

9. Diskontinuity

Jen velmi obtížně lze stanovit vlastnosti (především mechanické) celého dotčeného horninového komplexu, a to proto, že čím větší geologický prostor je studován, tím více se v něm uplatňují strukturní fenomény, které způsobují, že na horninové prostředí je nutné nahlížet jako na prostředí anizotropní a nehomogenní. Právě strukturní jevy vedou geotechniku k poznání, že k serióznímu stanovení chování **horninového masívu** je nutné do řešení případ od případu zahrnovat i statistická data postihující vliv strukturních prvků, které se v něm nacházejí. V rozměrech horninového prostoru běžně dotčeného stavební činností je pak vliv strukturní stavby víceméně rozhodný. Právě z těchto důvodů bývají projektovány (mimo jiné) i velkorozměrové polní zkoušky.

Horninová hmota = homogenní či kvazi homogenní těleso, běžného objemu řádově cm^3 až dm^3 .

Horninový masív = těleso rozměrů podstatně vyšších řádů. Je tvořeno horninovou hmotou, jež je prostoupena celou řadou **ploch dělitelnosti (nespojivosti, diskontinuity)**. Dělitelnost hornin tj. schopnost hornin odlučovat se podle ploch je charakteristickým jevem určujícím strukturu horninového masívu. Plochy diskontinuity jsou obvykle řazeny do určitých systémů.

Diskontinuity jsou zpravidla hlavním prvkem oslabení horninového masívu.

Podle geneze rozlišujeme dělitelnost na:

- **Primární** – vzniklou při tvorbě horniny (syngeneticky); u **vyvřelin** je to odlučnost podle endokinetických ploch (smršťováním chladnoucího magmatu); u **usazených hornin** vrstevnatost; u **přeměněných hornin** plochy spojené s metamorfózou
- **Sekundární** – vzniklou až v hotové hornině (epigeneticky) vlivem tlaků, tahů a tektonických pohybů (zde se jedná o **pukliny a trhliny, kliváž, dislokace, zlomové plochy**) i vlivem sil netektonických (např. uvolněním reziduálního napětí, poddolováním, svahovými pohyby apod.).

Podle velikosti postiženého objemu horniny rozlišujeme diskontinuity:

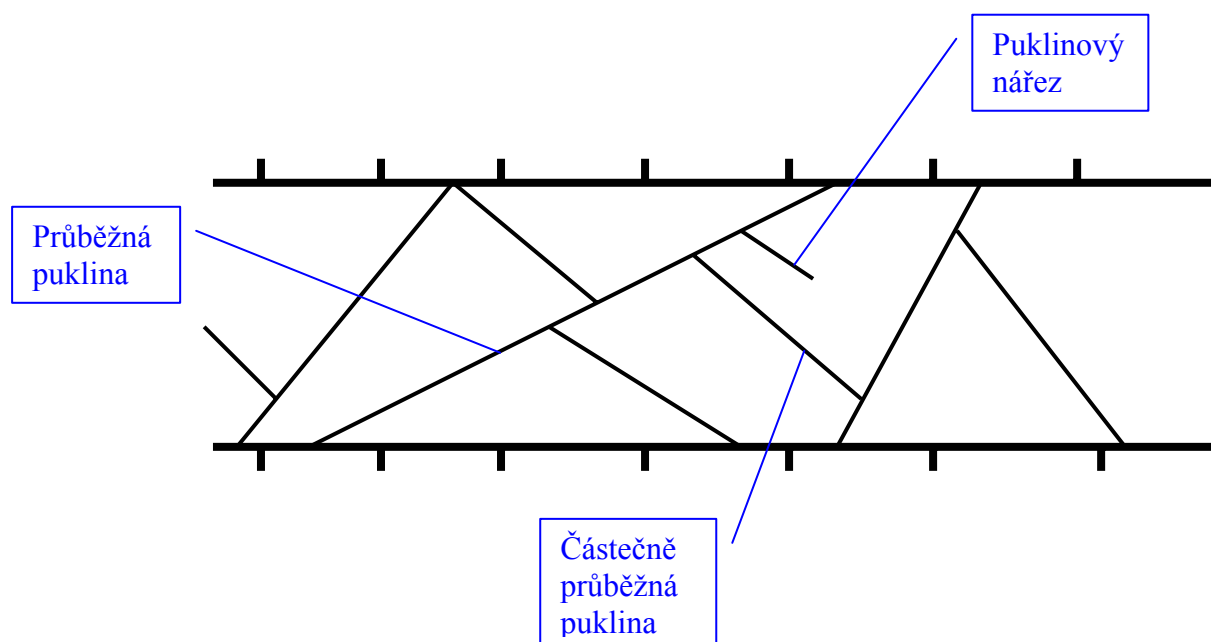
- **1. řádu** = velké oslabené zóny v hlavních tektonických směrech. Diskontinuitami vyššího řádu v geologických tělesech jsou tektonické poruchy, kterým je třeba z geotechnického hlediska věnovat speciální pozornost a studovat je samostatně
- **2. řádu** = vrstevní spáry; plochy břídlíkatosti (S-plochy); tektonicky podmíněné zlomy, pukliny a trhliny; porušení vzniklá lidskou činností
- **3. řádu** = plochy nespojitosti v samotném horninovém materiálu (mikrotrhliny).

