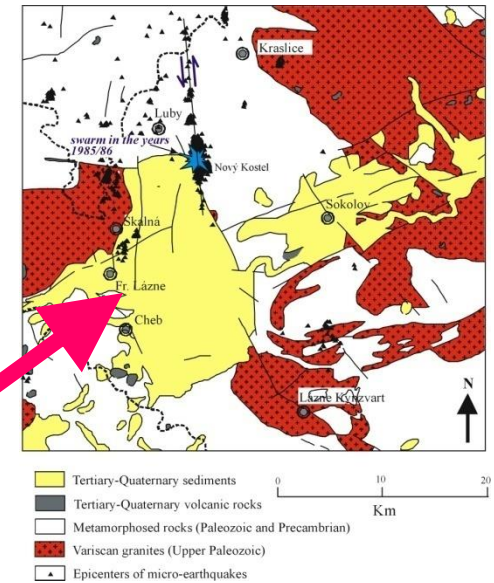
Důležitým fenoménem je v západočeském regionu křížení dvou významných kenozoických struktur: **oháreckého riftu (VSV-ZJZ)** a **chebsko-domažlického příkopu (SSZ-JJV)**.

V místě křížení se nachází **chebská pánev** s velmi mladou výplní a s kvartétním vulkanismem.

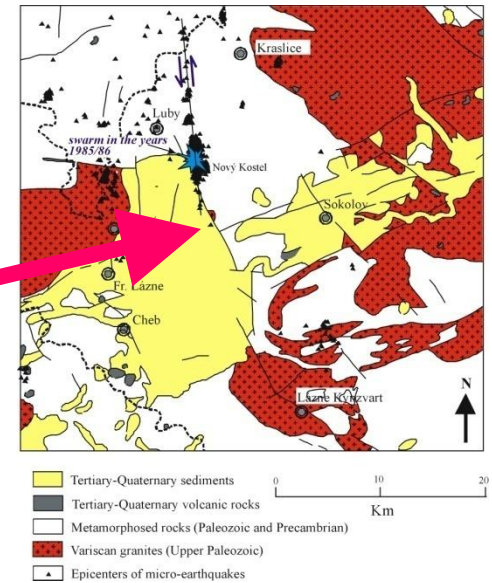


Geologická skizka širšího okolí chebské pánve (podle mapy 1:200 000 Chrt, Bolduan et al.1968 doplněno a upraveno). 1 - neogenní sedimenty ohárecké riftové zóny a tachovského příkopu, 2 - masívy hercynských granitoidů, 3 - zlomy 1. řádu a méně významné zlomy (A- krušnohorský zlom, B- mariánskolázeňský zlom, C- tachovský zlom)

kvartérní vulkanismus: nejmladší vulkanismus v Českém masivu (Železná Hůrka, Komorní Hůrka).



minerální prameny a výrony CO₂: region je známý horkými minerálními prameny a vývěry minerálních pramenů s CO₂

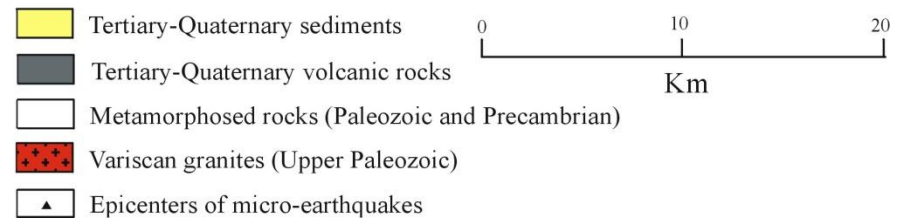
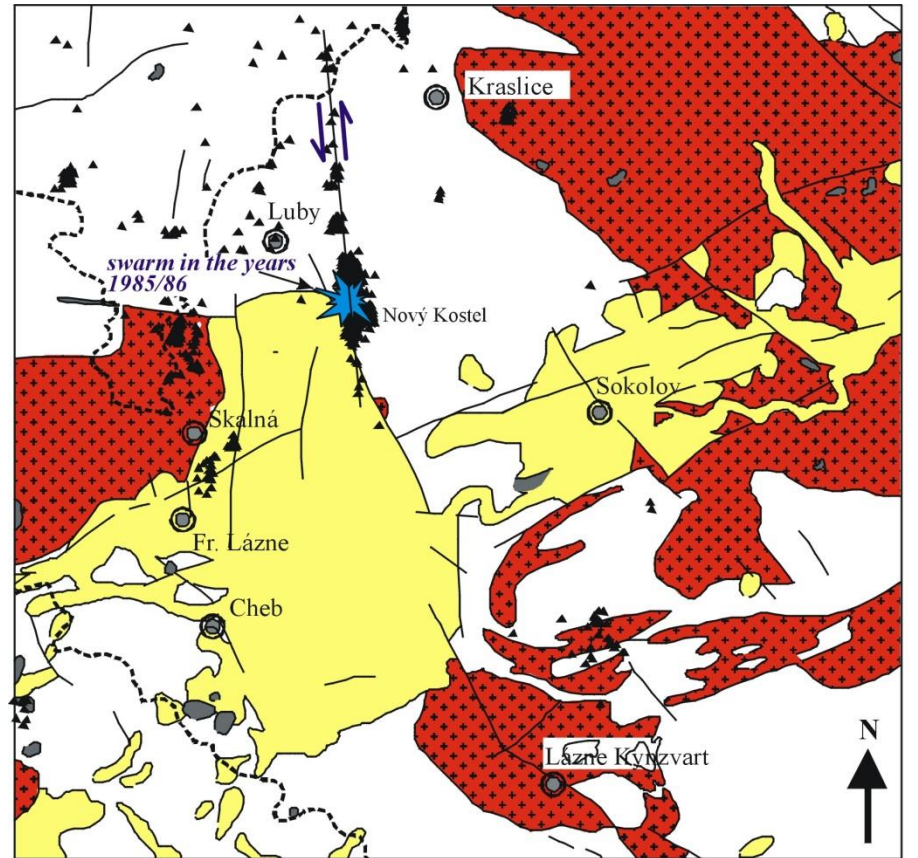


pliocenní a kvartérní sedimentace s vazbou na zlomy: v prostoru chebské pánve probíhala významná pliocenní sedimentace, rozšířená je též kvartérní sedimentace

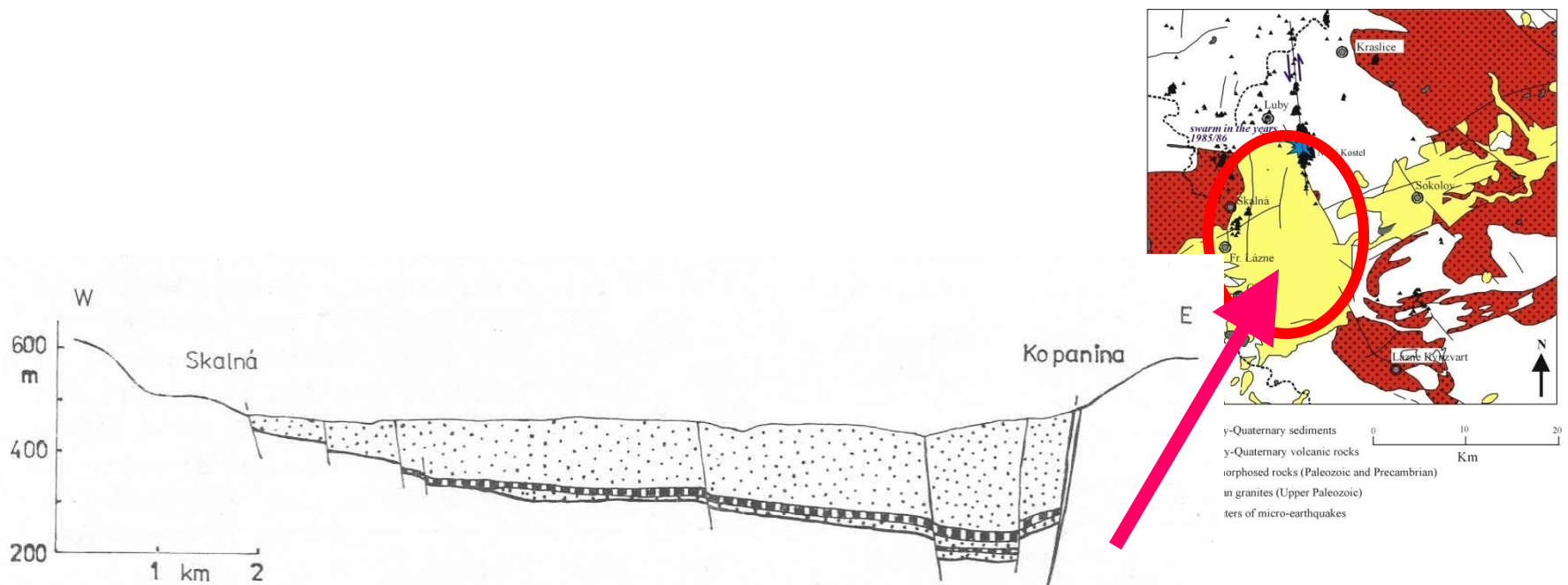


Quaternary sediments
Quaternary volcanic rocks
metamorphosed rocks (Paleozoic and Precambrian)
granites (Upper Paleozoic)
centers of micro-earthquakes

Tektonické omezení chebsko-domažlického příkopu na východě je tvořeno mariánsko-lázeňským zlomem (či spíše zlomovou zónou) jehož recentní aktivita byla pokládána za příčinu seismické aktivity v oblasti Nového Kostela.



Nejmocnější sedimenty (největší subsidence bazénu) jsou soustředěny právě při vsv. tektonickém omezení chebské pánve, které je tvořeno pokračováním mariánsko-lázeňského zlomu.

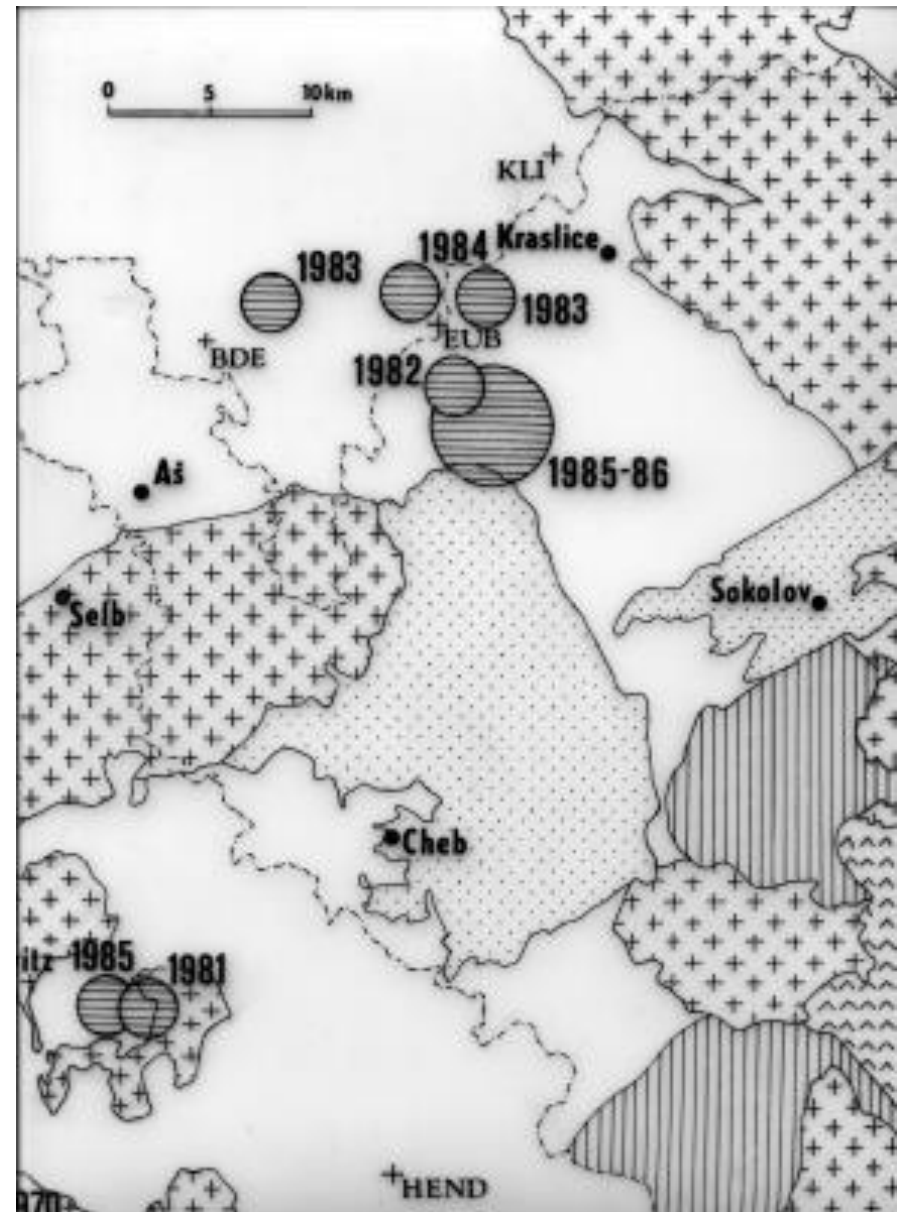


Obr.2. Asymetrická stavba chebské terciérní pánve s kenozoickými sedimenty a hnědouhelnou slojí

Seismicita západních Čech je známá i z historických pramenů.

