

A photograph of a forest in autumn. The trees have vibrant orange, red, and yellow leaves. The ground is covered in fallen leaves. A semi-transparent text box is overlaid in the center.

Vybrané metody morfostrukturní analýzy

Morfostrukturní analýza

➤ soubor metodických postupů

-» objasnění vztahu geologické struktury (litologické a strukturní poměry) a reliéfu na daném území

➤ výsledky dílčích analýz (analýza údolní sítě, říčních teras, zarovnaných povrchů, zlomová a puklinová analýza) - vzájemné porovnávání

▭ výsledky morfostrukturní analýzy:

- zjištění vlastností morfostruktur
převládající strukturní směry, horniny, faktory ovlivňující reliéf
- zjištění vlivu na vznik současného reliéfu
reliéf x predispozice
- poznání morfostrukturní stability zkoumaného území
potenciál změn - aktivní tektonika, aj.

Morfostrukturní syntéza

- regionalizace (vymezení jednotlivých morfostrukturních celků),
komplexní informace o vztahu zkoumané morfostruktury
k ostatním výše postaveným morfostrukturám a o její vnitřní
diferenciaci (Lacika 1997)
 - stanovení geomorfologického vývoje území
-

Metody dílčích analýz

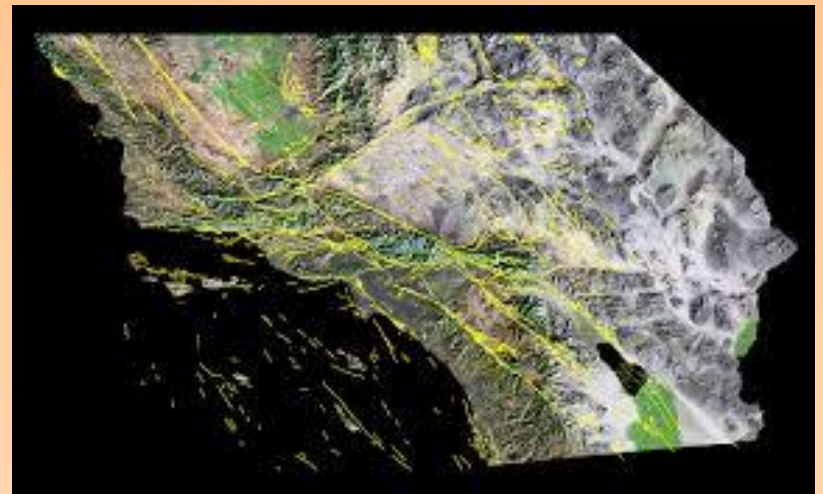
➤ Metody založené převážně na terénním výzkumu
(terénní část výzkumu)

- geomorfologické mapování vybraných tvarů reliéfu
- strukturní měření
- analýza vybraných typů sedimentů

➤ Morfometrické metody

(kamerální část výzkumu)

- mapové podklady (analogové, digitální - DMR)
- data DPZ (letecké, satelitní, radarové snímky)



➤ Terénní fáze morfostrukturní analýzy

- ***strukturně* či *strukturně-litologicky podmíněných tvarů***
a jevů, přímá vazba na neotektonické pohyby či litologii a
starší tektoniku
(křehké porušení)
- skupina vybraných ***tvarů různé geneze***,
genetický, popř. prostorový vztah k neotektonickým
pohybům
- Lineární svahy - zlomové svahy
- fluviální tvary (strže, erozní rýhy)

❖ Analýza strukturních tvarů

strukturní svahy - svahy vázané na zlomy (zlomové svahy, svahy na zlomové čáře) (souhrnně in Demek 1987)

- svahy podmíněné strukturou hornin (úložné poměry, foliace, puklinatost)

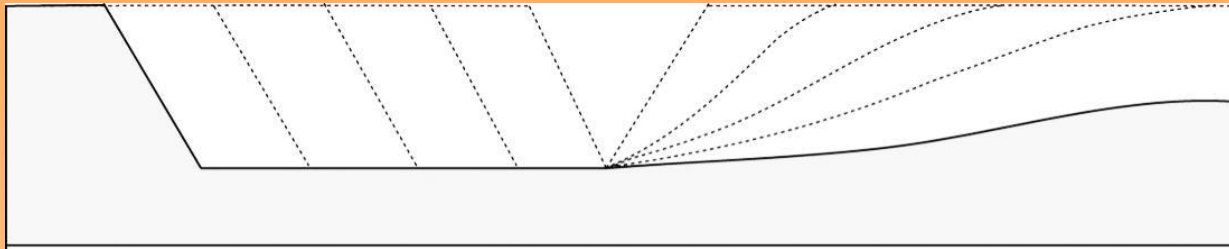
strukturní plošiny - strukturně podmíněné



strukturní hřbety, vrchy - litologicky podm., selektivní eroze a denudace

❖ Analýza zarovnaných povrchů (plochých tvarů reliéfu)

- sečný povrch - seče horniny různých úložných a litologických poměrů



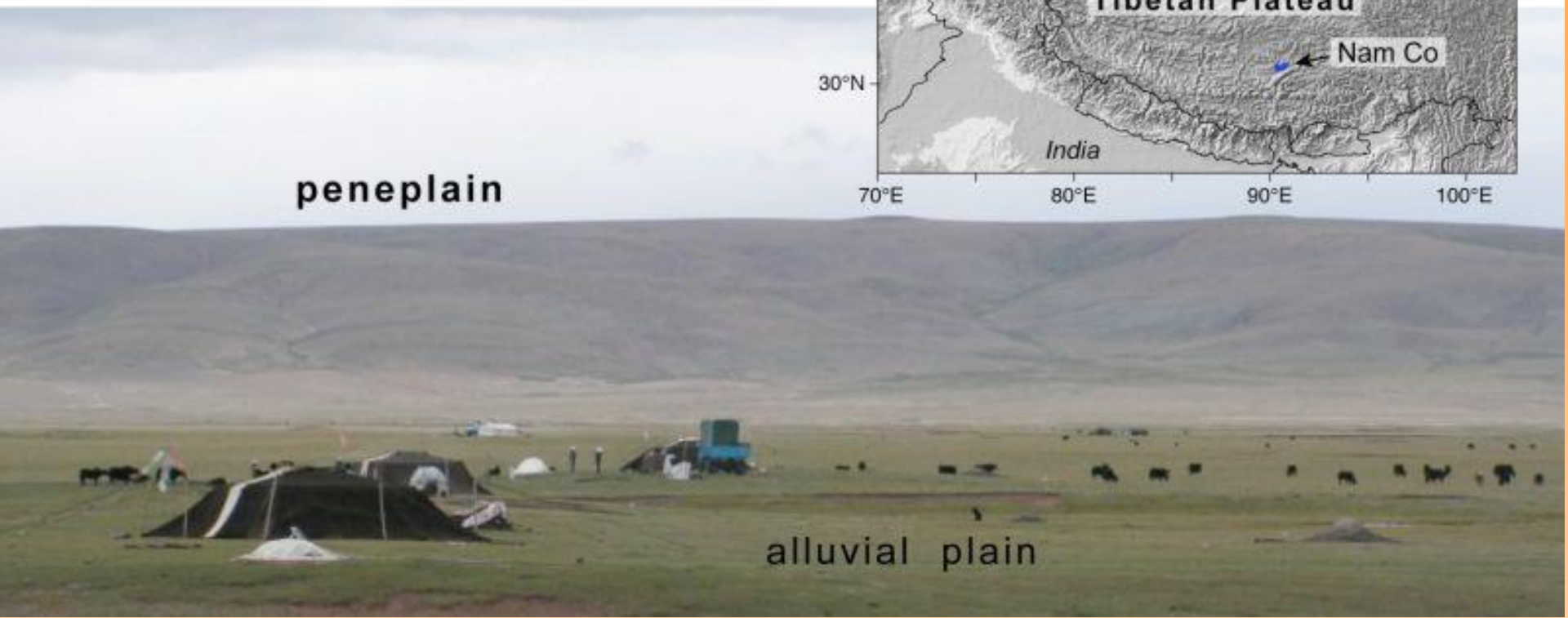
pediplán

peneplán

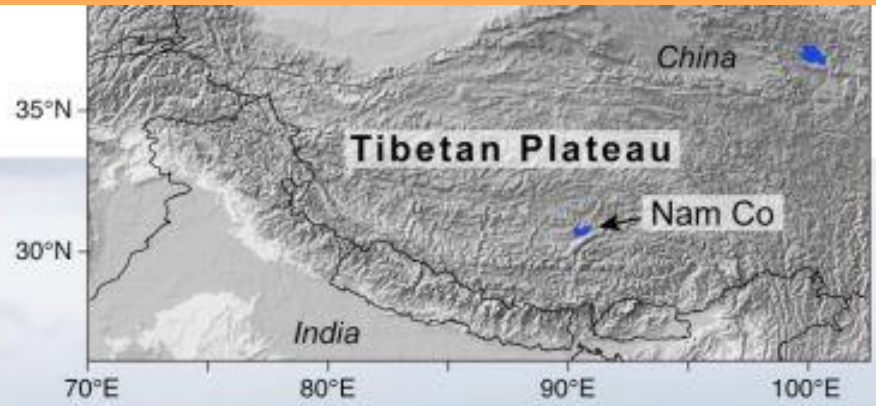
- morfografické poměry - ráz a intenzita mladších tektonických pohybů



- zarovnané povrchy - vznikají v podmínkách dlouhodobého tektonického klidu, mocné zvětraliny
- rozsáhlé povrchy - homogenní morfostrukturní jednotky se stejnými nebo podobnými projevy neotektonických pohybů
- výškové rozdíly - indikátor pohybů, indikátory průběhu zlomových linií které je porušují
- vymezení - sklonové poměry (DMR, GIS)
- geneze - terén

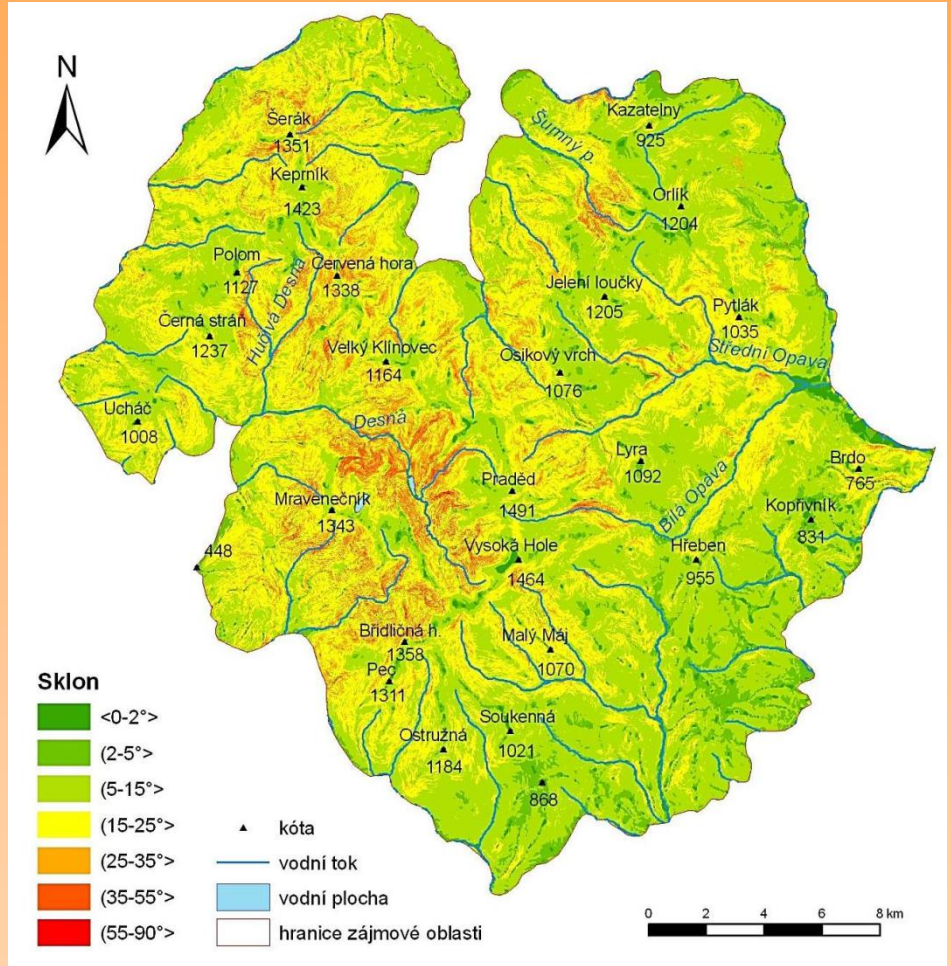
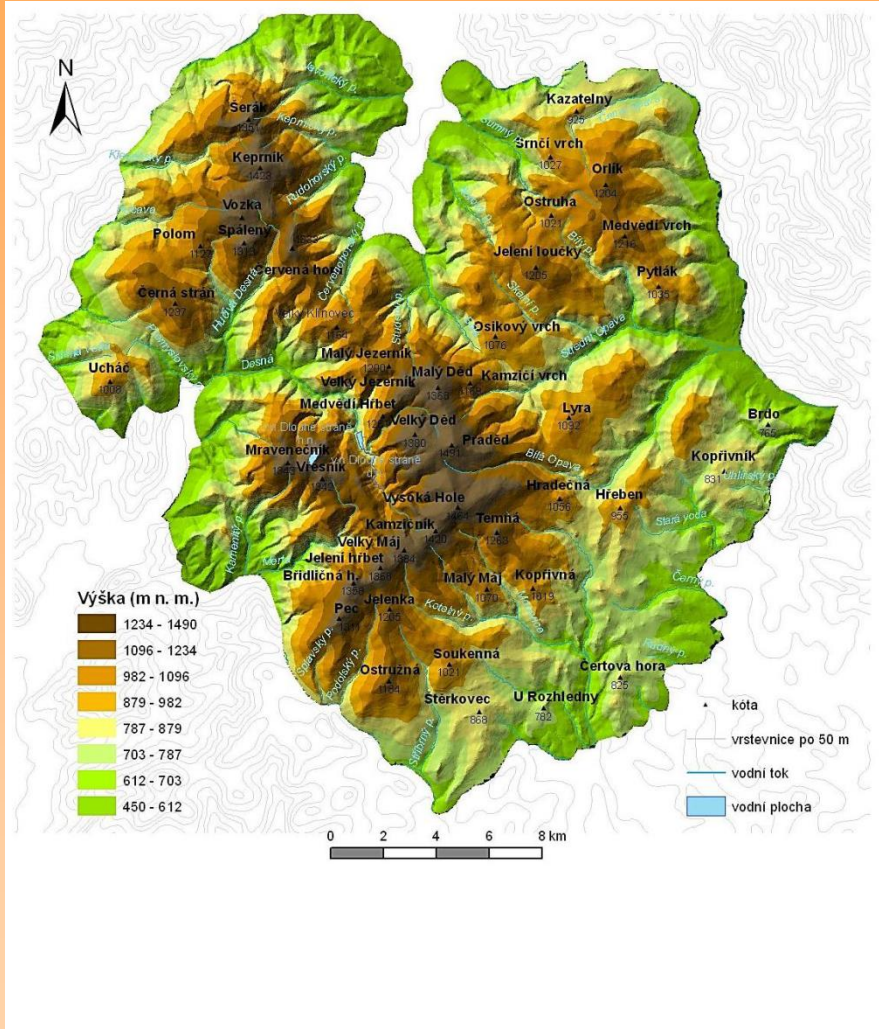