V praktické mechanice hornin je pro většinu typů ploch nespojitosti (diskontinuity) standardně používán pojem **puklina**. I když se tím dopouštíme z hlediska geologické klasifikace vědomé nepřesnosti je takovéto pojmenování z pohledu technického účelu přípustné (i s přihlédnutím ke skutečnosti, že pukliny ve smyslu geologickém jsou běžně zdaleka nejčastějším typem oslabující diskontinuity).

Pukliny je nutné klasifikovat z hlediska kvalitativního, kvantitativního i prostorově geometrického.

Kvalitativní klasifikace posuzuje:

- Průběžnost (trvání):** Pukliny neprůběžné (puklinové nářezy), částečně průběžné, zcela průběžné (obr. 9.1)
- Tvar povrchu (nerovnost):** Pukliny rovinné, zvlněné, stupňovité (obr. 9.2)
- Kvalita povrchu (drsnost):** Pukliny drsné (nepravidelné), hladké, vyhlazené (tektonické ohlazy; tektonická zrcátka) - obr. 9.2
- Rozevření (výraznost):** Pukliny sevřené (uzavřené, vlasové), pootevřené, otevřené, rozevřené - zející (trhliny) – tab. IX.I, IX.II
- Výplně:** Pukliny volné (čisté), povlečené (potažené), vyplněné, zhojené (vyhojené).
Materiál výplně (jíl, kalcit, křemen, limonit, grafit, mastek apod.)
- Zvodnění** (může-li být výtok z puklin popsán nebo změřen, potom viz tab. IX.III).



Obr. 9.1 Průběžnost (trvání) puklin dokumentovaných ve stěně průzkumné štolý

	Drsné (nepravidelné)	Hladké	Vyhlazené⁽²⁾
Stupňovité⁽¹⁾	1 	2 	3
Zvlněné⁽¹⁾	4 	5 	6
Rovinné⁽¹⁾	7 	8 	9

Obr. 9.2 Tvar povrchu (nerovnost) a kvalita povrchu (drsnost) puklin (podle ČSN EN ISO 14689-1/2004 [72 1005])

⁽¹⁾ Stupňovité, zvlněné a rovinné plochy jsou jako termíny založeny na pozorování dvou stupňů nerovnosti: střední nerovnost (několik centimetrů) a velká nerovnost (několik metrů)

⁽²⁾ Vyhlazené plochy pouze při zřetelném smykovém posunutí podél diskontinuity

⁽³⁾ Vertikální a horizontální nerovnosti mají stejný význam

Termíny popisující rozevření diskontinuit (podle ČSN EN ISO 14689-1/2004) Tab. IX.I

Popisný termín	Termín pro velikost rozevření	Rozevření
Uzavřené (sevržené)	Velmi těsné Těsné Částečně otevřené (pootevřené)	< 0,1 mm 0,1 až 0,25 mm 0,25 až 0,5 mm
Otevřené	Otevřené Nepříliš široké Široké	0,5 až 2,5 mm 2,5 až 10 mm > 10 mm
Rozevřené (zející)	Velmi široké Extrémně široké Kavernózní (dutinové)	1 až 10 cm 10 až 100 cm > 1 m

Termíny popisující rozevření diskontinuit (podle ČSN 72 1002/1990) Tab. IX.II

Rozevřenost	Šířka [mm]	Symbol
Velmi malá	< 2	O6
Malá	2 ÷ 6	O5
Středně malá	6 ÷ 20	O4
Středně velká	20 ÷ 60	O3
Velká	60 ÷ 200	O2
Velmi velká	> 200	O1

Termíny popisující zvodnění diskontinuity (podle ČSN EN ISO 14689-1/2004) Tab. IX.III

Popisný termín	Ocenění výtoku
Malý	0,05 až 0,5 l/s
Střední	0,5 až 5 l/s
Velký	> 5 l/s

Kvantitativní klasifikace hodnotí frekvenci (hustotu, četnost) výskytu puklin – tzv. rozpukání (podle ČSN 72 1001/1990 a ČSN 73 1001/1988):