Má rojový charakter – série otřesů bez převládajícího hlavního otřesu.

Nejsilnější otřes byl pocítěn 21.12.1985, lokální magnitudo mělo hodnotu 4.8 (podle GRF 5.1), epicentrální intenzita byla 7° MSK-64.



Seismický roj 1985/86 trval řádově měsíce. Kromě nejsilnějšího otřesu z 21.12.1985 bylo pocítěno několik dalších otřesů s lokálním magnitudem vyšším než 3.

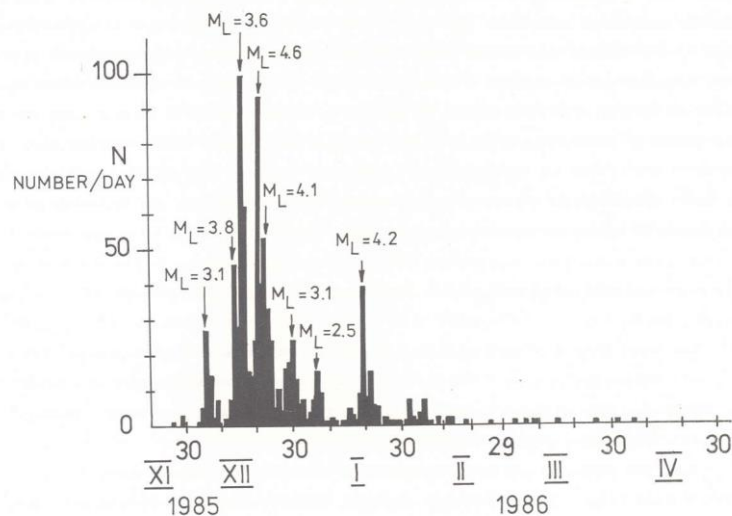
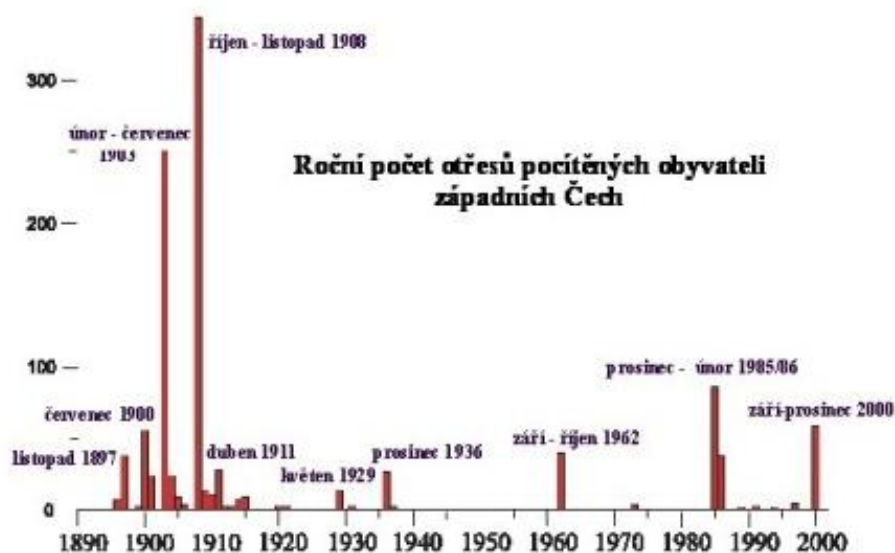
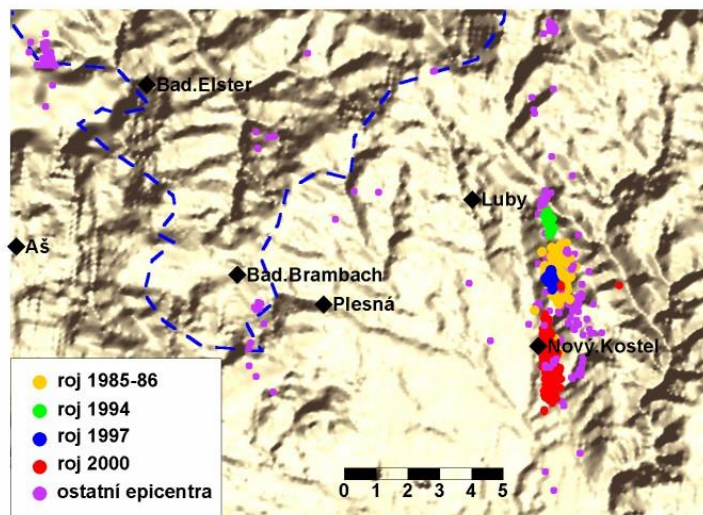
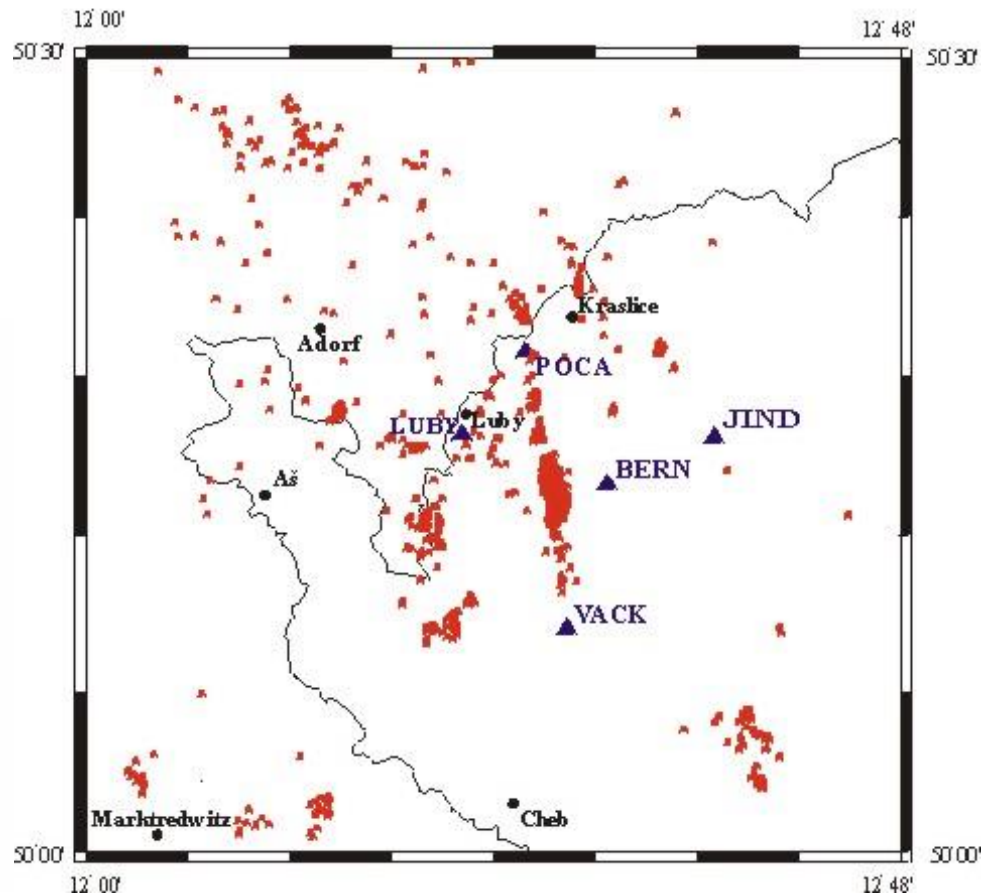


FIG. 5. Dependence of the daily number of shock N recorded macroseismically on time during the 1985/86 earthquake swarm (November 1985 - April 1986); local magnitudes of the strongest events in individual active periods are marked.

Seismická aktivita je většinou soustředěna do několika epicentrálních oblastí, nejvýznamnější je epicentrální oblast Nového Kostela.