penneplain



alluvial plain

Hrubý Jeseník



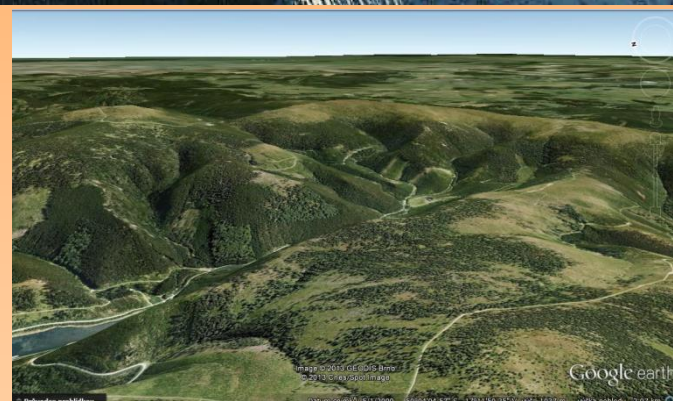
Sklonitost - zarovnané povrchy 0-2°

(Jablonská D., 2013)

Tab. 10: Hlavní úrovně zarovnání a jejich podúrovně v jednotlivých částech Hrubého Jeseníku (v m)

| Kepnická | | | Pradědská | | | Orlická | | |
|------------------------------------|-------------------|---|--|----------------------|---|---|----------------------|---|
| nadmořská výška úrovně (v m n. m.) | šíře úrovně (v m) | výškový rozdíl mezi danou úrovní a následující vyšší úrovní (v m) | nadmořská výška úrovně (v m n. m.) | šíře úrovně (v m) | výškový rozdíl mezi danou úrovní a následující vyšší úrovní (v m) | nadmořská výška úrovně (v m n. m.) | šíře úrovně (v m) | výškový rozdíl mezi danou úrovní a následující vyšší úrovní (v m) |
| | | | P1A 1430 - 1465 P1B 1391 - 1429 P1C 1370 - 1390 | 95 | | | | |
| K1A nad 1341 K1B 1300 - 1340 | >40 | | P2A 1280 - 1320 P2B 1240 - 1280 | 40 20 | 50 20 | | | |
| K2A 1160 - 1200* | 40 | 100 | P3 1180 - 1220 | 40 | 20 | 1180 - 1200 | 20 | |
| K2B 1100 - 1120 | 20 | 40 | P4A 1080 - 1100 | 20 | 80 | O2A 1080 - 1130 O2B 1041 - 1079 | 50 40 | 50 0 |
| K3 1000 - 1040 | 40 | 60 | P4B 1000 - 1020 | 20 | 80 | O3 1000 - 1040 O4A 960 - 980 O4B 920 - 940 | 40 20 20 | 0 20 20 |
| | | | P5A 840 - 880 P5B 790 - 810 P6A 710 - 760 P6B 640 - 670 | 40 20 50 30 | 120 30 30 40 | O5A 800 - 840 O5B 740 - 760 O6A 680 - 710* O6B 580 - 600 | 40 20 20 20 | 80 40 80 80 |
| K6A 680 - 740* | | | | | | | | |
| K6B 540 - 600* | | | | | | | | |

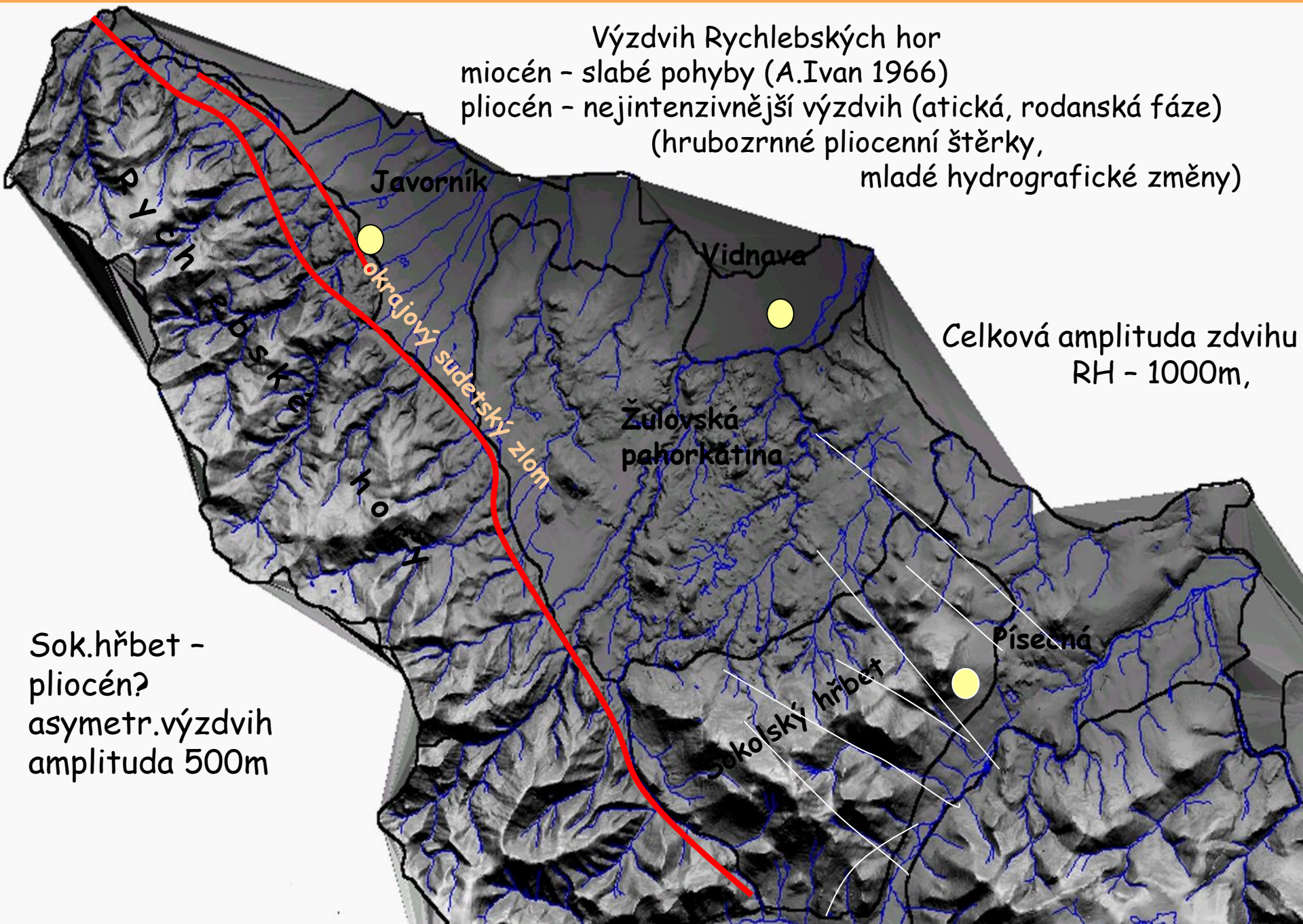
*Červeně ohraničené jsou potenciální úrovně zarovnání, u kterých nebyl prokázán rozdíl mezi očekávanými a pozorovanými hodnotami chí-kvadrát testem]



Několik úrovní zarovnaných povrchů

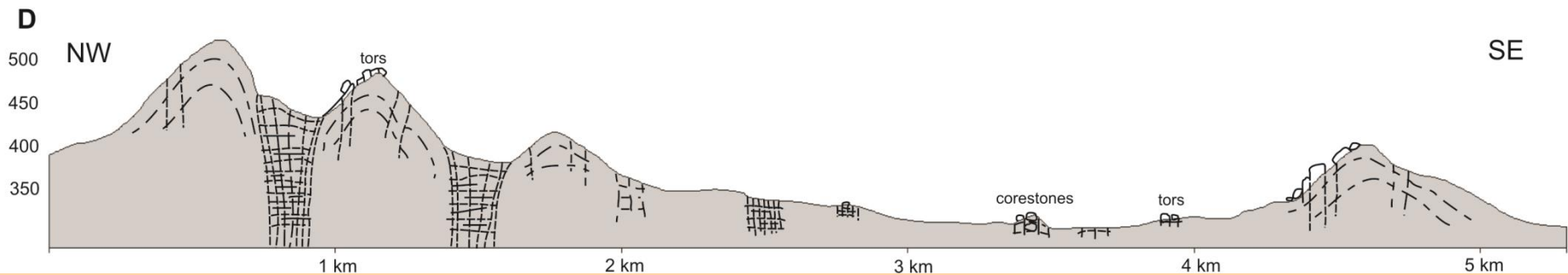
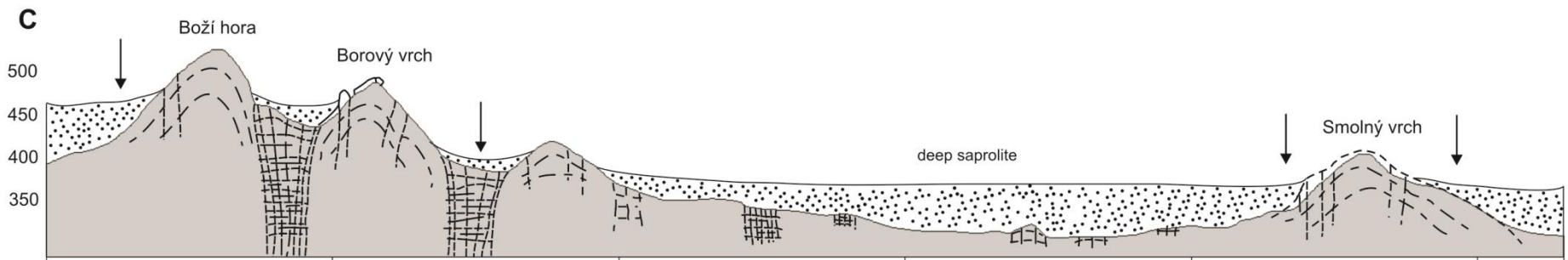
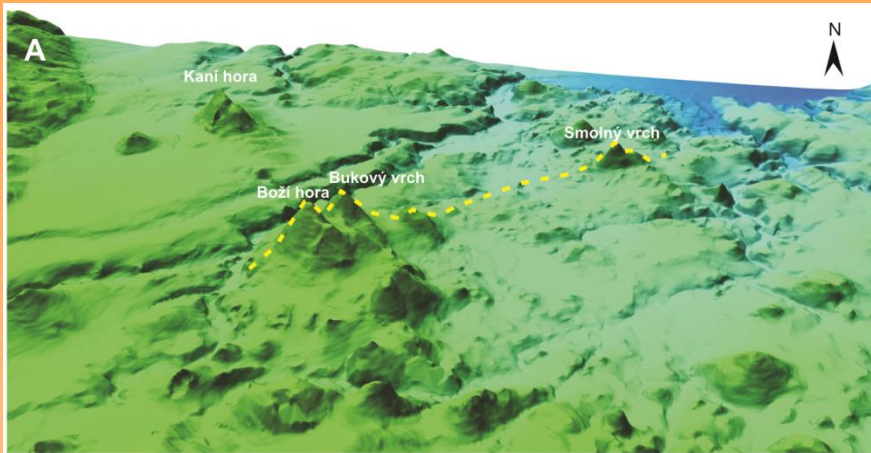
- Hranice souhlasné se zlomy
- = rozlámaný původně jednotný rozsáhlý zarovnaný povrch

Výzdvih Rychlebských hor
miocén - slabé pohyby (A.Ivan 1966)
pliocén - nejintenzivnější výzdvih (atická, rodanská fáze)
(hrubozrnné pliocenní štěrky,
mladé hydrografické změny)



Celková amplituda zdvihu
RH - 1000m,

Sok.hřbet -
pliocén?
asymetr.výzdvih
amplituda 500m



Etchplén - bazální zvětrávací plocha

Nerovnosti bazální zvětrávací plochy, nízké exfoliační klenby...