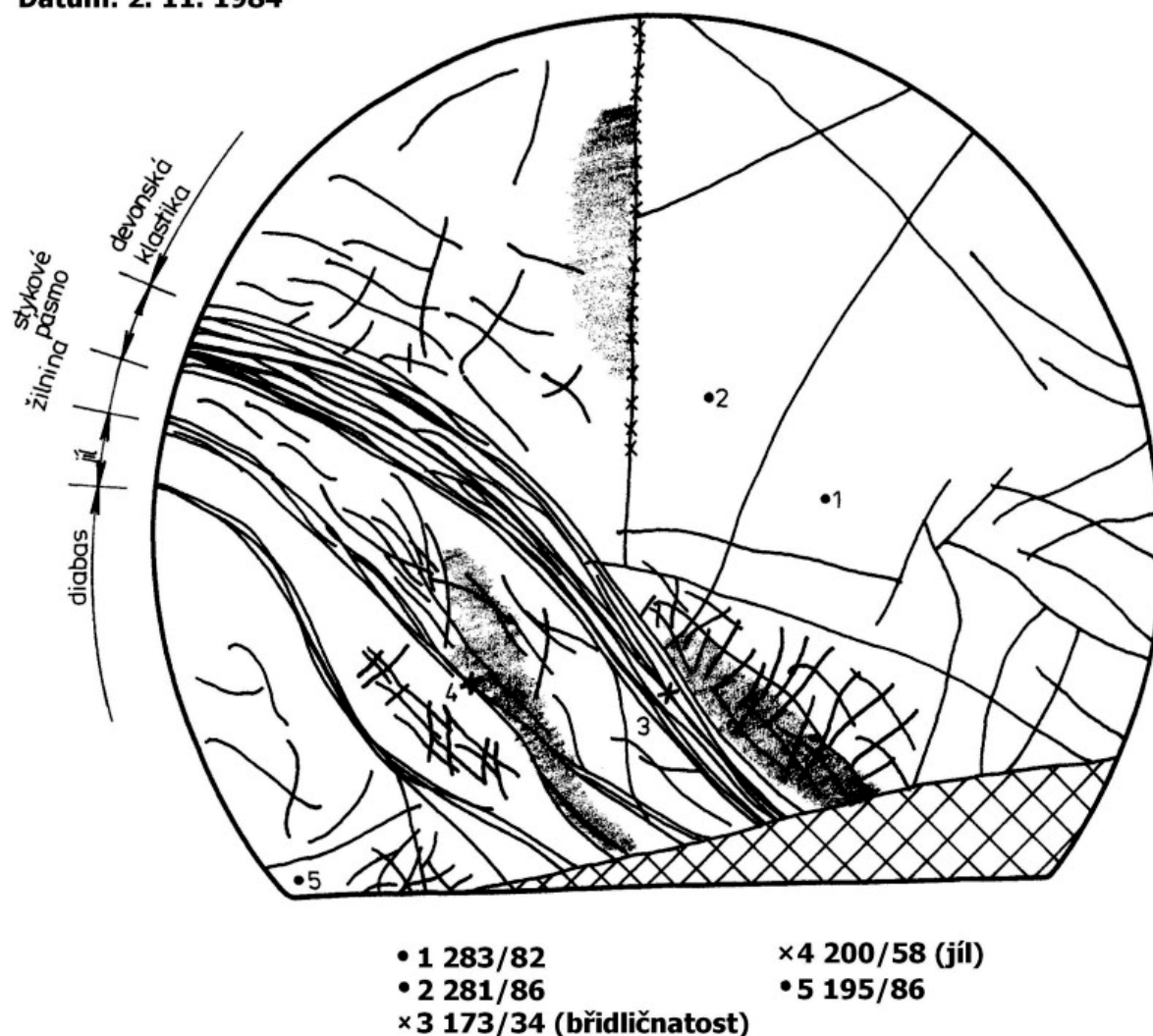
Klasifikace rozpukání horninového masívu

Tab. IX.III

Stupeň rozpukání	Hustota diskontinuit	Ø vzdálenost ploch diskontinuit [mm]
D1	velmi nízká	> 2 000
D2	nízká	600 až 2 000
D3	střední	200 až 600
D4	vysoká	60 až 200
D5	velmi vysoká	20 až 60
D6	extrémně vysoká	< 20

Stupeň rozpukání horninového masívu jako i kvalitativní ohodnocení puklin bývají nejčastěji stanovovány při průzkumu terénní **dokumentaci** horninových výchozů nebo odkryvů příp. vůbec nejjednodušeji při provozním monitorování výrubů (štoly, tunely, stěny). Zde **dokumentaci** rozumíme grafické a verbální popsání zastiženého stavu horninového masívu. Pro tento účel lze využít i dalších typů průzkumných prací (jádrové vrty s rozborem vytěženého vrtného jádra; prohlídku a dokumentaci stěn vrtu optickou či televizní sondou; georadar ve vrtech). Nelze pominout skutečnost, že rozpukání je jevem prostorovým. Příklad geotechnické dokumentace čelby kolektorového tunelu je uveden na obr. 9.3:

Čelba č. 21 (Š 12 -> Š 5) BRNO - kolektor Hybešova Staničení: 186,80 m
Datum: 2. 11. 1984

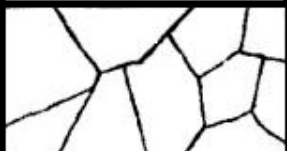


Obr. 9.3 Příklad dokumentace čelby kolektorového tunelu:

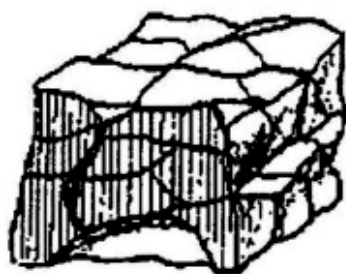
- **Devonské červenohnědé pískovce** (v pravé části čelby **slepence**), tektonicky rozrušené. Hornina je poměrně pevná, směrem ke styku se kvalita výrazně zhoršuje; u styku je hornina měkká a rozpadavá. V klastikách výrazné povlaky červenohnědého jílu
- **Pásmo styku** – usměrněná červenohnědá až hnědá, místy šedomodrá hornina, břidličnatého charakteru (s tektonickými ohlasy), rozpadavá. Stykové pásmo dosahuje mocnosti 20 až 40 cm
- **Žilnina metabazitu** mocná 30 až 80 cm, pestrá (modrobílá, červenobílá apod.). Žilnina je velmi tvrdá, křehká

- Červenohnědý **tuhý jíl**, velmi pružný, zřejmě se jedná o zátek. Uvnitř jílu je čočkovitá vložka zcela rozvětralých, rozpadavých, žlutobílých a žlutozelených metabazitů
- **Diabas** modrošedý (do tyrkysova), tektonicky velmi postižený, zvětralý, rozpadavý.
- Čelba je vlhká, místy (vyznačeno) mokrá

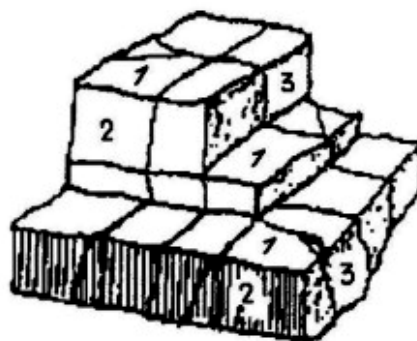
Kvalitativní a kvantitativní analýzou rozpukání a z ní plynoucí snahou o vytvoření klasifikačního modelu horninového masívu se zabývala celá řada autorů. V Československu např. V. Mencl (1974) – 7 typů geometrického uspořádání ploch diskontinuity (obr. 9.4) či M. Matula a R. Holzer (1979) – 9 typů geometrického tvaru blokovitosti masívu (posléze upraveno na 6 typů; viz ČSN 72 1002/1990 a ČSN EN ISO 14689-1/2004– obr. 9.5). Zajímavá je i typologie horninového masívu podle R. E. Goodmana (1995) – v 10 typech (obr. 9.6).

Geometrické uspořádání ploch	Typ geom. uspoř.	Otevřen. spar	Výplň 1 — žádná nebo písčité 2 — jíl
	Y	sevřené	1 2
		otevřené	1 2
	H	sevřené	1 2
		otevřené	1 2
	K	sevřené	1 2
		otevřené	1 2
	SH	sevřené	1 2
		otevřené	1 2
	X	sevřené	1 2
		otevřené	1 2
	I	sevřené	1 2
		otevřené	1 2
	O	sevřené	1 2
		otevřené	1 2

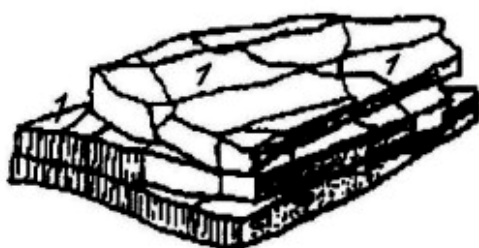
Obr. 9.4 7 typů geometrického uspořádání ploch diskontinuity podle V. Mencla (1974)



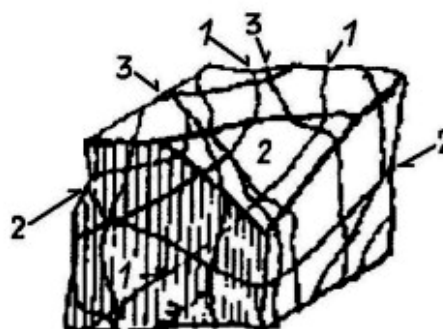
nepravidelné diskontinuity
a) Polyedrické bloky



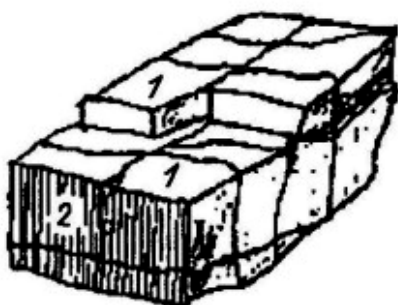
tři systémy diskontinuit (1, 2, 3)
d) Kostkovité bloky