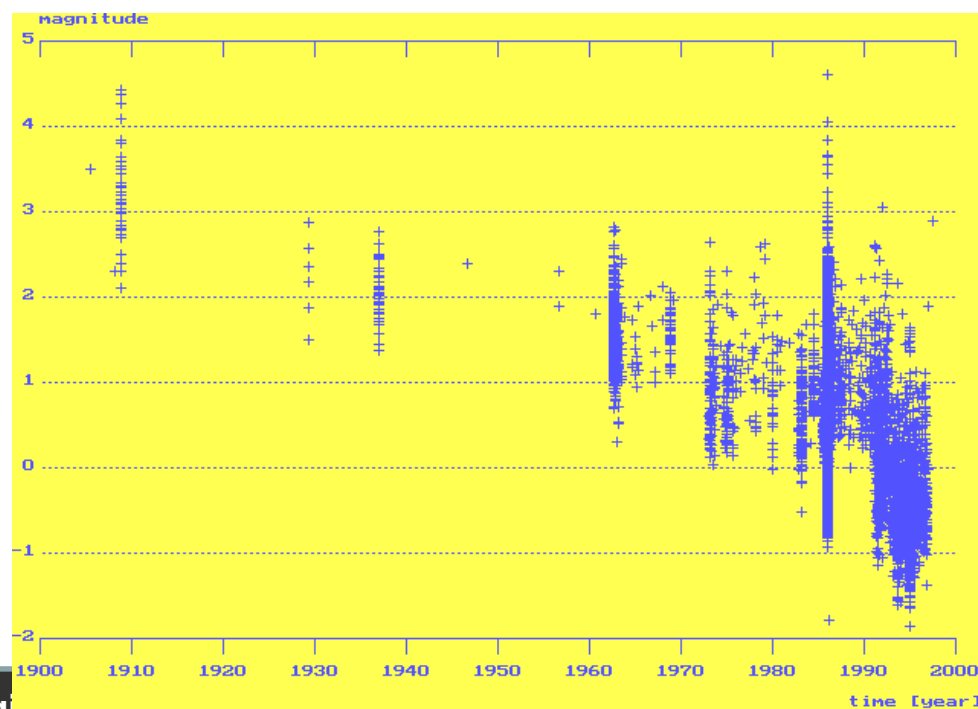


Mapa epicenter za období 1991 - 1999

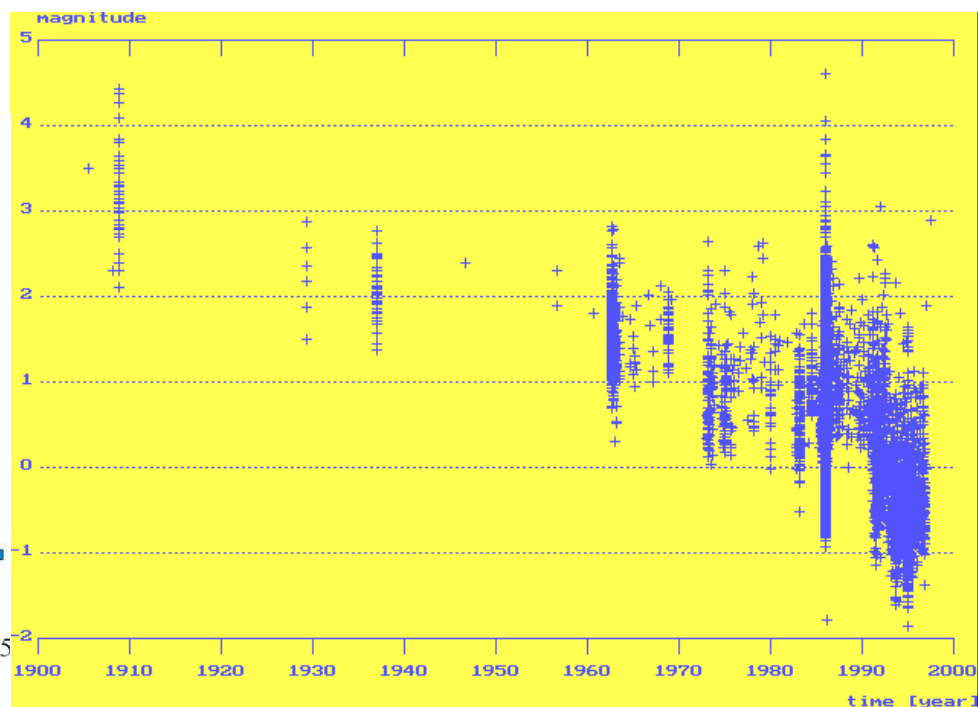
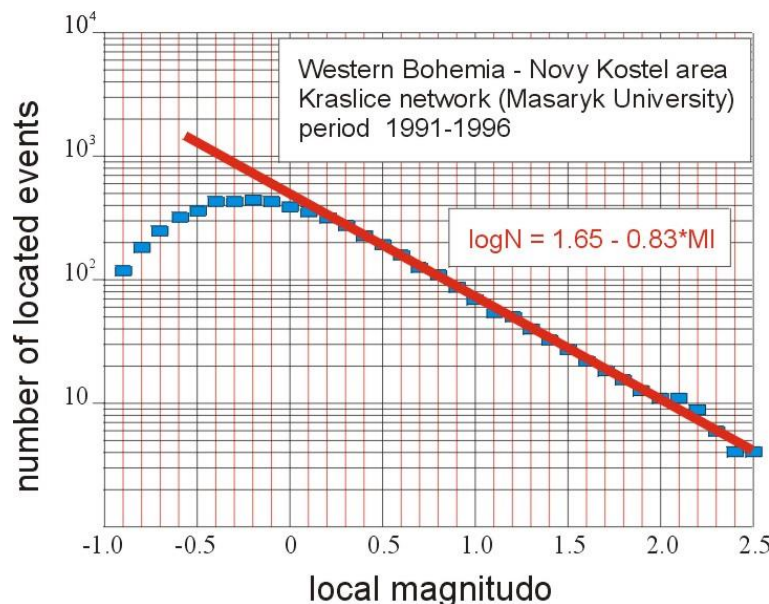


V průběhu seismického roje přístroje zaznamenávají obvykle řádově stovky až tisíce otřesů.

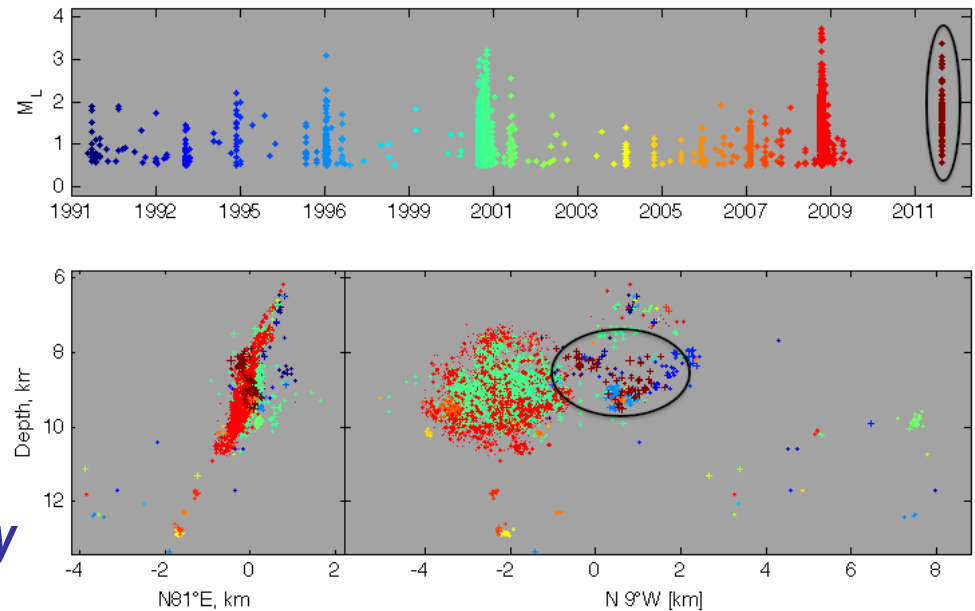
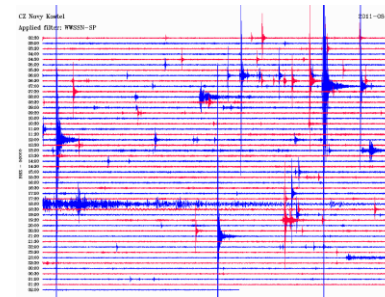
Rostoucí počet detekovaných otřesů úzce souvisí také s rostoucí detekční schopností seismické sítě v regionu západních Čech (rostoucí počet stanic).



Lokální magnitudo nejsilnějších otřesů v jednotlivých rojích má obvykle hodnotu kolem 3, jen výjimečně dosahuje hodnoty 4 a více (maximální zjištěné lokální magnitudo je 4.8). Lokální magnitudo otřesů zaznamenaných mimo seismické roje zřídka přesahuje hodnotu 2.



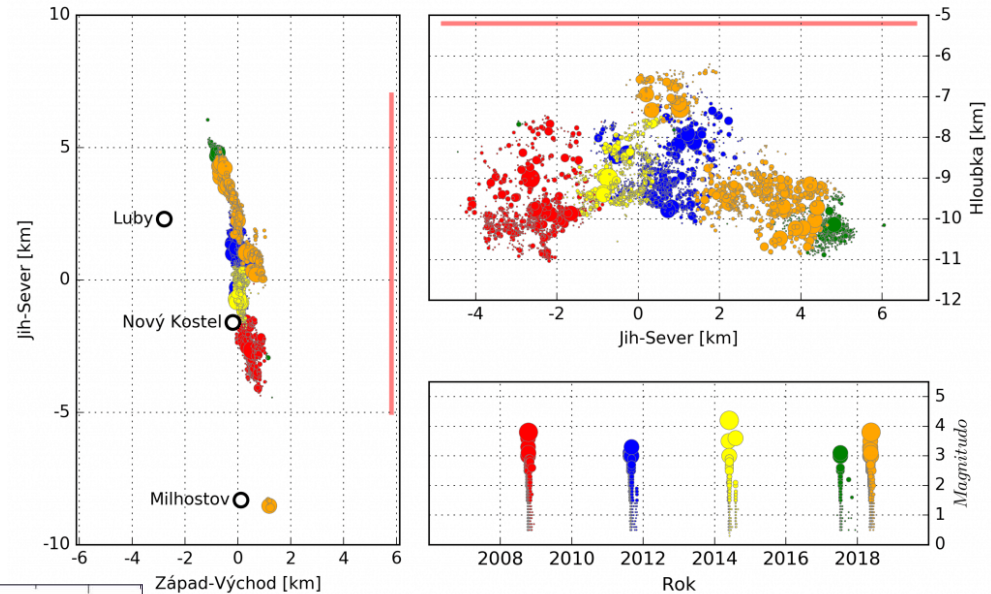
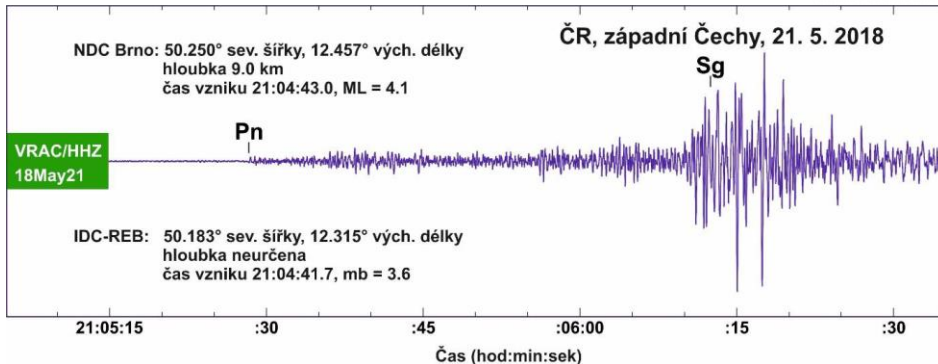
Nejnověji byly v regionu západních Čech (ep. oblast Nový Kostel) seismické roje pozorovány v letech 2008, 2011, 2014, 2017 a 2018.



Průběh roje v roce 2011 (WWW stránky GFÚ AV, WEBNET)

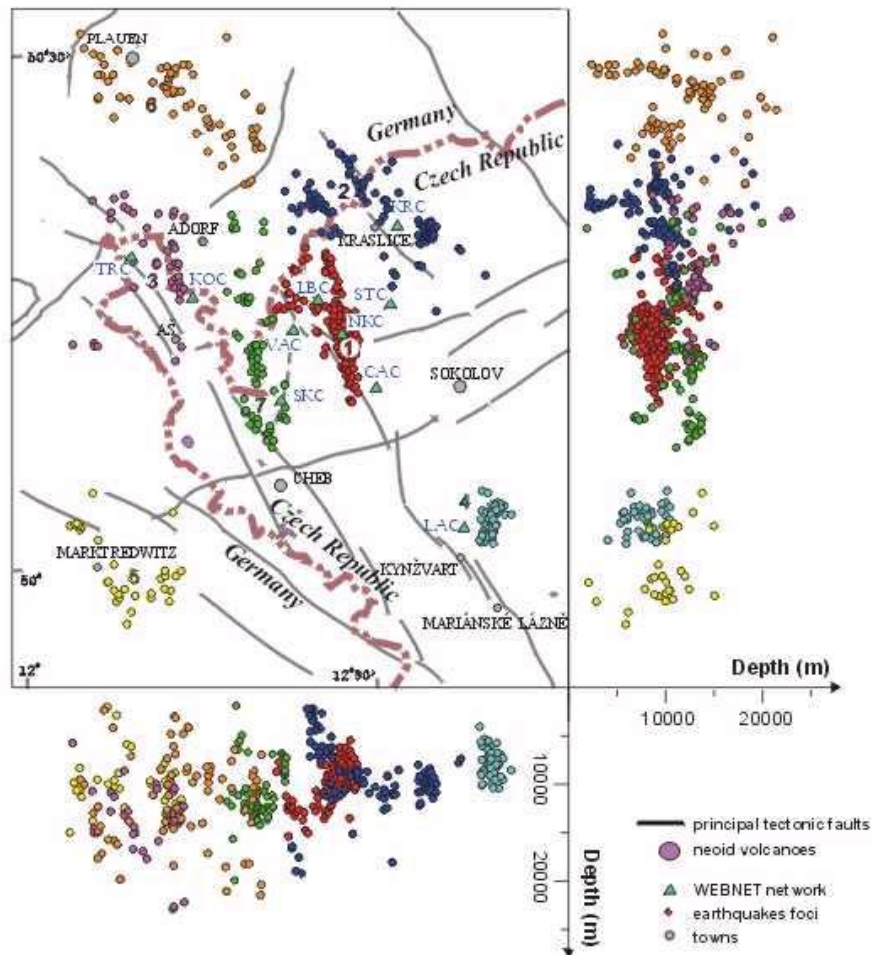
V posledním desetiletí je patrné určité posouvání seismicky aktivního segmentu směrem k severu. Magnitudo nejsilnějších otřesů přesáhlo hodnotu 4.