Šibeniční vrch



Sokolský hřbet

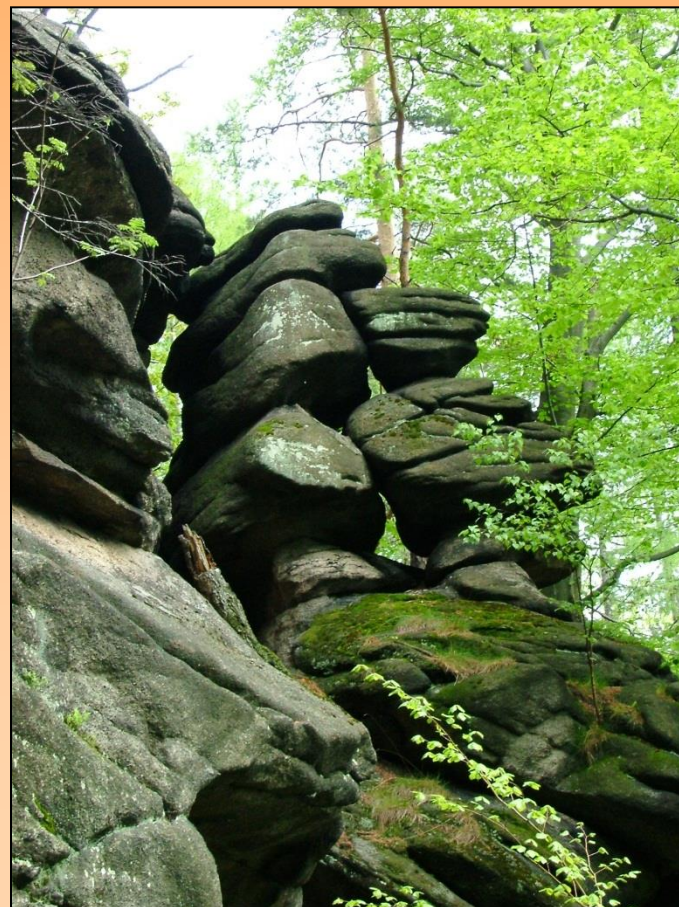
Bažantnice



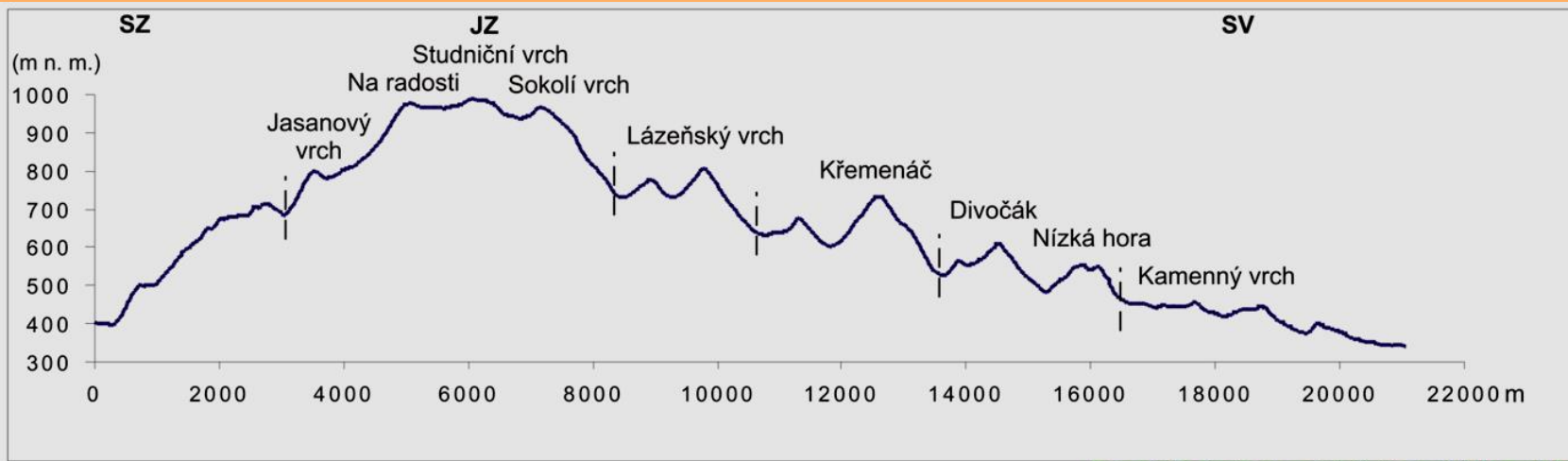
Exfoliační klenby (domes)




Borový vrch



Hrást' Sokolského hřbetu



1) 

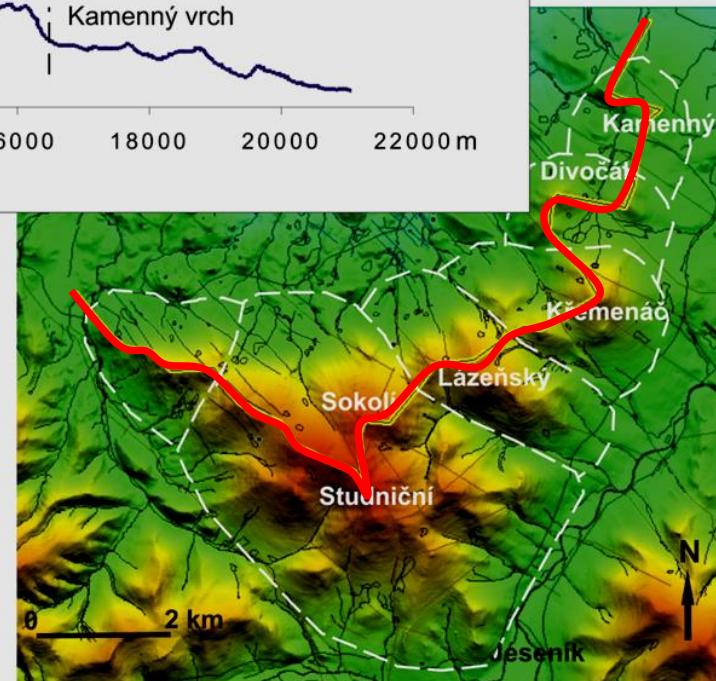
2) 

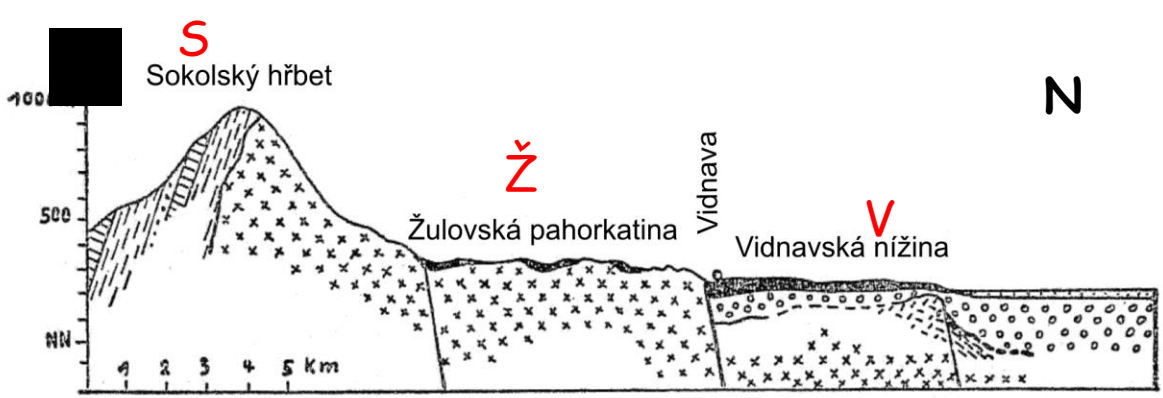
3) 

zlomy

hranice bloků

vnitřní zlomové svahy

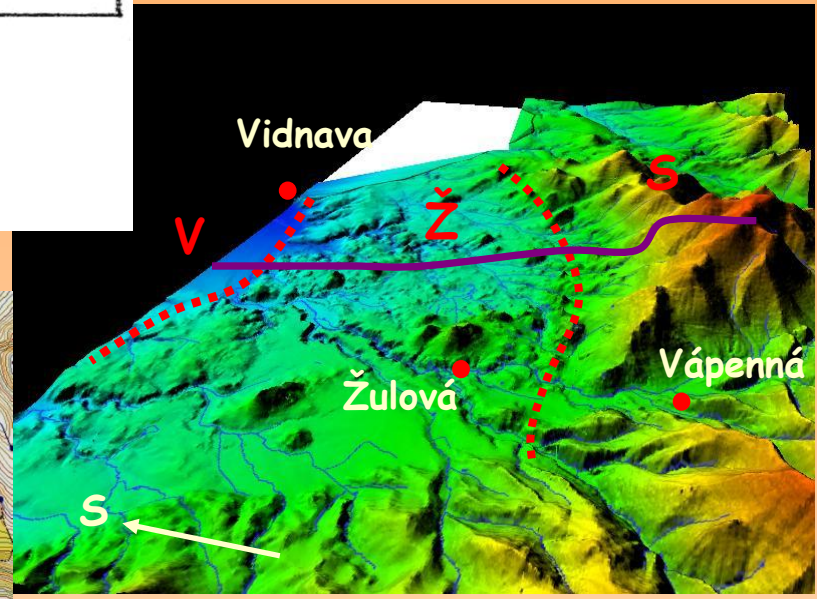
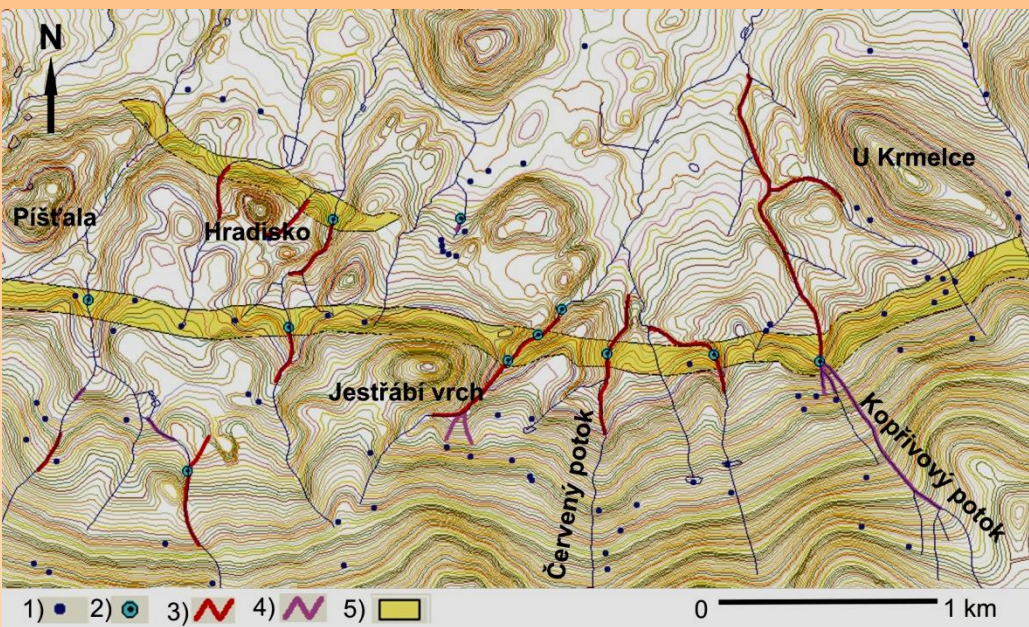




S - J stupňovitý reliéf
G. Anders (1939)

Tektonické stupně v žulovském masivu

- | | | | |
|------------|---------|------------|-----------|
| holocén | neogén | ortoruly | kvarcitty |
| pleistocén | granity | amfibolity | svory |



liniově seřazená prameniště,
začátky zvýšené eroze,
přimočará úpatí svahů

❖ Analýza údolní soustavy a fluviálních tvarů

Údolní systém - reakce na endogenní či exogenní procesy

říční terasy a fluviální sedimenty - anomálie v podélném i příčném profilu terasami => stupeň neotektonického porušení

❖ **Analýza údolní soustavy a fluviálních tvarů**

Údolní systém - reakce na endogenní či exogenní procesy

říční terasy a fluviální sedimenty - anomálie v podélném i příčném profilu terasami => stupeň neotektonického porušení

opuštěné údolní úseky - změna říční sítě - možná příčinná souvislost s neotektonickými pohyby, rekonstrukce říční sítě

průlomová údolí - údolní úseky přetínající aktivní morfostruktury různého charakteru

podélné profily - základní trendy vývoje údolního systému
anomálie - tektonické pohyby x různé příčiny (terén)

příčné údolní profily - změny doprovázejí anomálie v podélném profilu

- vývoj údolí v čase (údolní hrany, bývalá údolní dna)
- ověření v terénu - vytipovaná místa, malé toky - geodetické zaměření
- typizace údolí - prostorové uspořádání jednotlivých typů

❖ Analýza geodynamických tvarů a jevů

Intenzita a hustota jevů, prostorové uspořádání
- neotektonická aktivita

- hluboké erozní rýhy, sesuvy, skalní řízení apod.