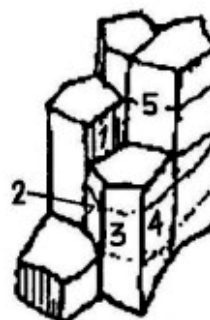
jeden systém souběžných diskontinuit
b) Deskovité bloky



tři vzájemně kosé systémy puklin (1, 2, 3)
e) Kosouhlé bloky

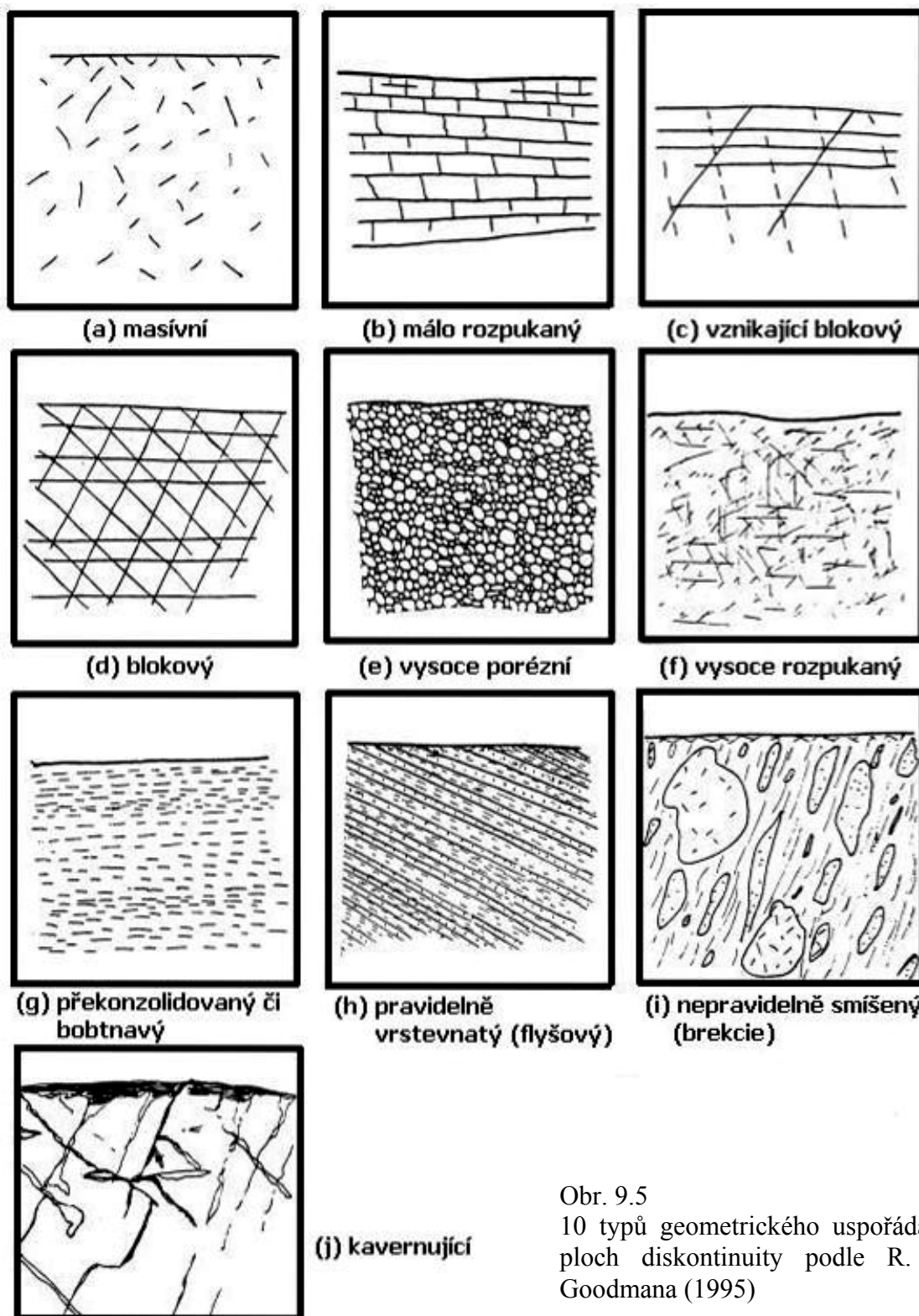


dva systémy souběžných diskontinuit (1, 2)
c) Hranolovité bloky



více systémů průběžně souběžných diskontinuit
f) Sloupcovité bloky

Obr. 9.5 6 typů geometrického uspořádání ploch diskontinuity podle M. Matuly a R. Holzera (1974) - viz ČSN 72 1002/1990 a ČSN EN ISO 14689-1/2004



Obr. 9.5
10 typů geometrického uspořádání
ploch diskontinuity podle R. E
Goodmana (1995)

Prostorová orientace ploch dělitelnosti se pro strukturní analýzu standardně vztahuje ku geografickým souřadnicím – tzn. orientuje se vůči světovým stranám v horizontální rovině a k zemské tíži jako vertikální ose. Terénní měření se opírají o tuto orientaci, poněvadž se dá využít velmi jednoduché měřicí zařízení – nejčastěji **geologický (hornický) kompas** a