Záznam západočeského zemětřesení z května 2018 na stanici VRAC u Brna (IPE, MU Brno)

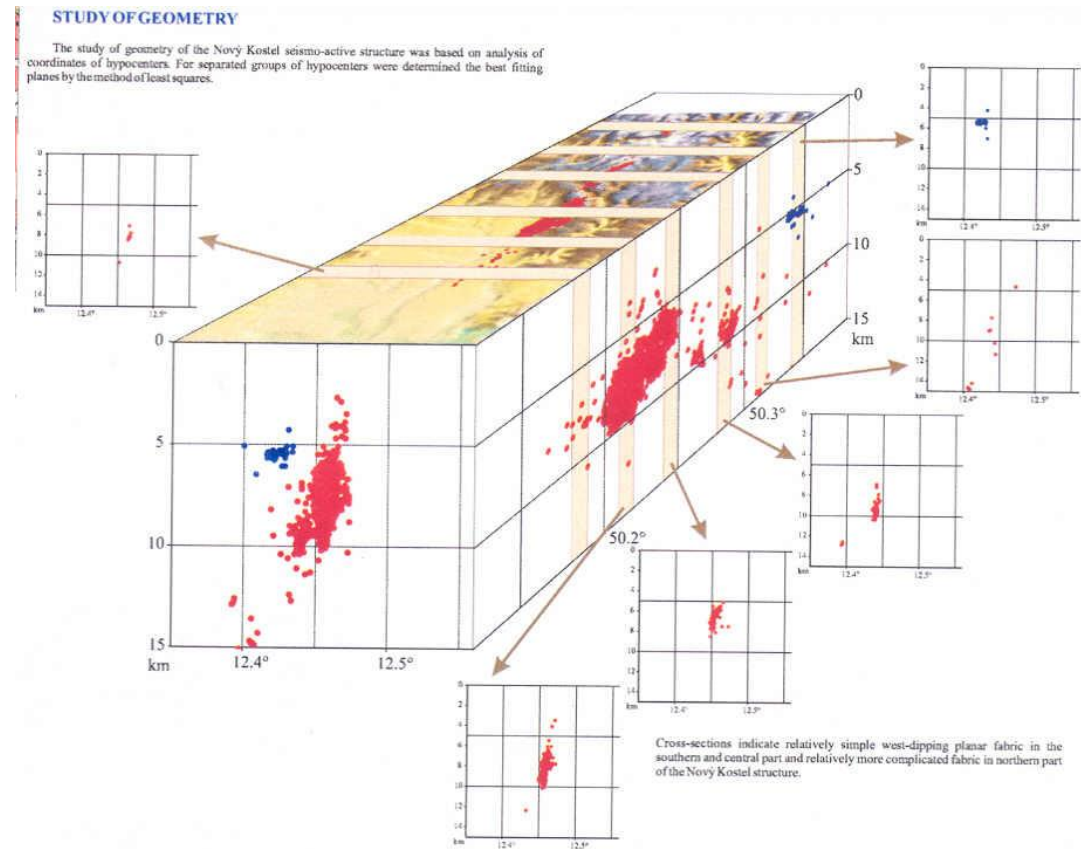


Průběh roje v roce 2011 (WWW stránky GFÚ AV, WEBNET)

Hypocentra otřesů jsou mělká, jen výjimečně a jen v některých epicentrálních oblastech překračují hloubku 20km.



V epicentrální oblasti Nového Kostela se hloubky hypocenter pohybují většinou mezi 5 a 11km, hodnotu 20km zde nepřekračují.



Schematic E-W cross-sections of the Nový Kostel seismo-active structure (examples of six cross-section are shown). Block of Nový Kostel region is cut by E-W sections into 0.01° (≈1 km) wide plates, hypocenters from each plate are plotted in one cross-section.

Prostorová distribuce hypocenter ukazuje existenci recentně aktivní zóny směru SSZ-JJV až S-J ukloněné strmě k západu („zóna Nový Kostel-Počátky-Zwota“ podle Nehybky a Skácelové 1995, „zóna Počátky-Plesná“ podle Bankwitz et al. 2003).

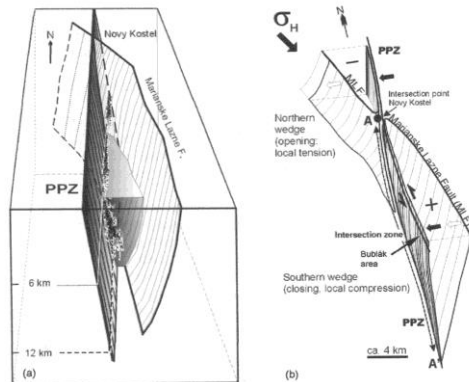
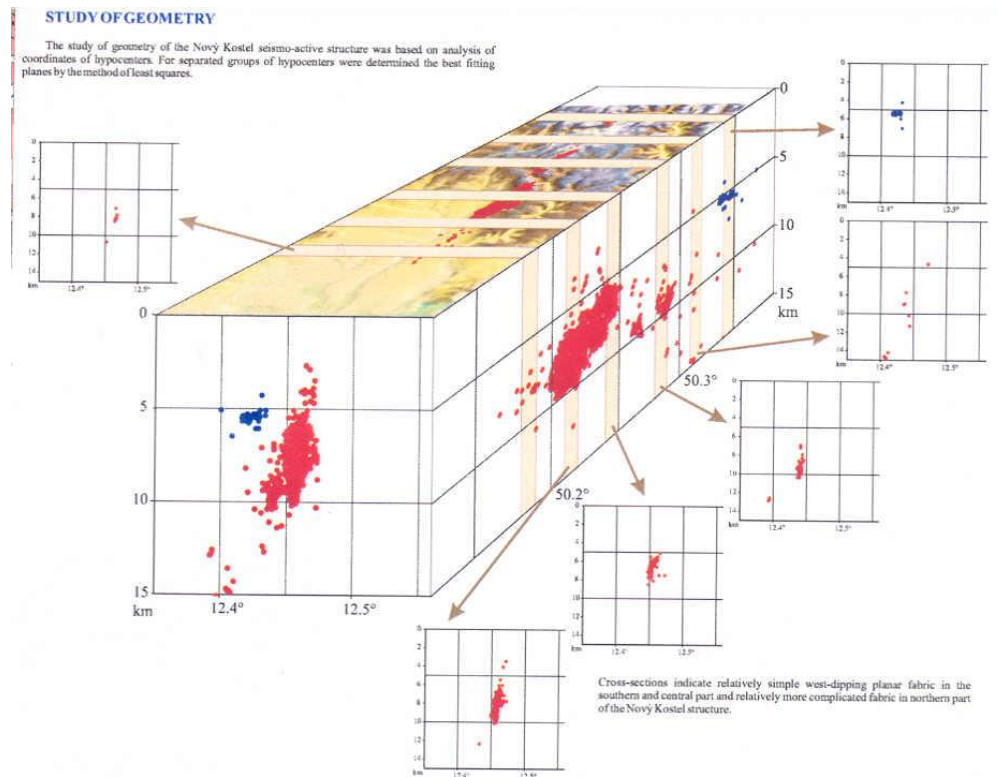


Fig. 13. Scheme of the geometric configuration of the PPZ and the Mariánské Lázně fault. (a) Schematically illustrated hypocenter clusters along the PPZ are added at depths between 6 and 12 km, to the south and north of Nový Kostel according to Horáček et al. (2000). (b) Crustal wedges enveloped by the two faults with various local stress conditions south and north of Nový Kostel. A-A', Intersection zone between PPZ and MLF. (a) and (b) out of scale.



Schematic E-W cross-sections of the Nový Kostel seismo-active structure (examples of six cross-section are shown). Block of Nový Kostel region is cut by E-W sections into 0.01° (1-1 km) wide plates, hypocenters from each plate are plotted in one cross-section.

Prostorová distribuce hypocenter ukazuje existenci recentně aktivní zóny směru SSZ-JJV až S-J ukloněné strmě k západu - **tato zóna je kosá k mariánsko-lázeňskému zlomu.**

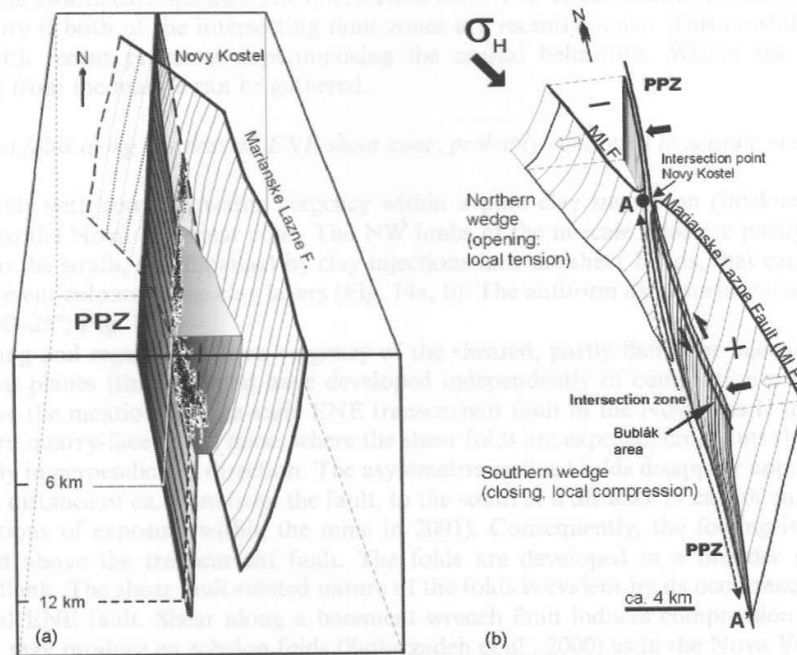


Fig. 13. Scheme of the geometric configuration of the PPZ and the Mariánské Lázně fault. (a) Schematically illustrated hypocenter clusters along the PPZ are added at depths between 6 and 12 km, to the south and north of Nový Kostel according to Horálek et al. (2000). (b) Crustal wedges enveloped by the two faults with various local stress conditions south and north of Nový Kostel. A-A', Intersection zone between PPZ and MLF. (a) and (b) out of scale.

Fokální mechanismy ukazují významný podíl horizontální složky na celkovém směru skluzu podél zlomových ploch. Zjištěné fokální mechanismy dovolují také určit orientaci hlavních os napětí v regionu západních Čech.