Sesuv v San Salvadoru vyvolaný zemětřesením

❖ Puklinová a zlomová analýza

Zhodnocení potenciální příčinné souvislosti s lineárními tvary a lineárně uspořádanými jevy reliéfu

Zóny oslabení - přednostní orientace reliéfu - údolí, hřbety

Srovnání strukturních měření na jednotlivých blocích - odlišný vývoj

puklinová analýza - měření na výchozech,

vyloučení exfoliačních puklin (paralel. s údol. svahy)

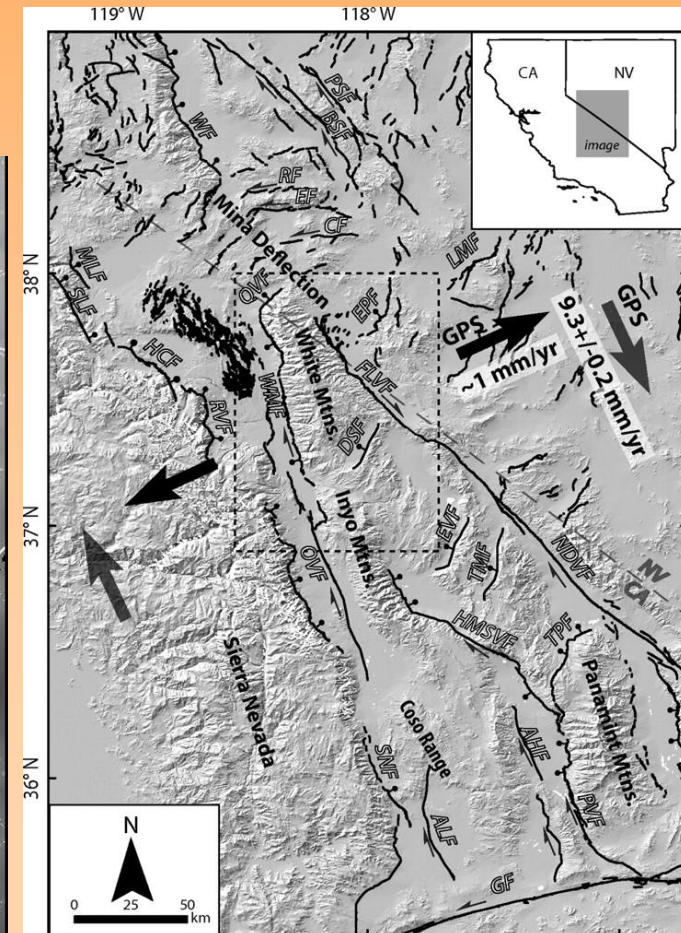
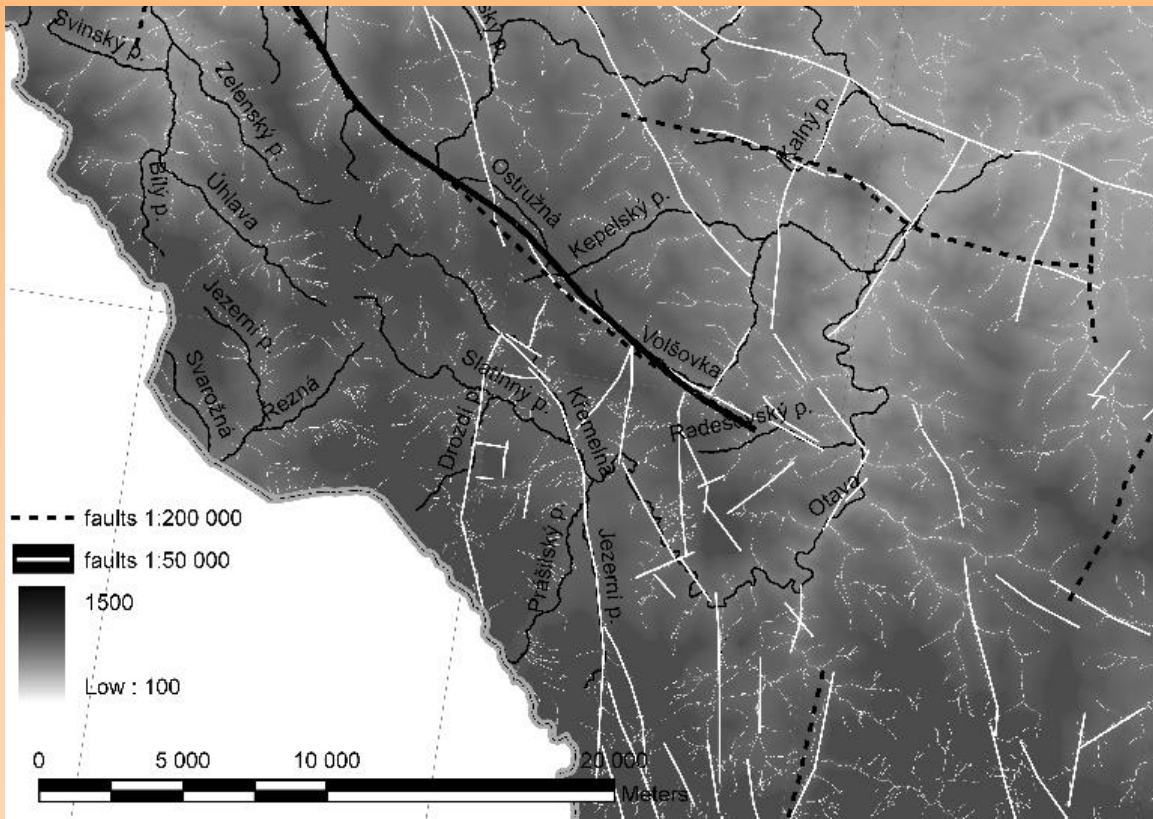
- měření zvlášt' v rámci jednotlivých litolog. komplexů

(různé mechanické vlastnosti - v tektonice odlišné projevy)

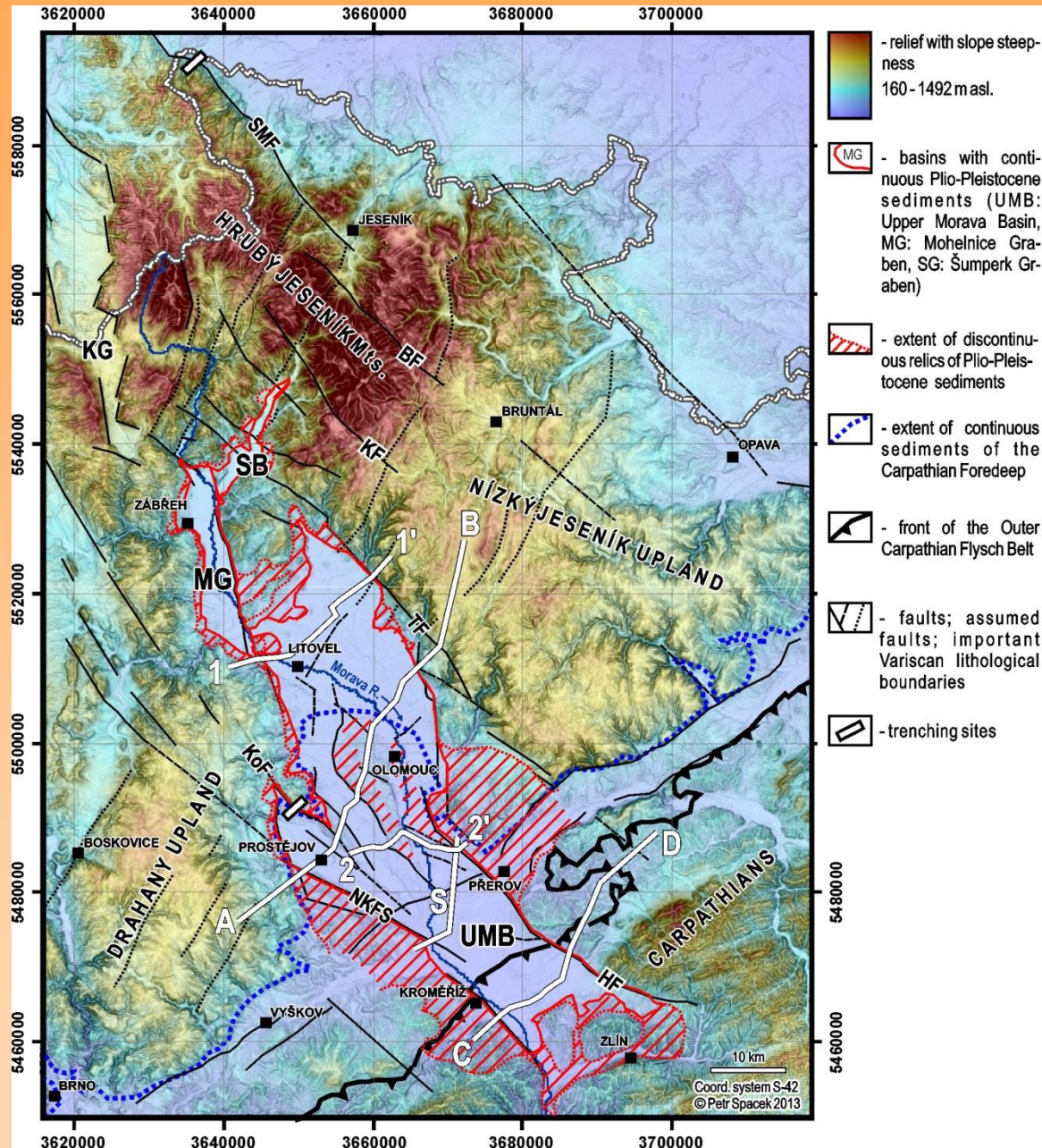
zlomová analýza - odkryvy, různé tematické mapy

Zlomová analýza

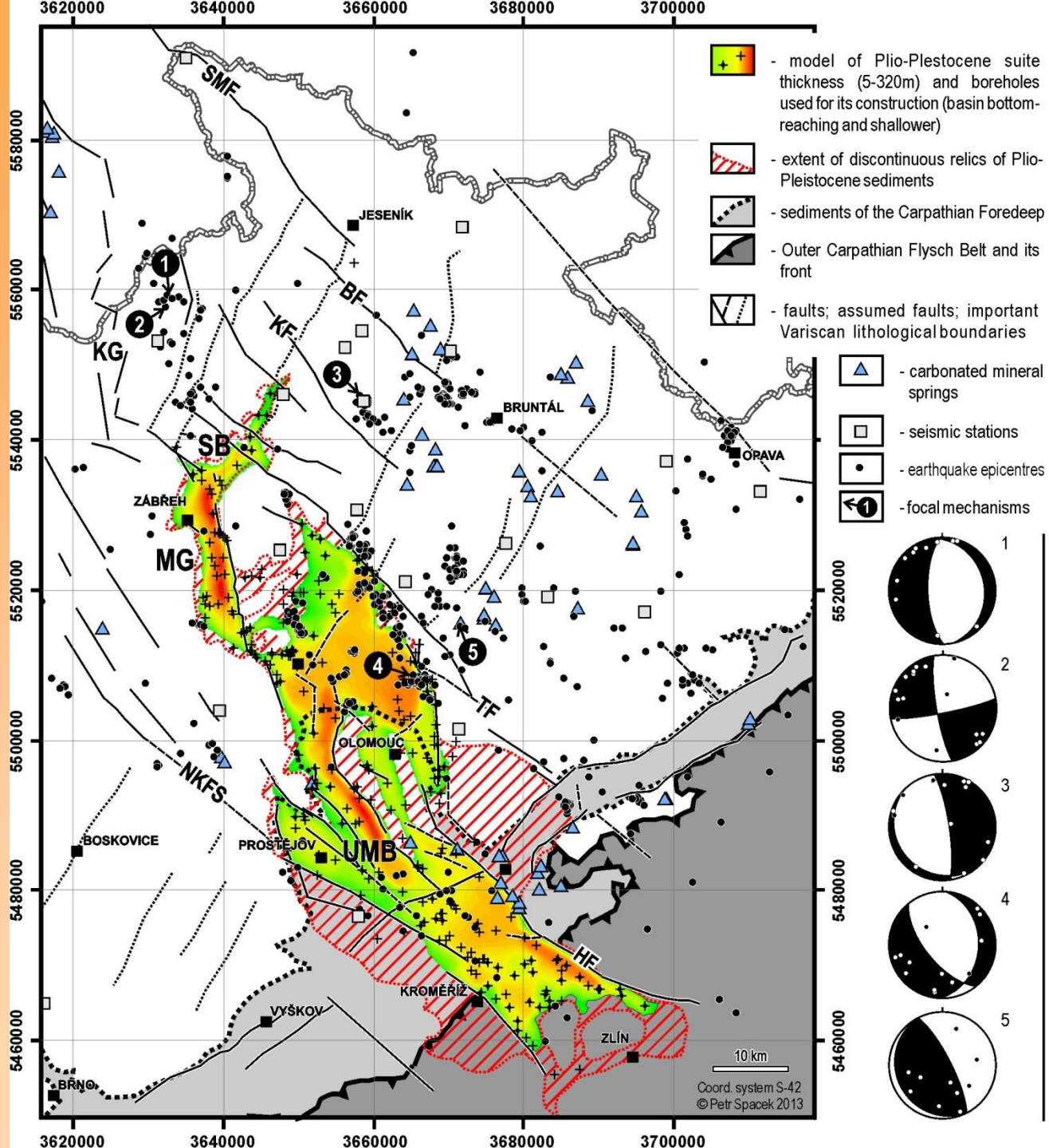
- zlomy představují hlavní zóny oslabení
- pasivní i aktivní tektonika
- zakládají plán údolní sítě, vytváří nejnápadnější svahy, stupně v profilu, ...