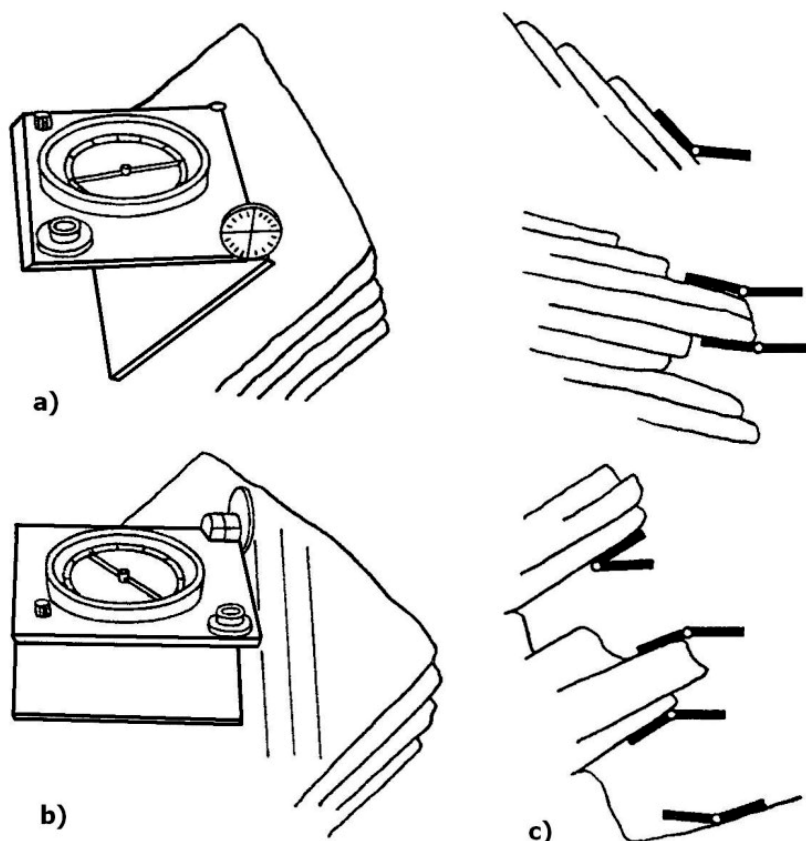
naměřená data je posléze možné vhodně statisticky zpracovat a graficky znázornit (obr. 9.6 až 9.8).



Obr. 9.6 Geologický (hornický) kompas podle Prof. Dr. Clara

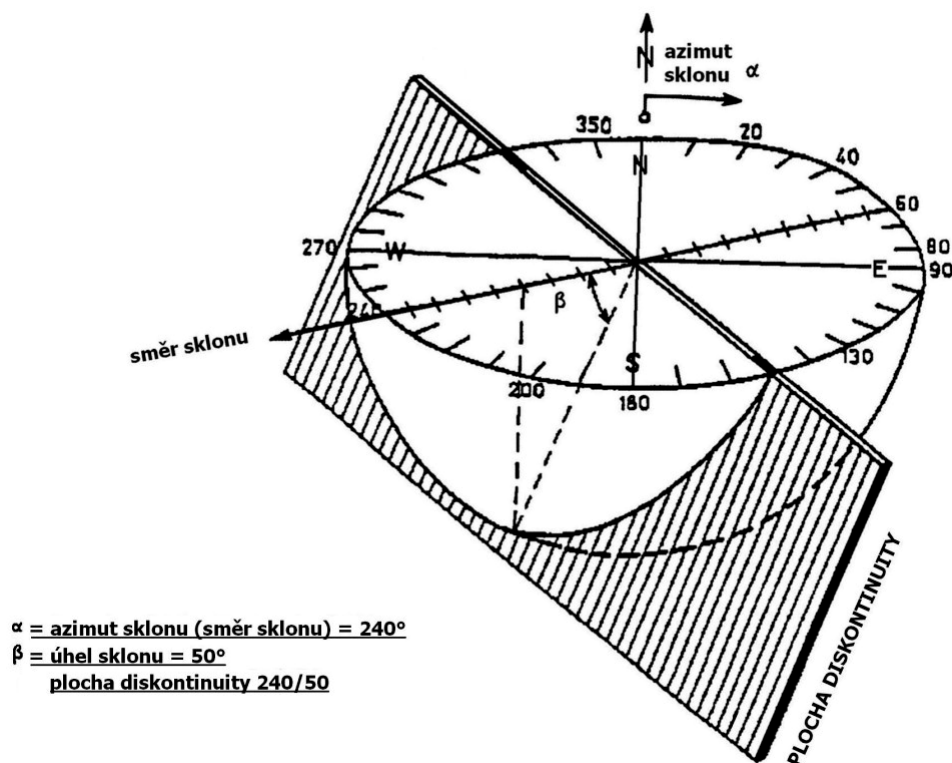


Obr. 9.7 Elektronický geologický kompas - sběrač geologických dat TECTRONIC 4 000 (fy Breithaupt, Kastel, SRN)



Obr. 9.8
Schéma měření
geologickým (hornickým)
kompasem na plochách
diskontinuity. a) poloha
kompasu při měření směru
a sklonu vrstev; b) poloha
kompasu při měření směru
a sklonu lineace;
c) různé možnosti
přikládání Clarova
kompasu při měření
tektonických prvků
(Z. Pouba, 1959, podle E.
Clara a M. Schwaba)