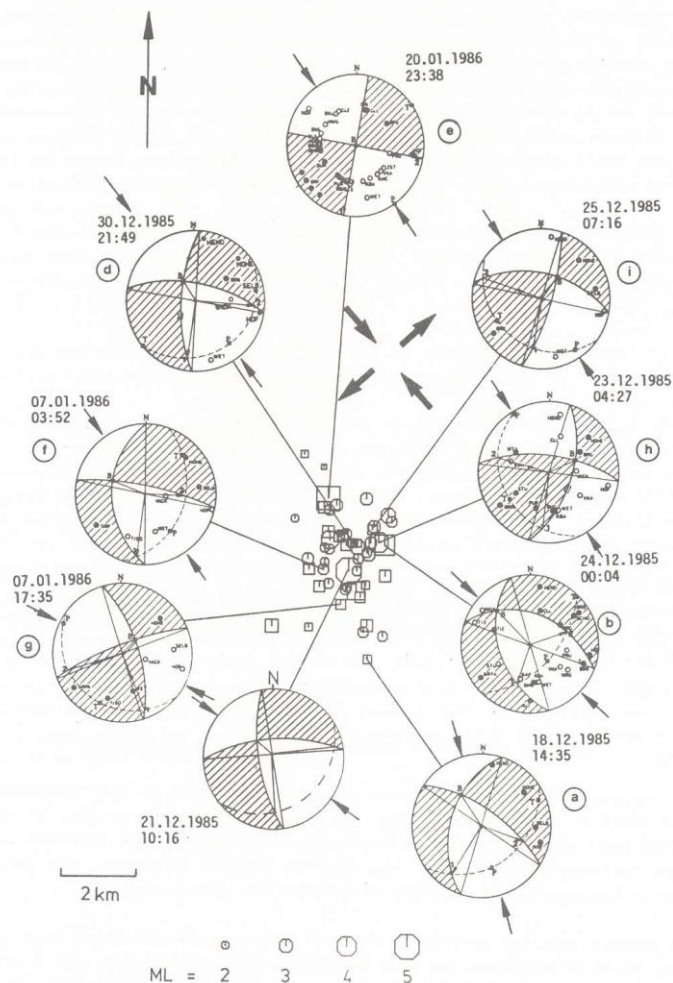
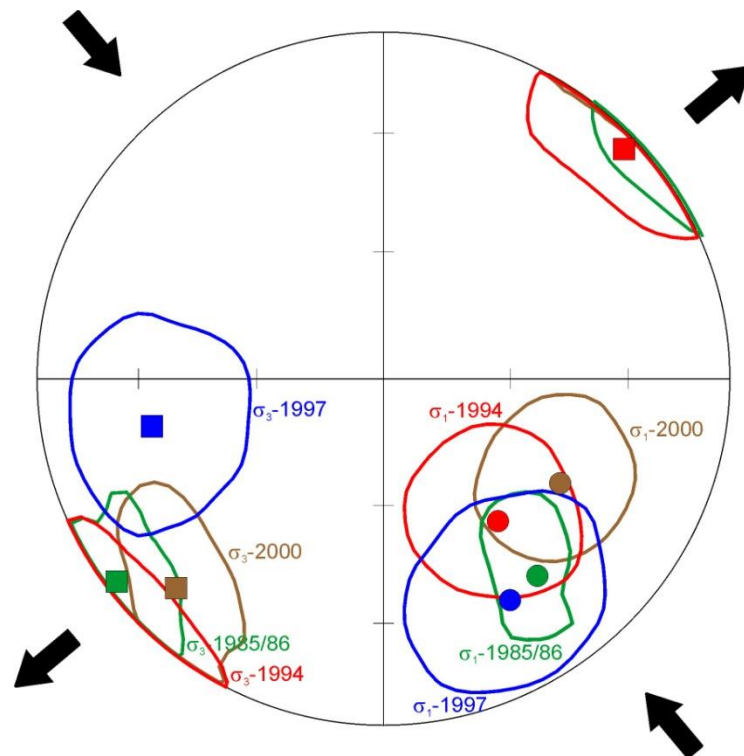


Fig. 8. Focal mechanisms and spatial distribution of foci for the 1985/86 Western Bohemia earthquake sequence. The balloon diagrams are keyed to Fig. 7. Octagons and squares are epicenters located during the period Dec. 18, 1985 to Feb. 6, 1986. Reverse oblique-slip faulting ((h), (i), (g)) occurs south-west and north-east of the December main shock. The mechanisms (e), (d), (f), the main shock (h), and (a), situated from north to south along the Mariánské Lázně Fault, indicate an increasing normal faulting component to the south of the active area. The direction of the P-axes of the fault plane solutions and the average orientation of the horizontal local stress field are also indicated.

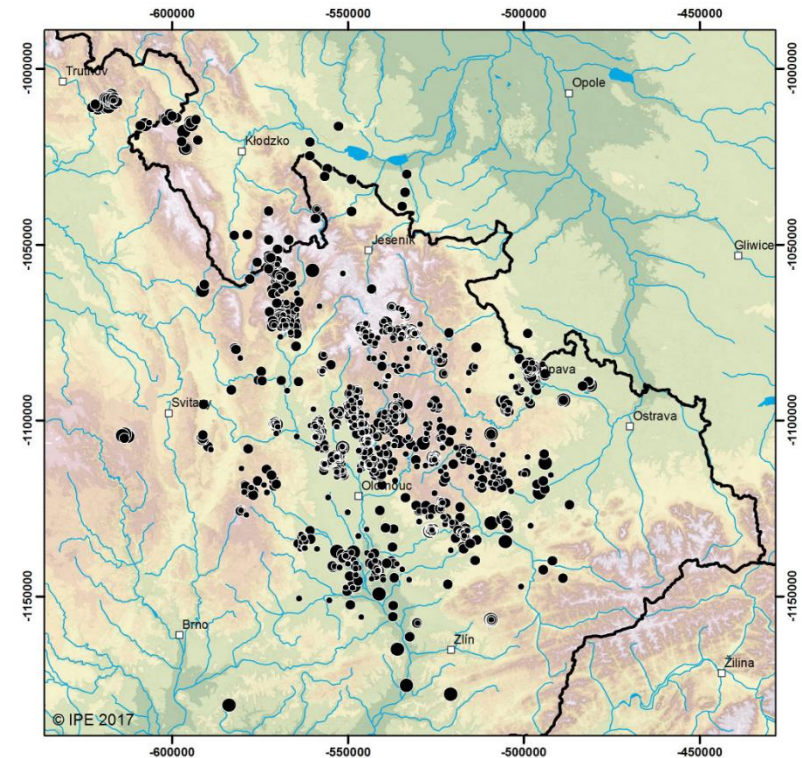
Zjištěné fokální mechanismy dovolují také určit orientaci hlavních os napětí v regionu západních Čech. **Maximální komprese působí ve směru SZ-JV, maximální extenze ve směru SV-JZ.**



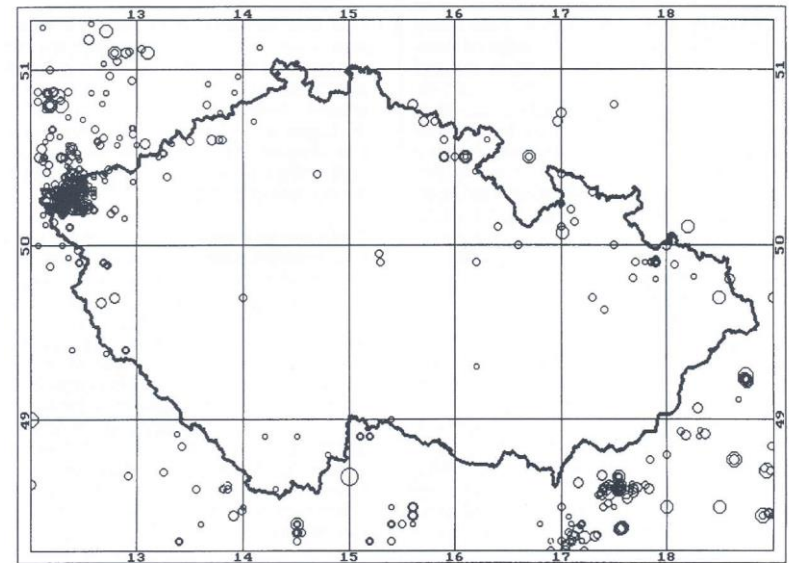
Comparison of results of the stress analyses (60% of planes fit) using the program BRUTE3 (Hardcastle, Hills 1991): for analyses, there were used focal mechanisms of events of 1985/86 swarm (green contours), 1994 swarm (red contours), 1997 swarm (blue contours) and 2000 swarm (brown contours). Circles - eigenvectors of acceptable maximum compression axes, squares - eigenvectors of acceptable maximum extension axes (Lambert projection, lower hemisphere).

region sv. části Českého masivu

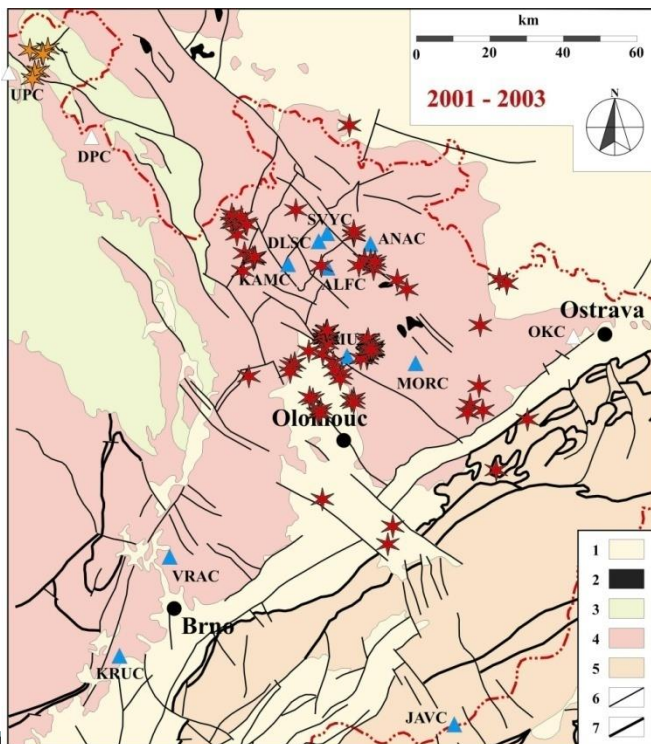
Sv. okraj Českého masivu patří k regionům s relativně častými výskyty tektonických otřesů. Magnitudo instrumentálně registrovaných jevů stanicemi IPE se pohybovalo v rozmezí od -1,4 do 3,5.



V regionu sv. části Českého masivu známe také makroseismické projevy některých historických zemětřesení (např. Šternberk, 1843, $I=4^\circ$; Šternberk, 1883, $I=5^\circ$; Hrubý Jeseník, 24.7.1935, $I=5^\circ$; Šternberk, 10.9.1986, $I=4.5^\circ$). Makroseismické projevy ukazují na pokračování seismicky aktivní oblasti také na území Polska (region Niemcza, 11.6.1895, $I=7^\circ$) a do širšího okolí hronovsko-poříčské poruchy (Hronov, 10.1.1901, $I=7^\circ$).



Seismická aktivita v sv. části Českého masivu je mnohem méně prozkoumána, než seismicita regionu západních Čech. Seismická aktivita v tomto regionu byla sledována pomocí lokální sítě teprve od roku 2001 (sítě Dlouhé Stráně a MONET, provozované ÚFZ MU Brno).



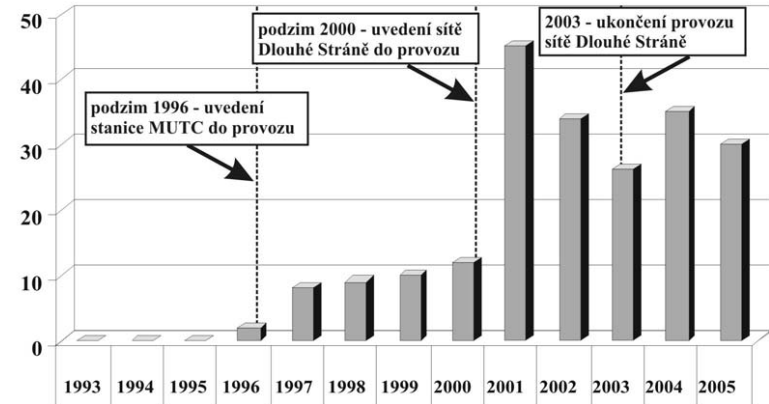
Stanice DLSC umístěná v hrázi nádrže Dlouhé Stráně.