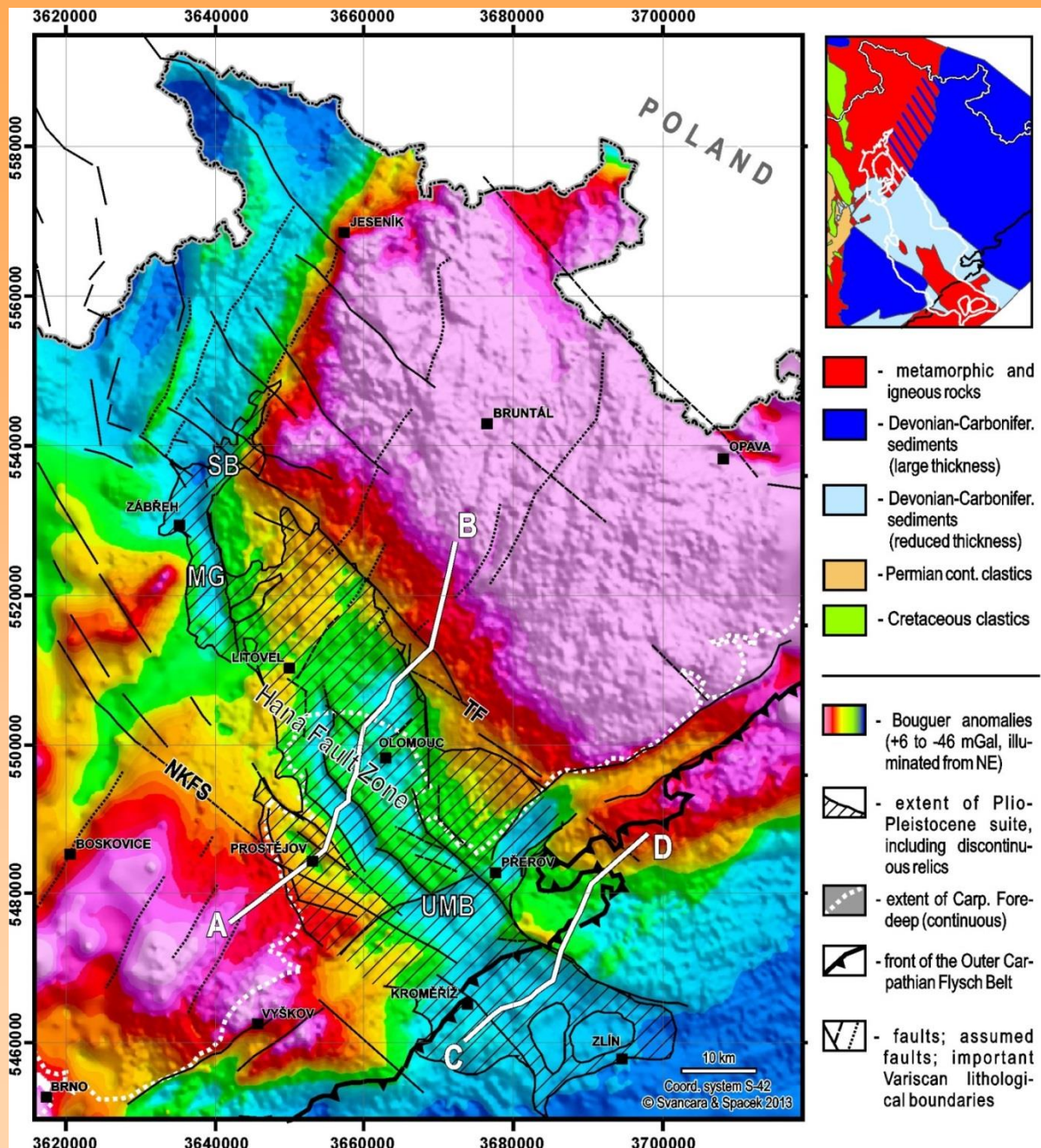


➤ geologické a topografické mapy, vrty, geofyzikální podklady



Špaček et al. (2015)





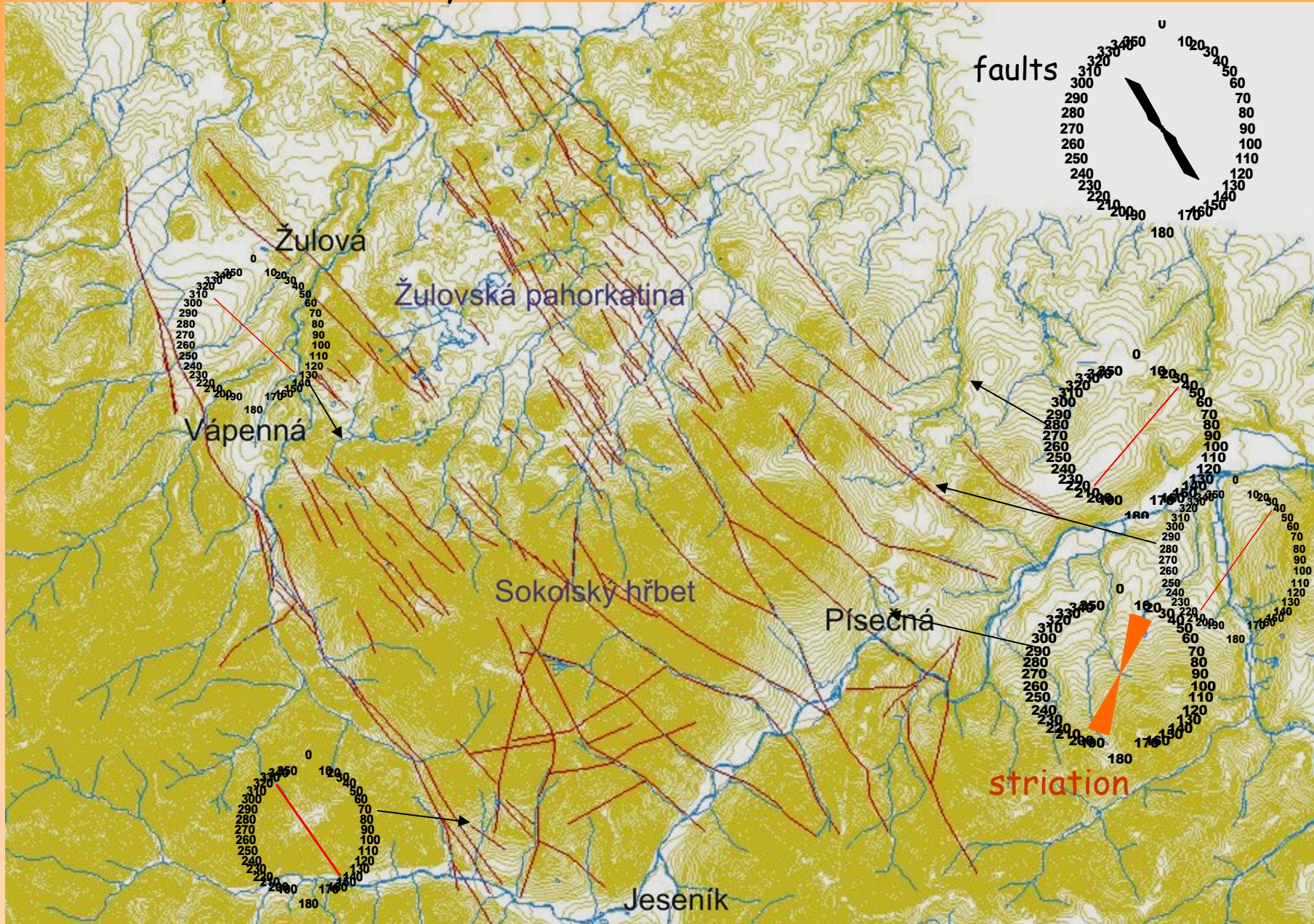
Gravimetrická mapa

- Bougerových anomálií
odchylka od normálního
tíhového zrychlení

Ovlivněno odlišnou hustotou
hornin či přítomností anomální
horninové masy

Negativní anomálie - lehké
horniny nebo topografické
sníženiny

Rychlebské hory



Puklinová analýza

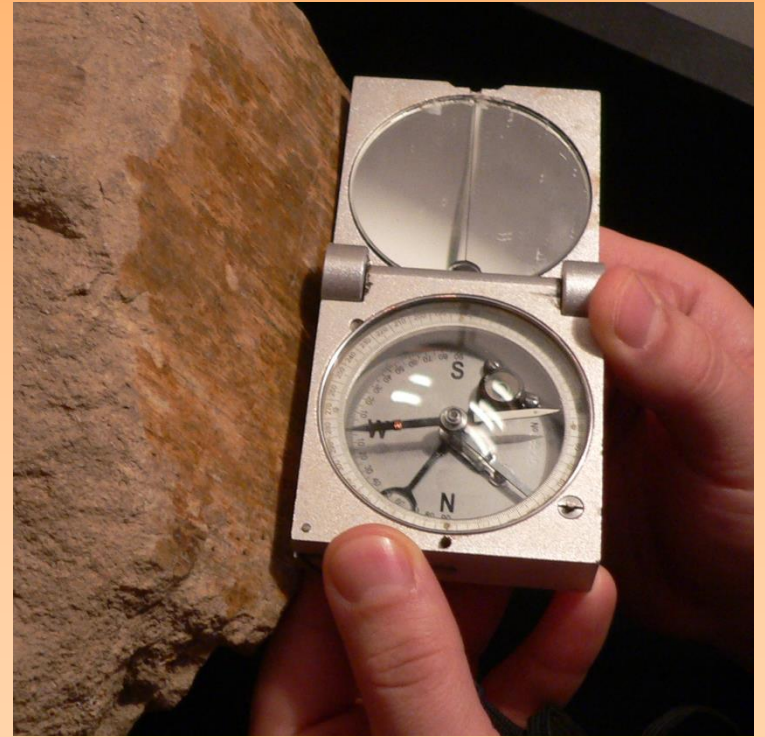
- pukliny - drobné otevřené nebo uzavřené diskontinuity v hornině
- vznikají při tektonickém tlaku
 - často obdobné směry a orientaci jako zlomy
 - puklina (joint) x trhlina (rupture)
 - klasifikace
 - velikostní: - vůdčí pukliny, velké pukliny, drobné pukliny, mikroskopické pukliny.
 - geneze: - tahové, tlakové, střižné
 - párové puklinové systémy - cca kolmé
 - puklinové zóny



morfostrukturní analýza reliéfu

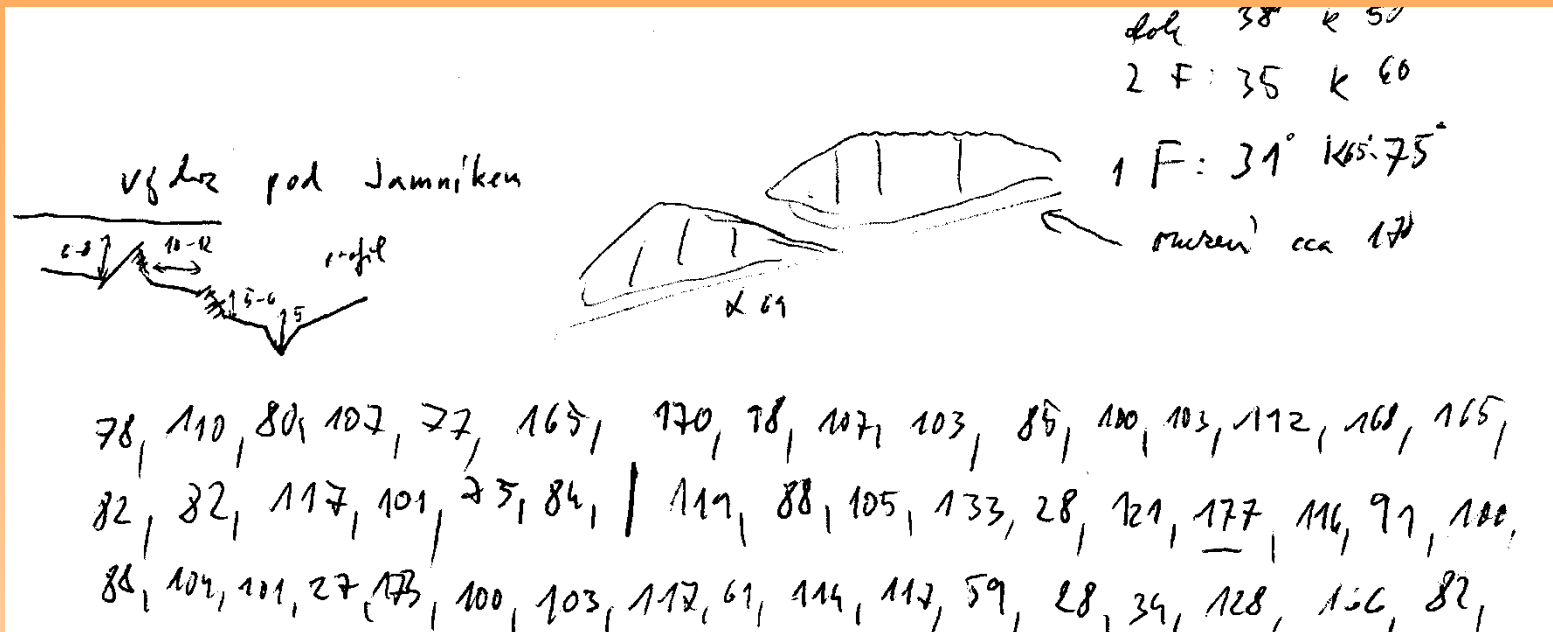
➤ puklinová analýza

- terénní sběr dat → vyhodnocení



| | | |
|---|-----|-----|
| ➤ konstrukce a vyhodnocení různicového diagramu | 0 | 180 |
| | 10 | 130 |
| | 20 | 351 |
| ➤ zobrazení naměřených puklin pomocí diagramu: | 30 | 180 |
| nejjednodušší puklinové diagramy jsou diagramy plošné: | 40 | 132 |
| zobrazují buď jen směr nebo jen sklon puklinové plochy | 50 | 104 |
| | 60 | 230 |
| | 70 | 197 |
| ➤ postup konstrukce plošného diagramu: | 80 | 355 |
| získat data - měření orientace puklin, foliace, údolních úseků, ... | 90 | 349 |
| | 100 | 719 |
| 179,11, 0, 58, 68, 75, 20, 5, 11,18, 27, 96, ... | 110 | 807 |
| 268,11,301, 211, 0, 158, 8, 275, 200, 5, 303,18, 355, 344 27, 96, ... | 120 | 165 |
| | 130 | 47 |
| | 140 | 52 |
| | 150 | 160 |
| | 160 | 141 |
| | 170 | 224 |

konstrukce a vyhodnocení růžicového diagramu



| | |
|-----|-----|
| 0 | 180 |
| 10 | 130 |
| 20 | 351 |
| 30 | 180 |
| 40 | 132 |
| 50 | 104 |
| 60 | 230 |
| 70 | 197 |
| 80 | 355 |
| 90 | 349 |
| 100 | 719 |
| 110 | 807 |
| 120 | 165 |
| 130 | 47 |
| 140 | 52 |
| 150 | 160 |
| 160 | 141 |
| 170 | 224 |