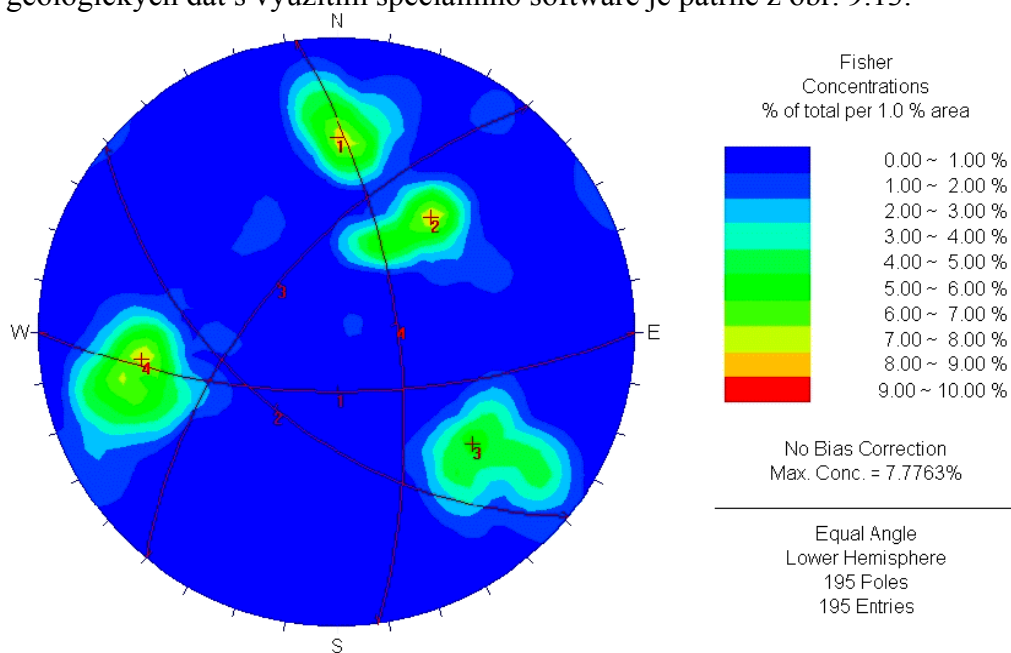
Směr sklonu plochy nespojivosti je dán azimutálním úhlem (vztaženým k magnetickému severu), **sklon plochy** nespojivosti vyjadřuje úhel spádové přímky a vodorovné roviny. Číselné údaje získané terénním měřením na plochách diskontinuit se nejčastěji znázorňují prostředky kulového promítání (obr. 9.9).



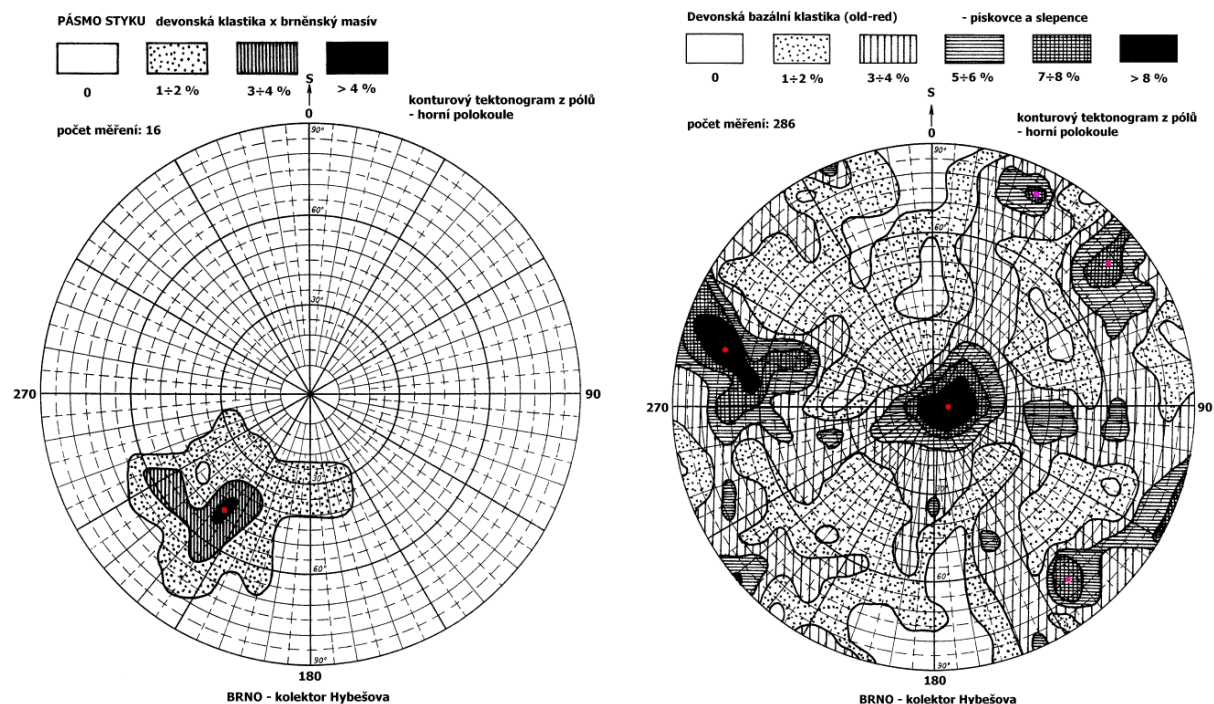
Obr. 9.9
Schéma zjištění směru (sklonu) a sklonu plochy diskontinuity při použití geologického (hornického) kompasu a znázornění směru a sklonu plochy jako jejího průsečíku s dolní polokoulí (ČSN EN ISO 14689-1/2004)