Síť Dlouhé Stráně byla v provozu v letech 2001 až 2003.

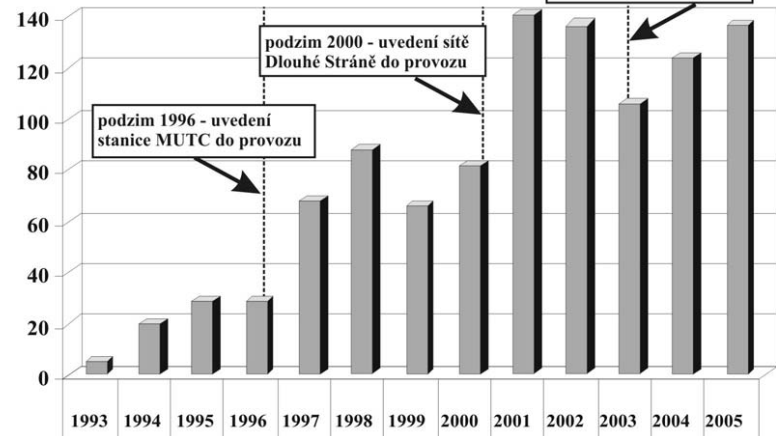


- ▲ stanice provozované ÚFZ
- △ stanice České Regionální Seismické Síť
- * epicentra mikrozměťšení lokalizovaná programem HYPO3D
- * epicentra mikrozměťšení lokalizovaná programem LocSAT

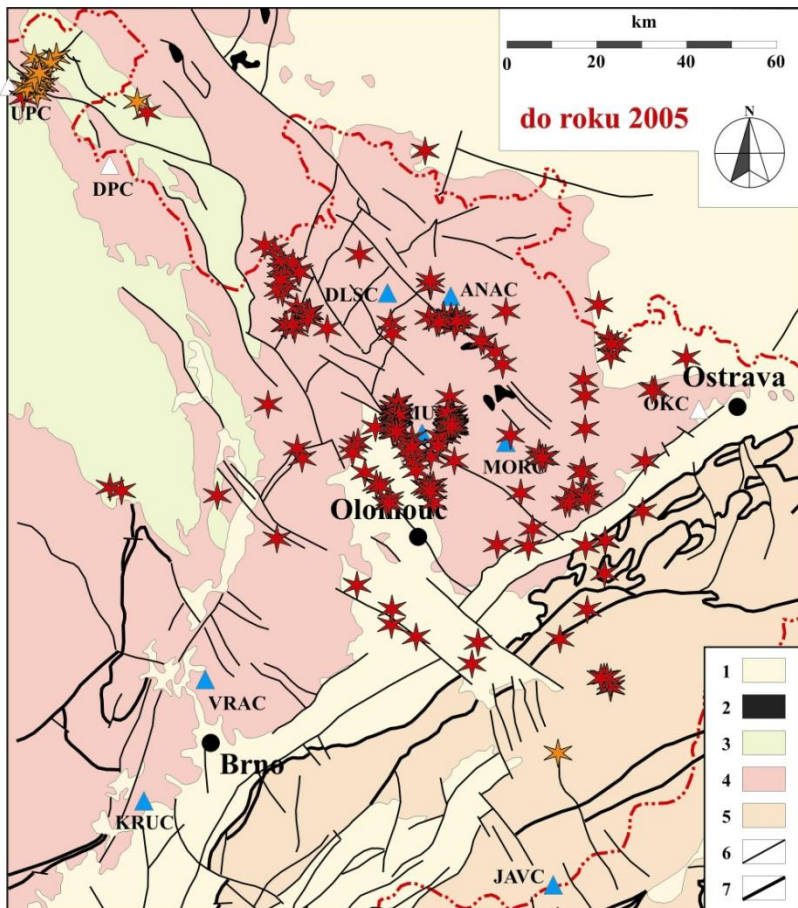
a) počty jevů lokalizovaných na ÚFZ programem HYPO3D



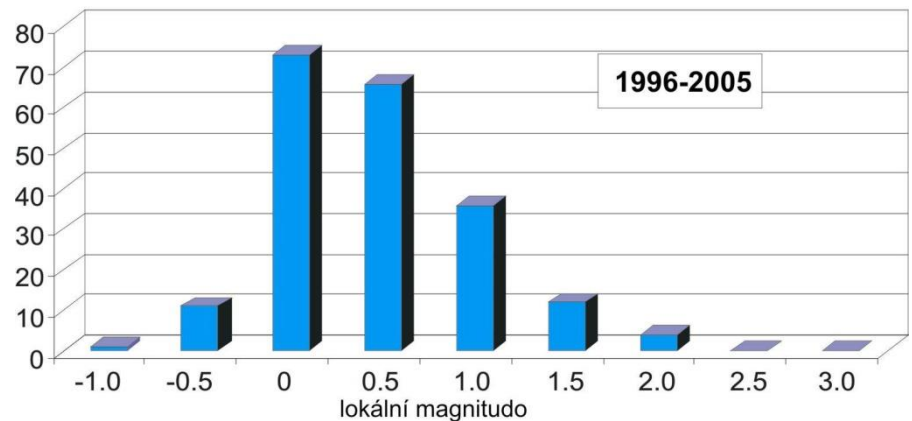
b) počty jevů detekovaných stanicemi ÚFZ



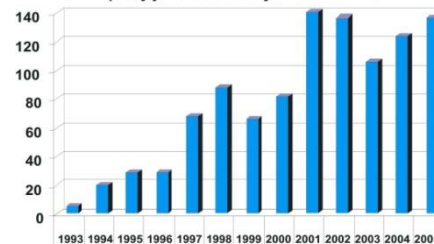
Během přístrojového monitorování od roku 1993 bylo stanicemi ÚFZ detekováno více než 3000 mikrozemětřesení ze sv. části Českého masivu.



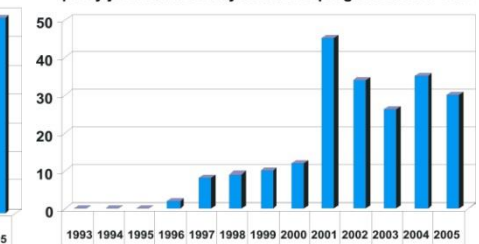
počty jevů lokalizovaných na ÚFZ programem HYPO3D



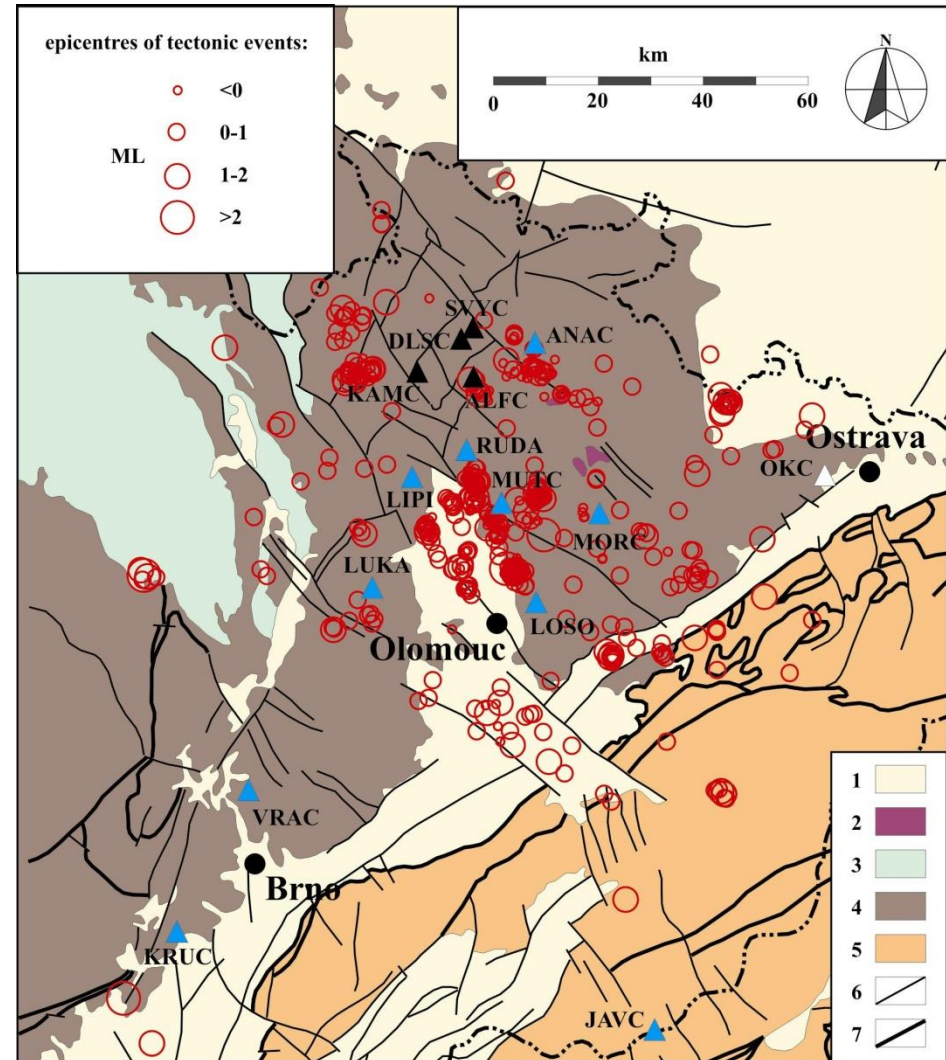
počty jevů detekovaných stanicemi ÚFZ



počty jevů lokalizovaných na ÚFZ programem HYPO3D



Otřesy byly zaznamenány v různých epicentrálních oblastech. K významným zdrojovým oblastem patří např. regiony v okolí Šternberka (Rýžoviště, Lašťany).



Epicentra lokalizovaných přirozených zemětřesení do roku 2011

Magnitudo zaznamenaných otřesů se pohybuje obvykle do 2, výjimečně byly zaznamenány silnější otřesy

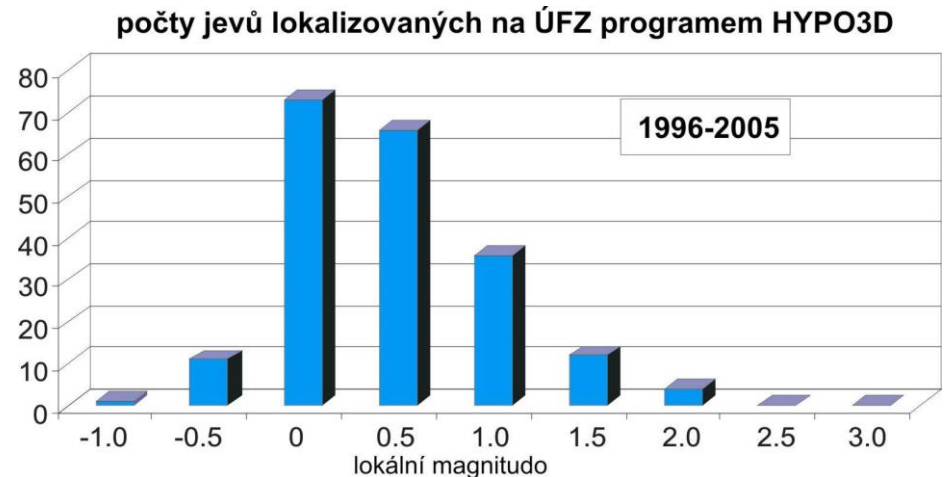
13.6.1993, Opavsko, ML ~ 2.5;