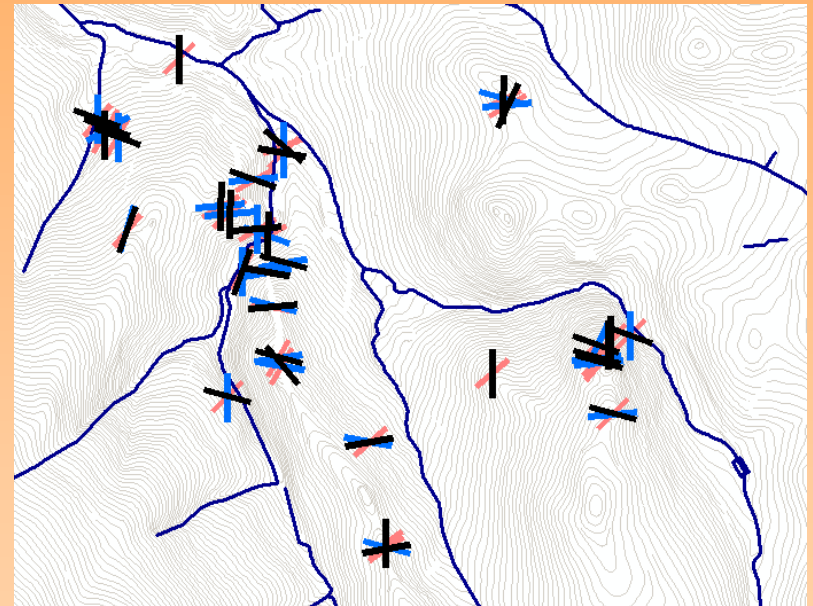
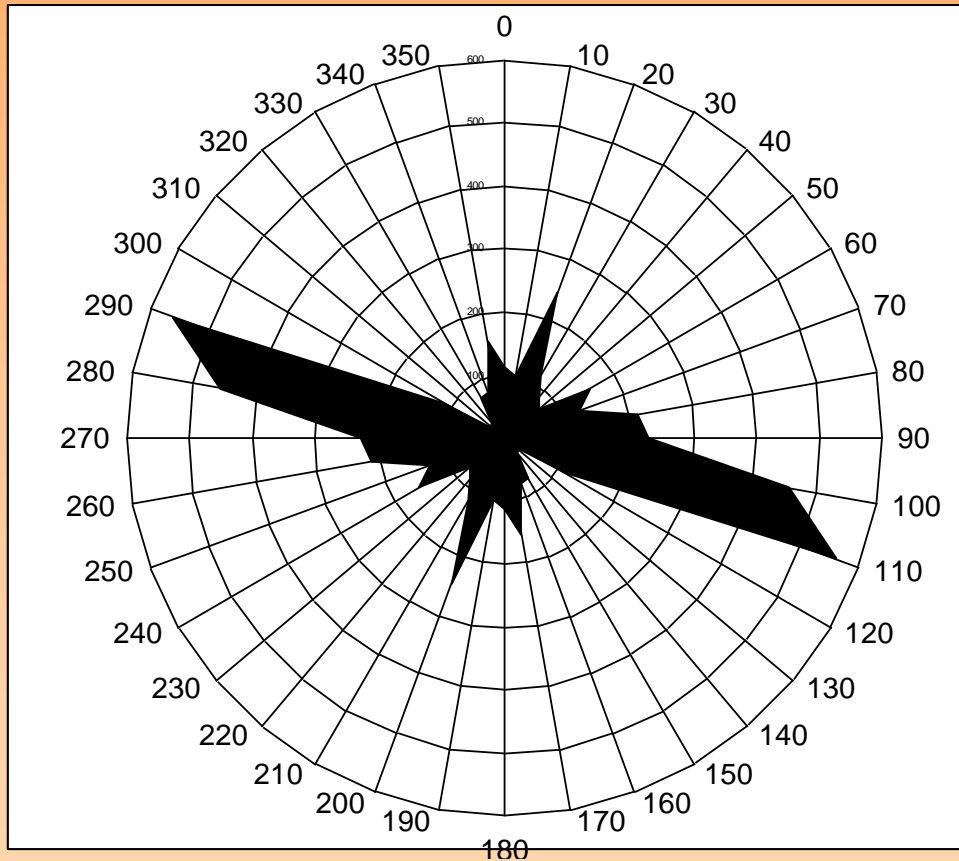
- rozdělit data do intervalů - obvykle po 10°

- intervaly < 0 - 9) střed 5
< 5 - 15) střed 10

- sečíst četnost v jednotlivých intervalech

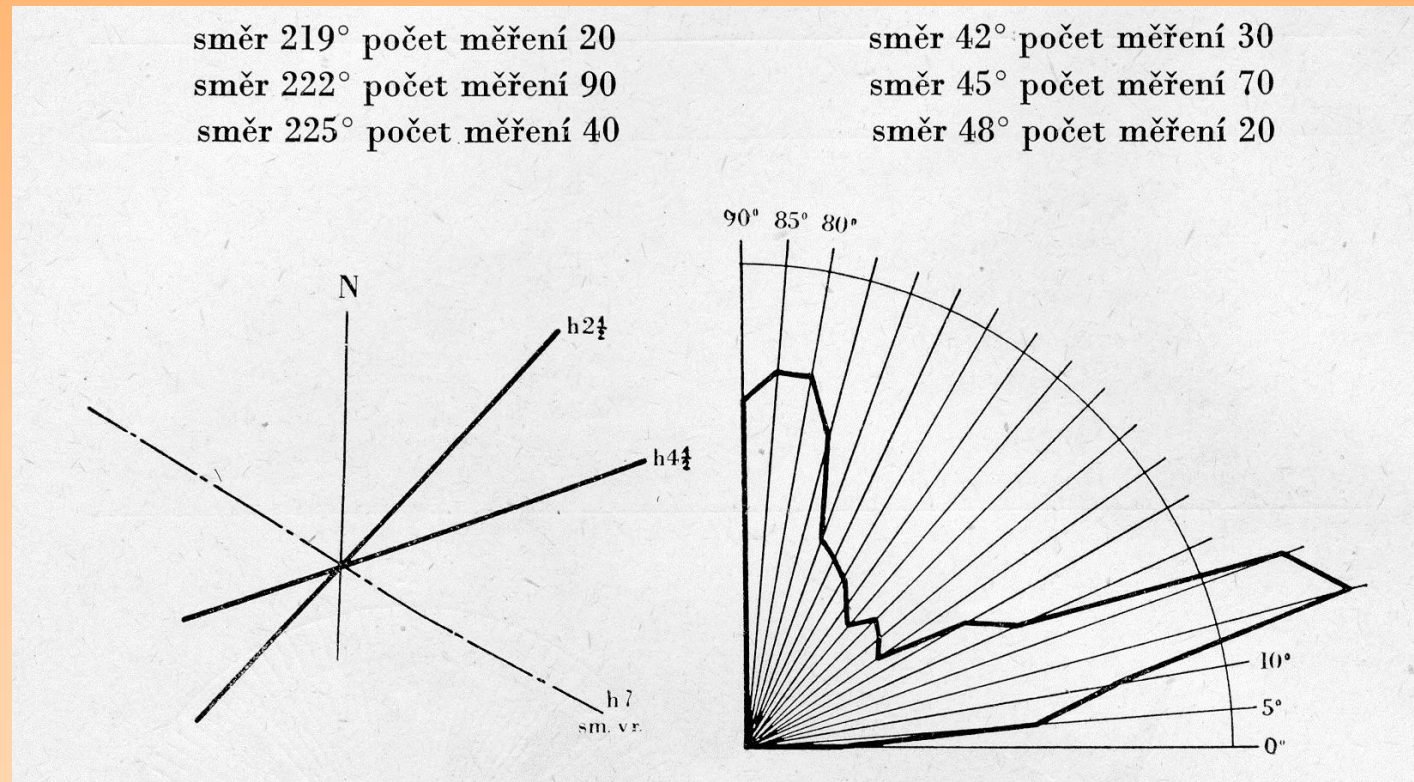
➤ konstrukce a vyhodnocení růžicového diagramu

→ vytvořit hvězdicový (růžicový graf), nebo výběr převládajícího směru

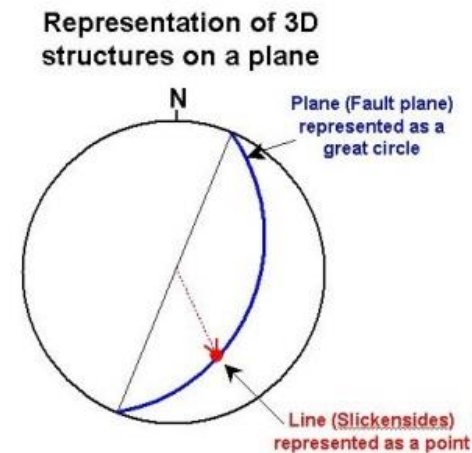
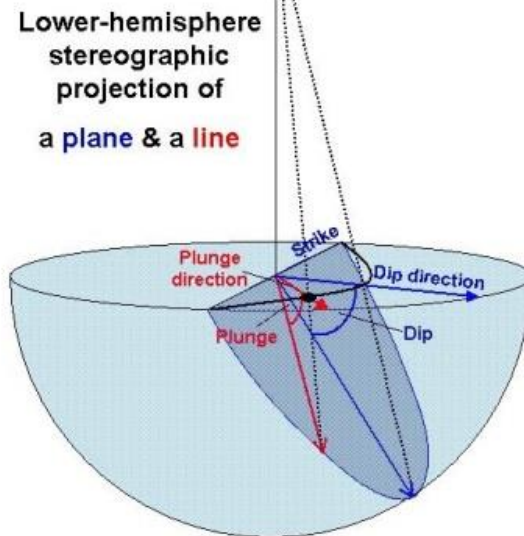
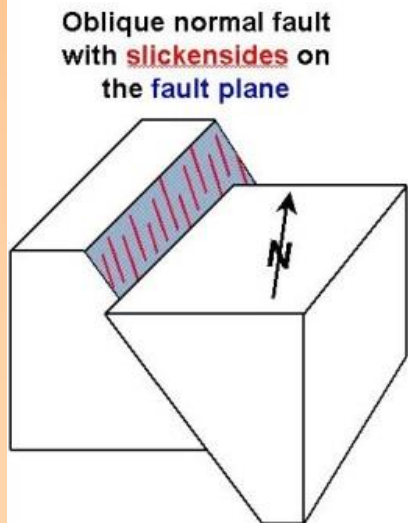
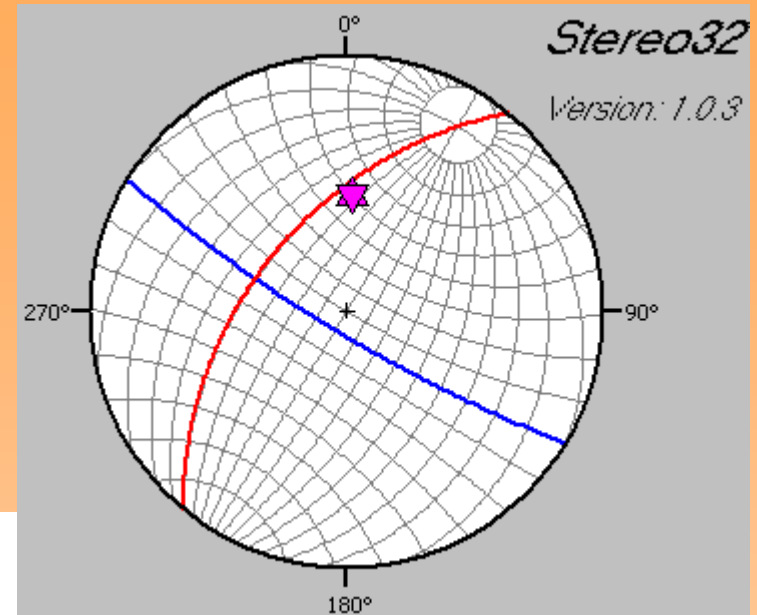


➤ diagram sklonů puklin:

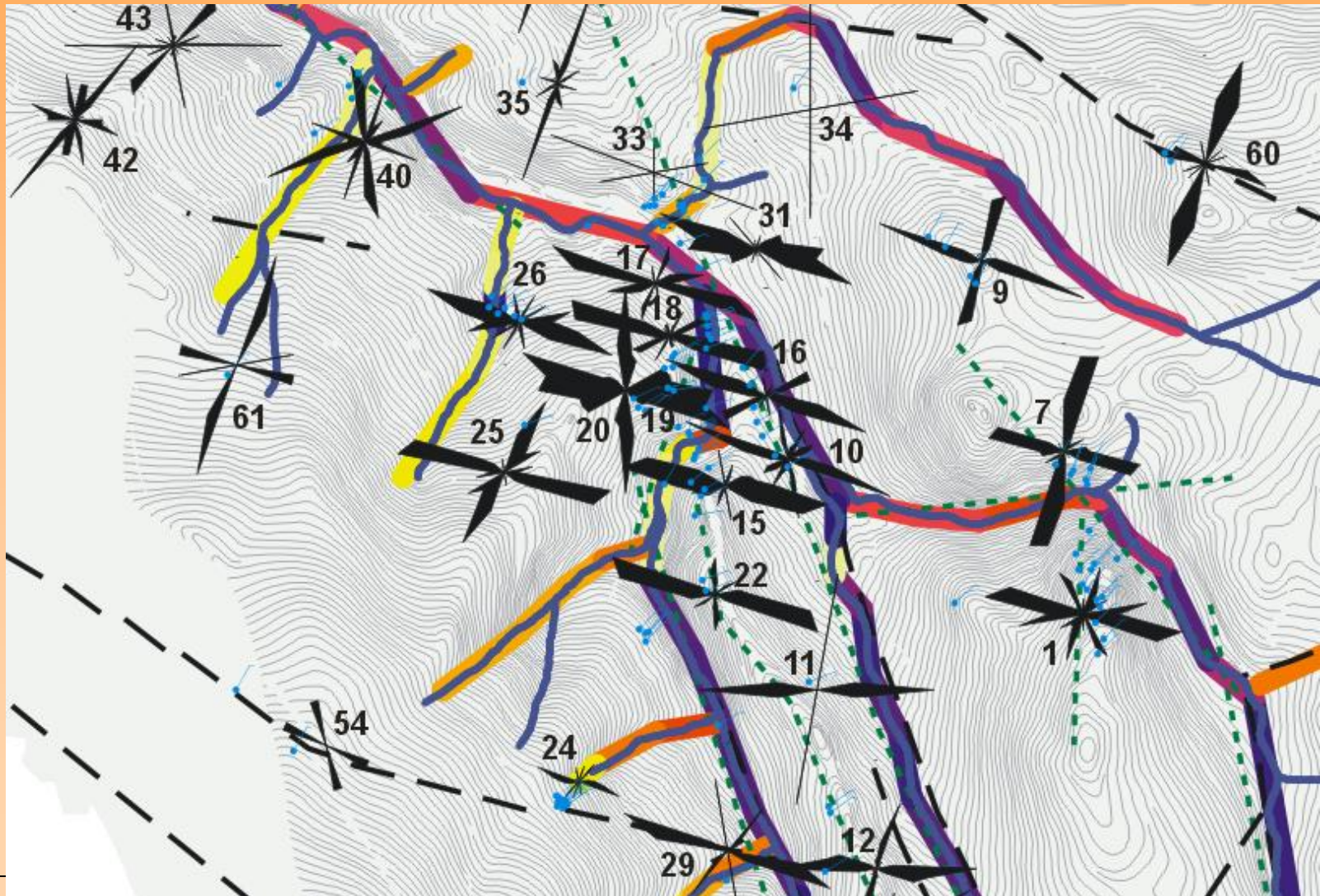
- svazek paprsků v prvním kvadrantu, např. po 5°
- na příslušné paprsky nanášíme počet změřených sklonů
- koncové body spojíme s koncovými body sousedních paprsků



- další možnosti - stereografická zobrazení (kruhové diagramy) - směr i sklon
- specializované programy (Stereonet, Stereo32)



➤ další možnosti - dílčí grafy pro jednotlivé výchozy a/nebo dílčí území - komplexní strukturně-geomorfologická mapa



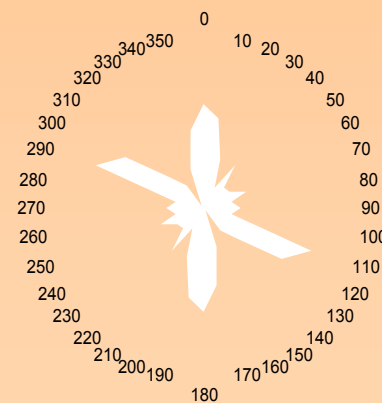
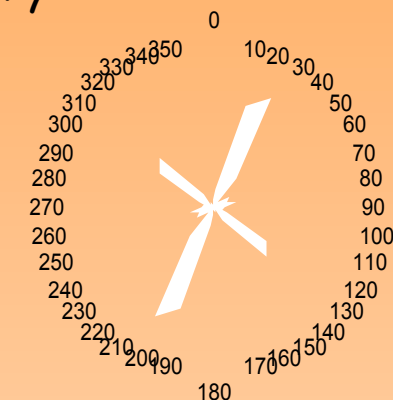


Rychlebské hory - puklinová analýza

- granitoidy - primární puklinový systém (S, Q, L) - 2 hlavní směry:
 - příčné pukliny (Q) SV - JZ ($20^\circ - 30^\circ$)
 - podélné pukliny (S) SZ - JV ($120^\circ - 130^\circ$)
 - kataklažované zóny - SZ - JV až 20 - 30 m široké



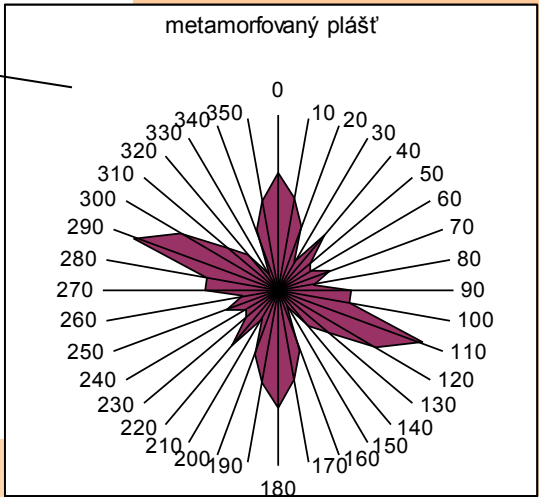
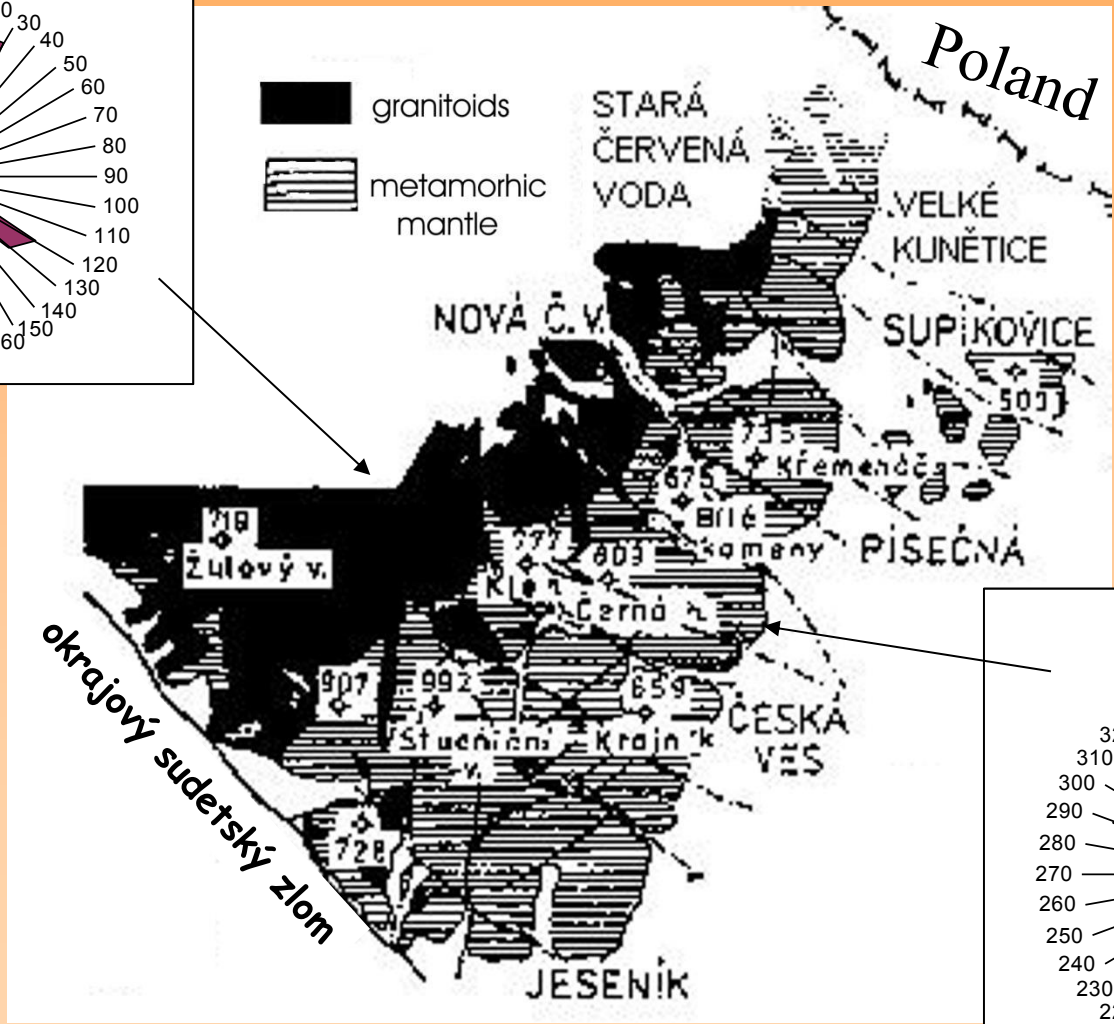
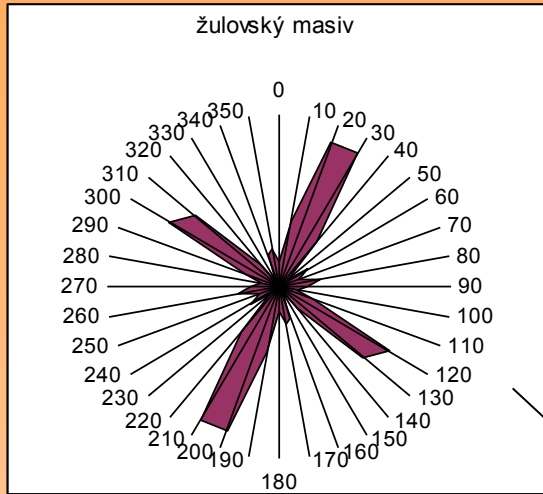
- metamorfovaný plášť - 2 hlavní směry:
 - SZ - JV ($110^\circ - 120^\circ$)
 - S - J ($350^\circ - 10^\circ$)