31.12.2005, jv. od Šternberka, ML=2.2

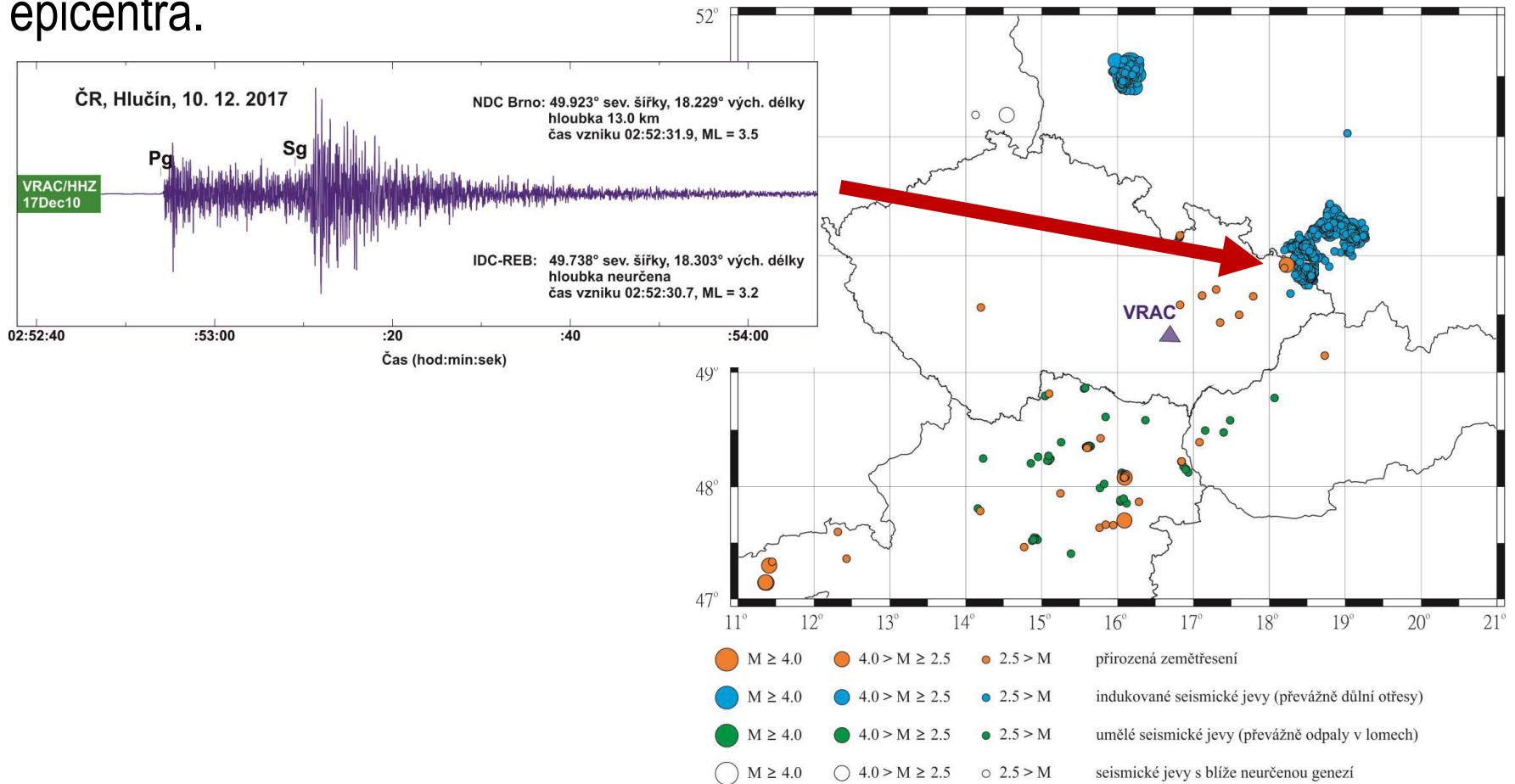
5.5.2010, Králíky, ML = 2.5

14.6.2012, Alfréfka – Hrubý Jeseník, ML = 2.3

10.12.2017, Hlučín, ML = 3,5



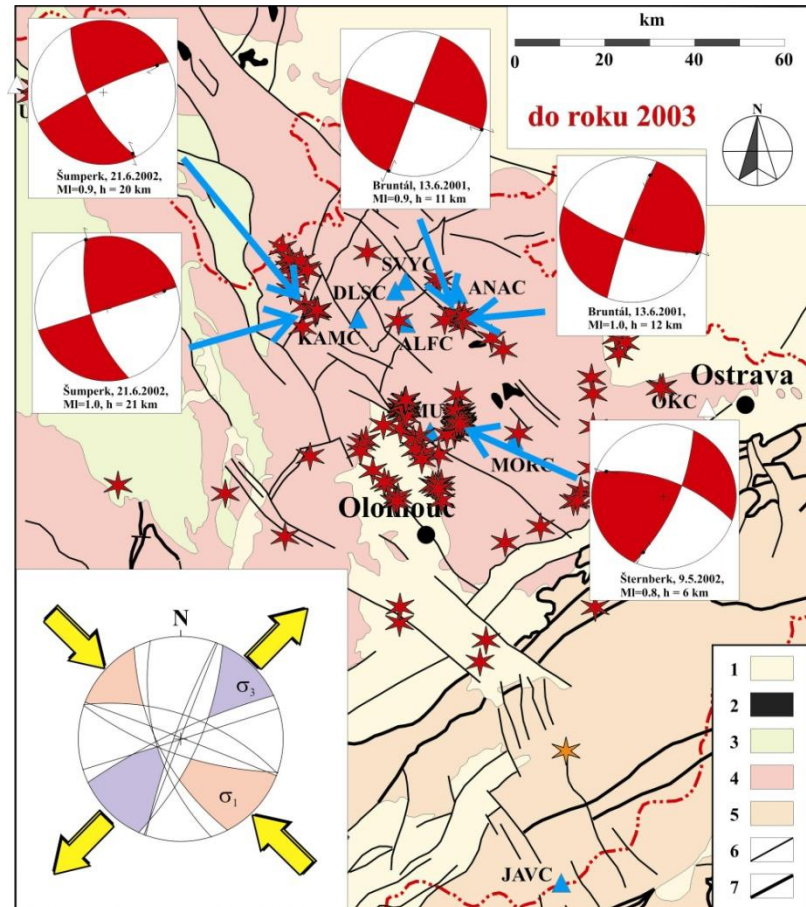
Zemětřesení u Hlučína ze dne 10. 12. 2017 (ML = 3,5) bylo makroseismicky pocíťeno mnoha obyvateli až do vzdálenosti 80 km od epicentra.



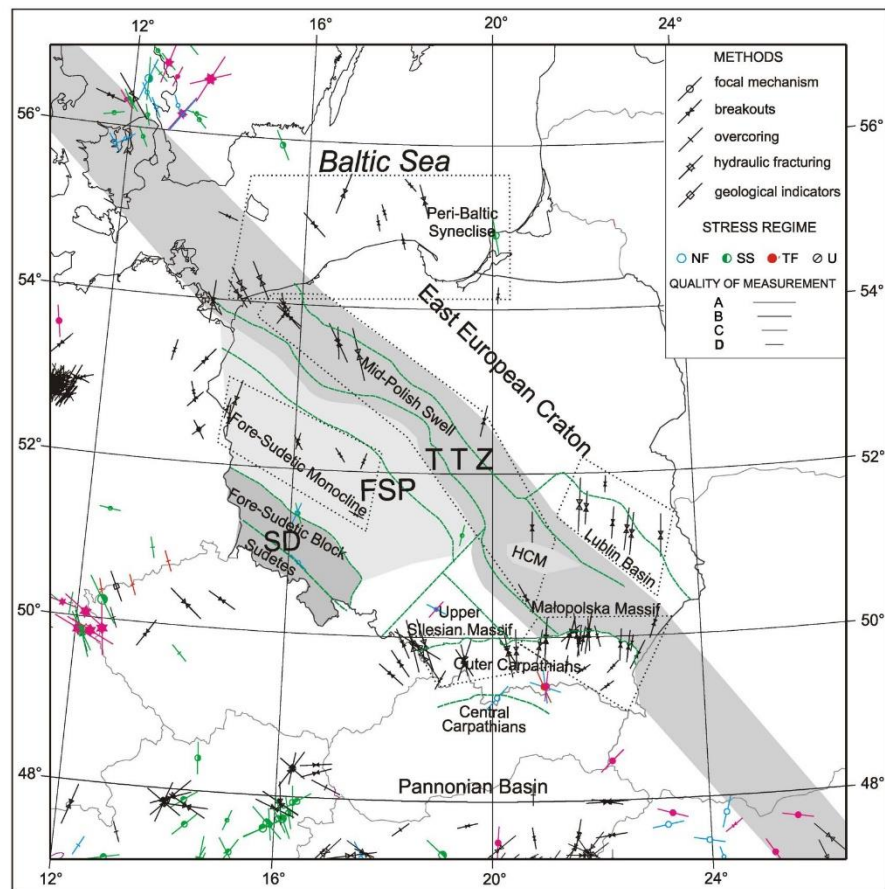
Seismicita má v některých epicentrálních oblastech rojový charakter. Maximální lokální magnitudo jevů většiny sekvencí seismických jevů je velmi nízké. Proto jsou zaznamenány jen „nejsilnější“ otřesy sekvence, často jen několik otřesů (počet zaznamenaných otřesů jednoho "roje" zatím nepřesáhl první desítky).

Seismická aktivita byla zjištěna také v podloží karpatských příkrovů, hloubka těchto otřesů ukazuje, že hypocentrum je situováno v kůře Českého masivu a nikoli v jednotkách západokarpatských příkrovů.

U několika otřesů byly vypočteny fokální mechanismy, které ukazují na **kompresi** působící ve směru **SZ-JV** až **SSZ-JJV** a **extenzi** působící ve směru **SV-JZ** až **VSV-ZJZ**.



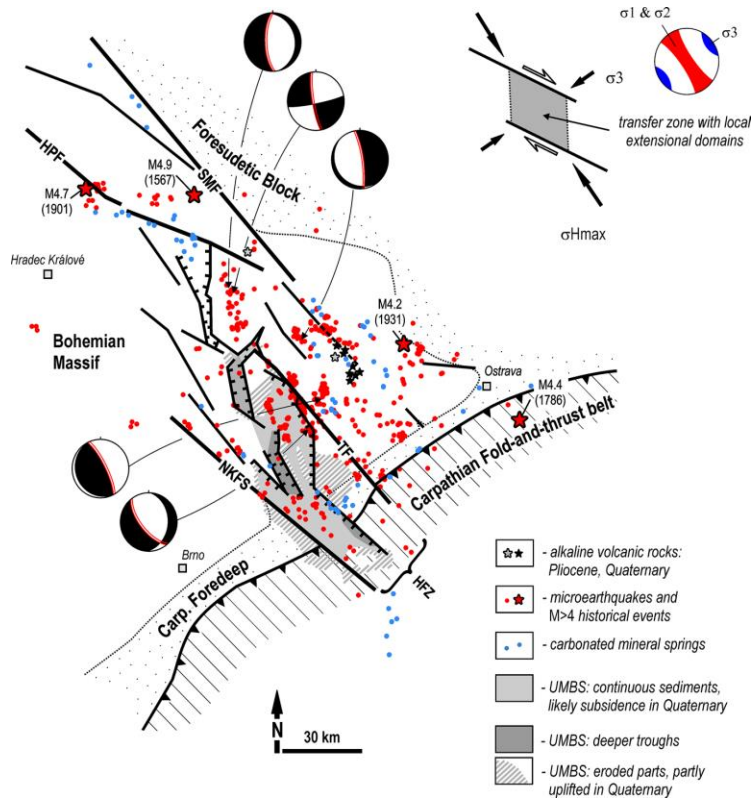
Podobný obrázek regionálního napětového pole ukazují v širším měřítku také výsledky z vrtů založené zejména na metodách breakoutů a hydroporušování.