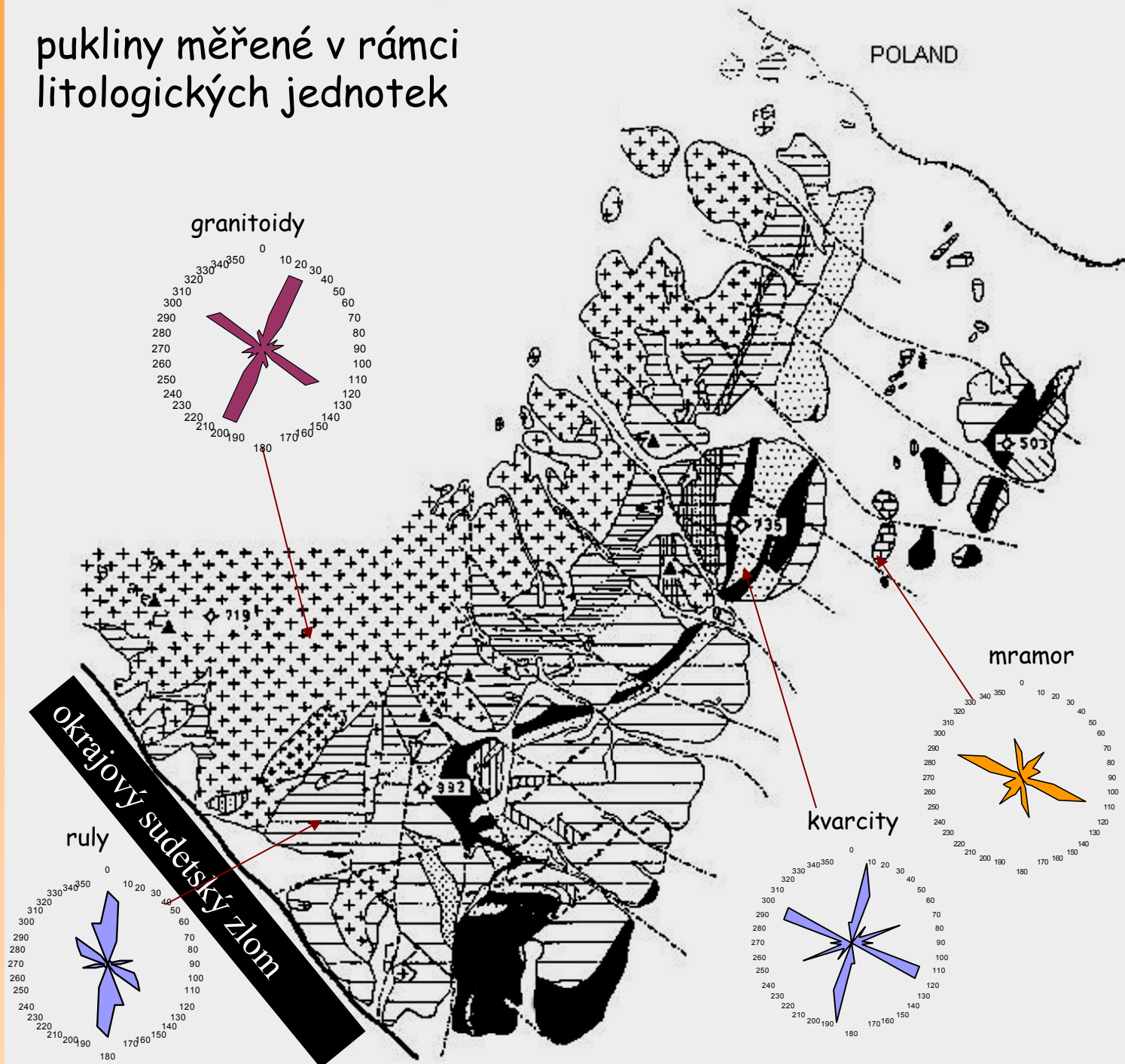
➤ puklinová a zlomová analýza

Sokolský hřbet

pukliny

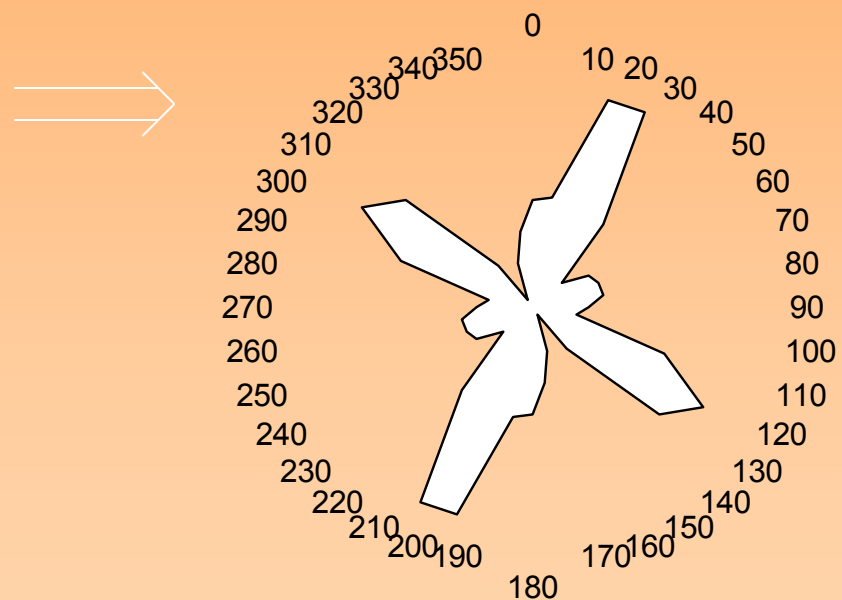


pukliny měřené v rámci litologických jednotek



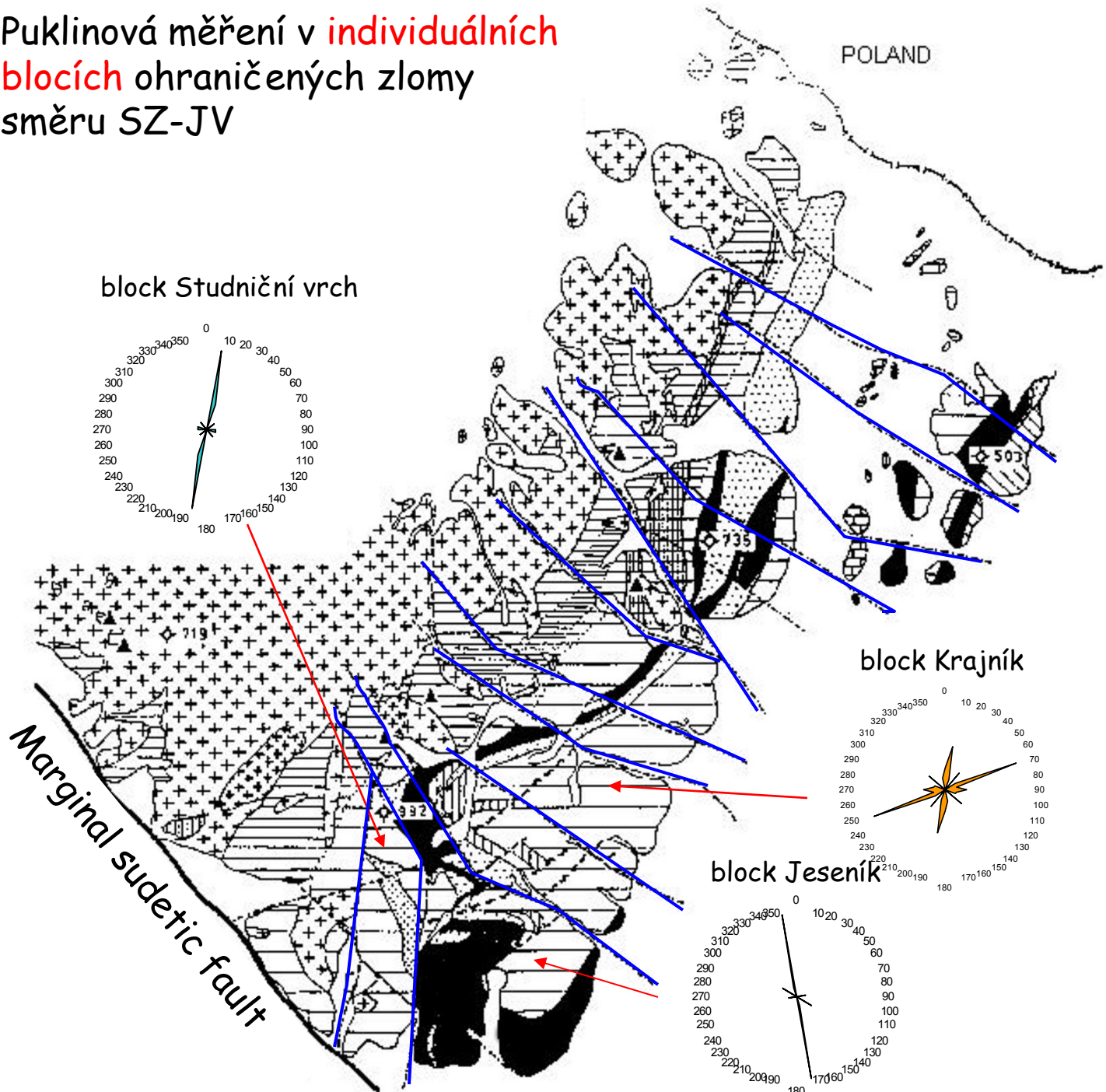


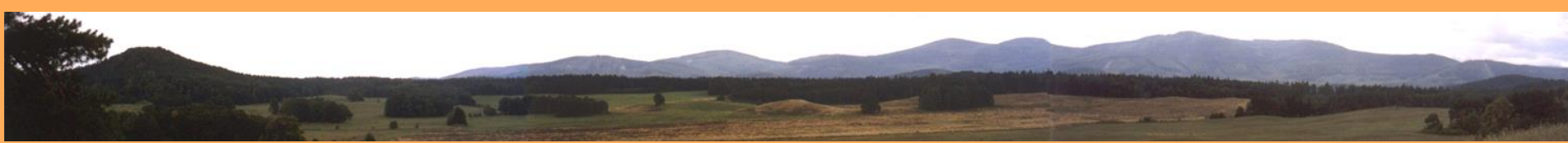
- jednotlivé litologické jednotky - odlišné směry puklin
- pukliny a zlomy sudetského směru (110° - 130°) postihují všechny litologické jednotky - je to nejmladší porušení



• četnost orientace puklin v celém území

Puklinová měření v **individuálních blocích** ohraničených zlomy směru SZ-JV





- jednotlivé bloky mají své směry bez ohledu na litologii
- dislokace v rámci jednotlivých bloků sledují směry v jednotlivých blocích spíše než směry charakteristické pro litologické jednotky
- to může poukazovat na individuální odlišný pozdější vývoj bloků

❖ Analýza morfolineamentů

morfolineamenty - výrazně lineárně uspořádané tvary reliéfu - přímočaré úseky svahů a údolí (linearita údolí) - vazba na poruchová pásma

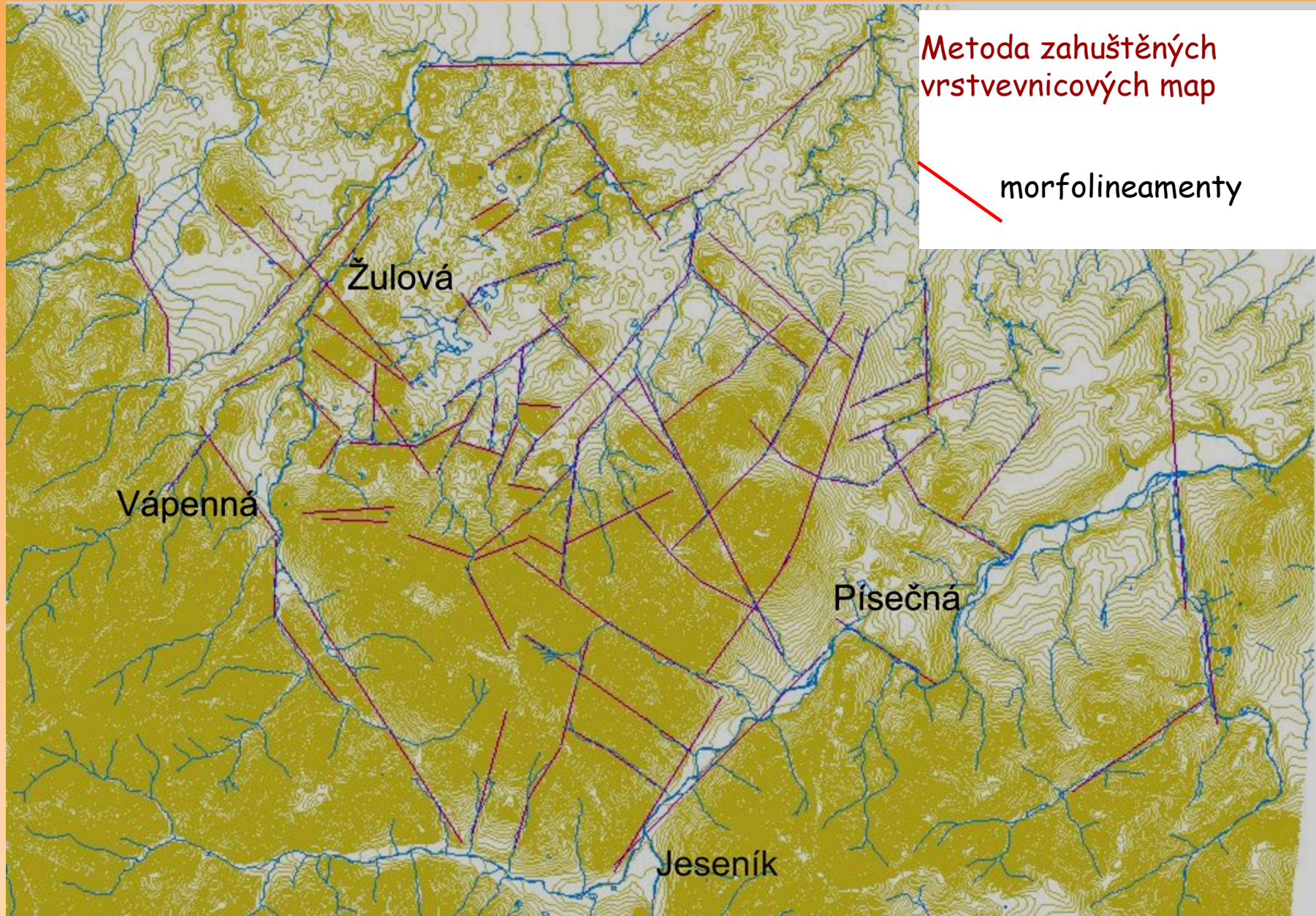
geomorfologické linie - vázána na sedla, hřebety, terénní hrany, náhlé ohyby toku, lineárně uspořádané prameny apod.

identifikace - metoda zahuštěných vrstevnic (Ostaficzuk 1975), z DMR
- DPZ - radarové snímky

upřesňování tektonických map - korelace s geofyzikálními daty (lineární tíhové indikace, magnetické anomálie, zvýšené koncentrace radioaktivních prvků apod.)

statistické srovnání směrů morfolineamentů a směrů puklin/zlomů
korelace - index podobnosti (Štěpančíková 2007)

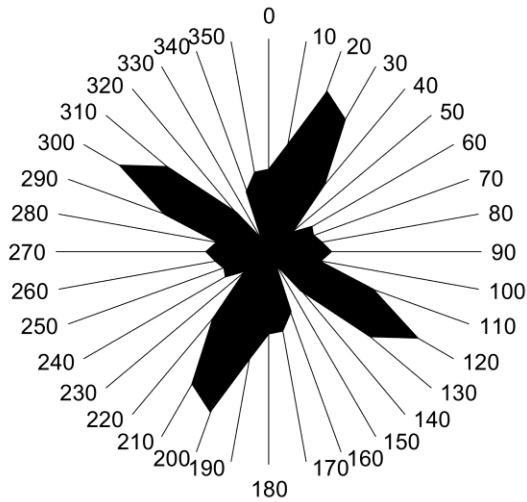
➤ analýza morfolineamentů



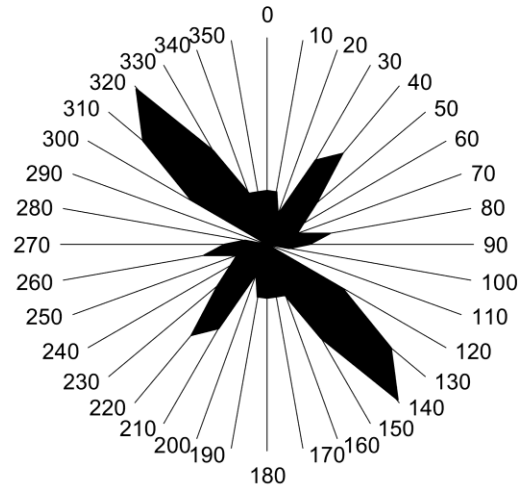
Metoda zahuštěných
vrstevnicových map

morfolineamenty

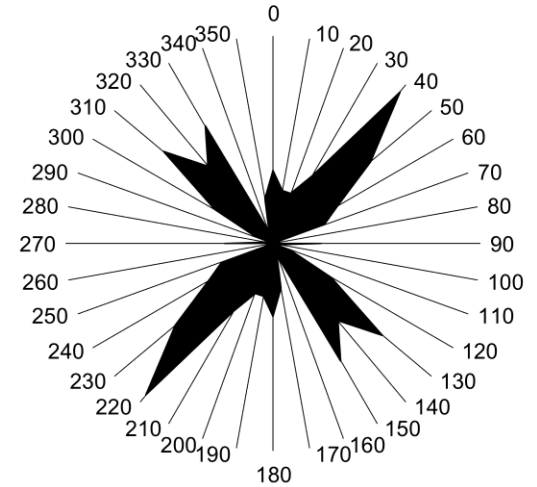
puklinový systém



zlomový systém



morfolineamenty



Upřednostňovaná predispozice zlomy před puklinami

Korelace strukturních prvků a morfolineamentů

- Spearmanův koeficient korelace pořadí
- Omelkův index podobnosti (Štěpančíková , Omelka, 2007)

➤ Morfometrické metody

Hodnocení parametrů prvků reliéfu a jejich vztahů

- vhodné pro rozsáhlá území - rychlé a snadné odvození, možnost vzájemného srovnávání a statistického hodnocení v prostředí GIS
- výběr modelových, potenciálně geodynamických oblastí
- potvrzení, doplnění, zpřesnění výsledků terénního výzkumu na matematickém základě

❖ Analýza morfometrických charakteristik

analýza sklonů - identifikace strmých svahů (lineární průběh)

- zarovnaných (plochých) povrchů

metoda izobazit - nové tendence ve vývoji říční sítě

- původní obraz morfostruktury před rozčleněním
exogenními procesy

Strahlerův hypsometrický integrál - vysoké hodnoty - charakteristické
pro tektonicky mobilní oblasti se zdvihovou tendencí

(Bíl M. 2002: *Využití geomorfometrických technik při studiu neotektoniky*
(na příkladu Vsetínských vrchů), disertační práce, PŘF MU.

❖ Analýza údolní sítě

textura - indikátor morfostrukturních vlastností

hustota říční sítě, linearita, asymetrie povodí

geotektonické indexy - **Vf** - valley floor width-height ratio (reflexe náhlé změny v šířce údolí)

- **Re** - valley elongation ratio (protáhlost údolí)

- **Af** - asymetrie povodí

podélné profily - **SL index** (stream-length gradient), **gradient** toku, **konkavita** apod.

SMF index - mountain front sinuosity (linearita úpatí okrajového zlomového svahu) - postup erozního rozčlenění zl. svahu