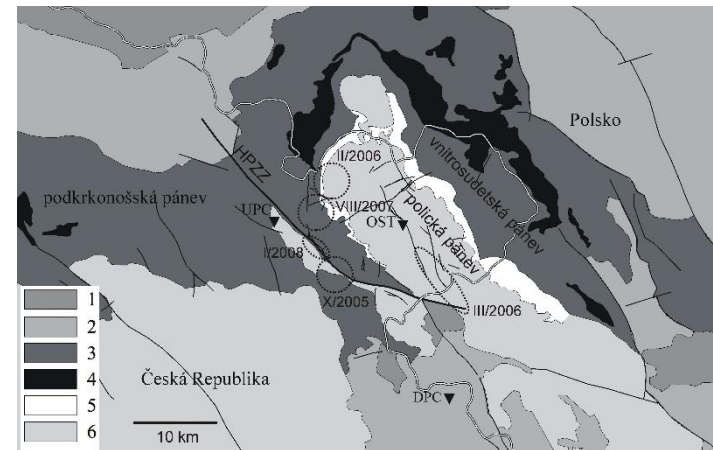
(Jarosiński 2006)

Fig. 1. Intraplate stress indicators showing the maximum horizontal stress (S_{1max}) directions for Poland and adjacent areas from the World Stress Map Database (Reinecker *et al.*, 2005), supplemented with data provided by Wiejacz (1994, 2004), Dębski *et al.* (1997), Roth and Fleckenstein (2001), Jarosiński (2005a)

K severozápadu navazuje na slabě seismicky aktivní region sv. části Českého masivu aktivní zóna hronovsko-poříčské poruchy.



(Špaček et al. 2015)

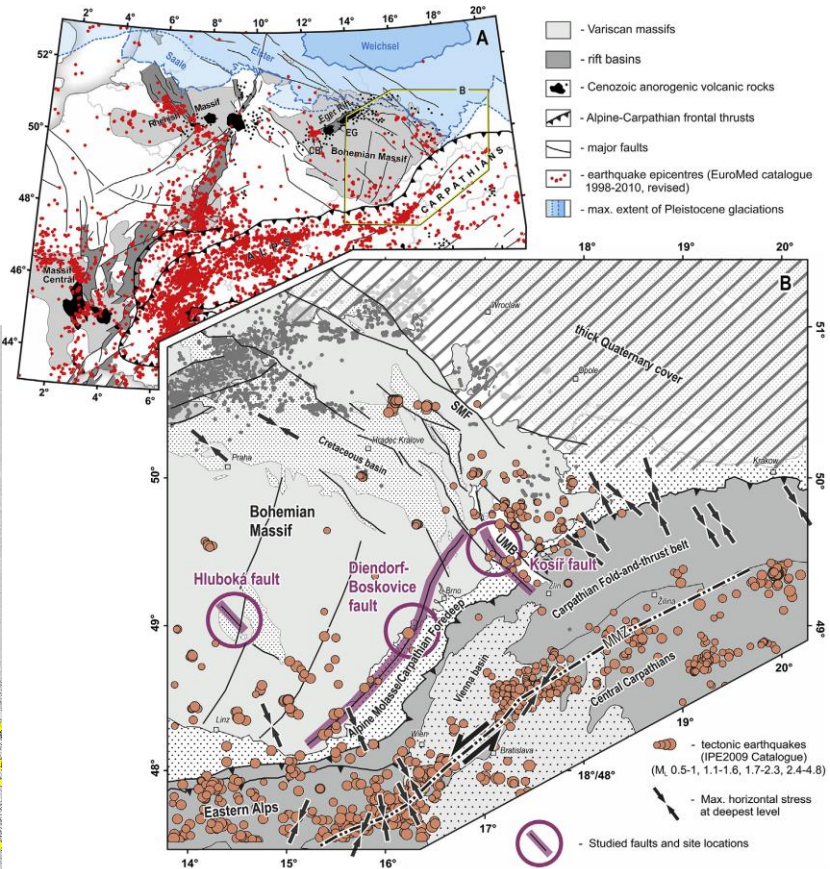
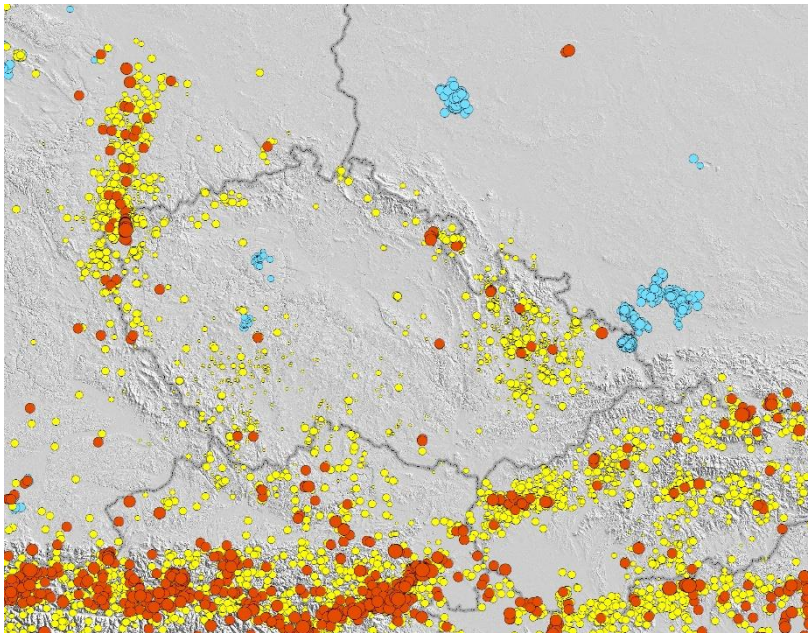


(Málek et al. 2008)

region j. části Českého masivu

Na našem území jsou tektonické otřesy v j. části Českého masivu méně časté, sporadicky se ale vyskytují i zemětřesení s magnitudem vyšším než 2.

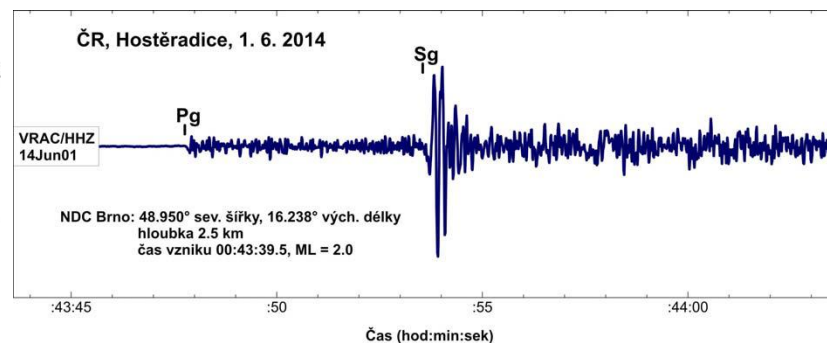
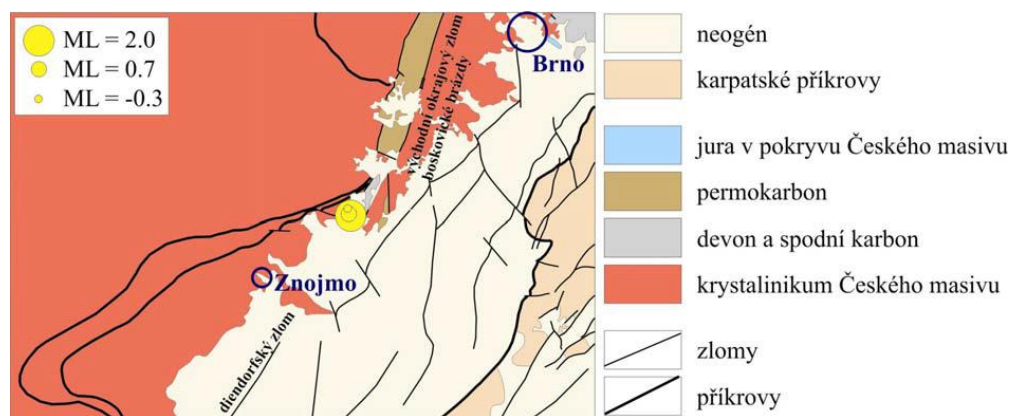
Epicentra zemětřesení a indukovaných otřesů z let 2000-2018 (Pazdírková, IPE, Brno).



(Špaček et al. 2015)

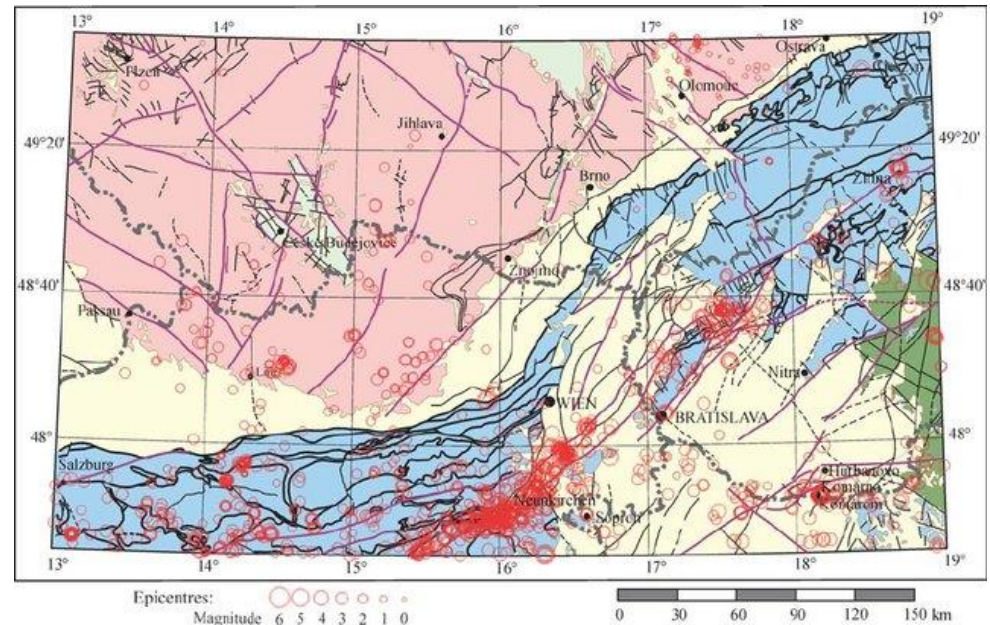
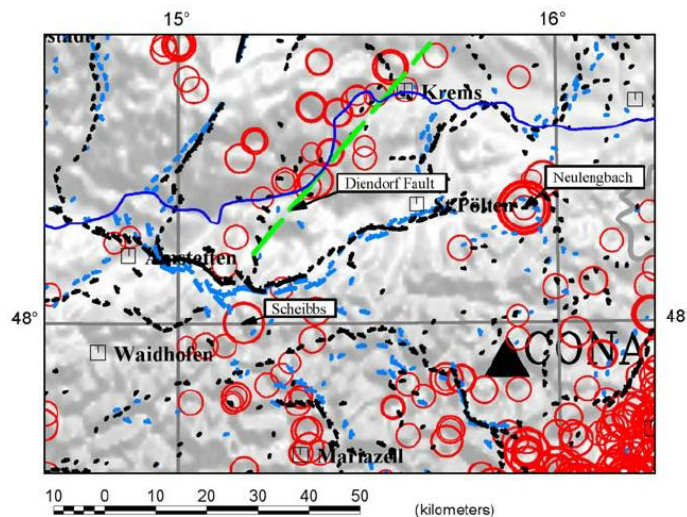
Při j. ukončení boskovické brázd, sv. od Znojma, byl poprvé zaznamenán tektonický otřes v roce 2000 (17. 8. 2000, ML = 2,5).

Od té doby bylo zaznamenáno několik dalších otřesů s magnitudem od -0,3 do 2,0.



Epicentra tří tektonický otřesů zaznamenaných v červnu 2014 v prostoru j. ukončení boskovické brázd (u Hostěradic).

Relativně významnější seismická aktivita je spojována s diendorfským zlomem (rakouská část Českého masivu).



***Epicentra zemětřesení na podkladu mapy linsserových linií
(Lenhardt et al. 2007)***