Grafická forma zobrazení se nazývá **tektonogram**, příp. růžicový diagram; tato zobrazení musí být konstruována tak, aby vedle grafické registrace naměřených dat umožnila studium polohy strukturních prvků v terénu, jejich vzájemného vztahu a zároveň musí umožnit i statistické zhodnocení (bodové diagramy, konturové diagramy, velké oblouky apod.).

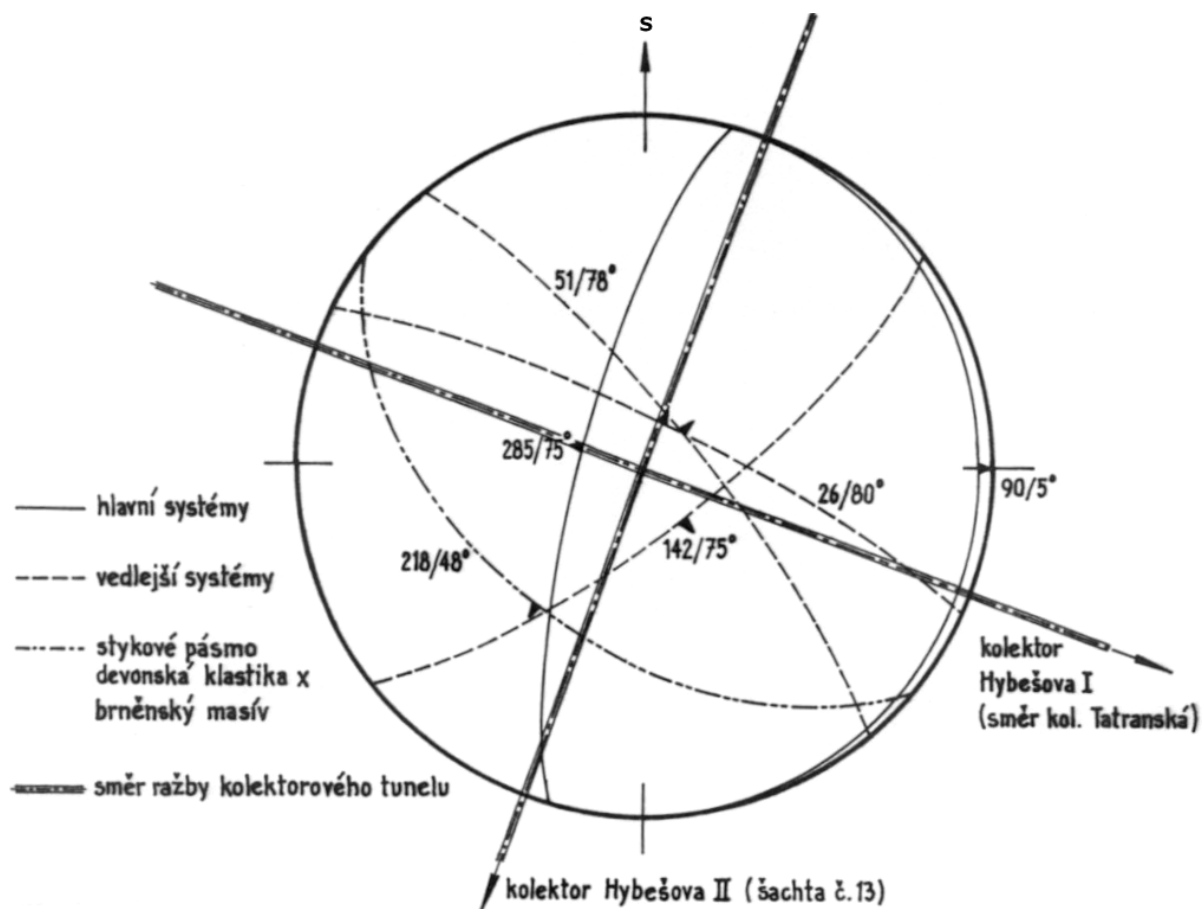
Statistické zhodnocení drobně-tektonických měření z tunelu (viz dokumentace na obr. 9.3), zpracované ve formě konturových tektonogramů, je patrné z obr. 9.10 a 9.11. Zobrazení a vzájemný vztah takto statisticky ověřených puklinových systémů se zavedením směrů ražby tunelu je vykreslen formou tzv. „velkých oblouků“ (= průsečíků statisticky zhodnocených ploch diskontinuity s dolní polokoulí) na obr. 9.12. Moderní zhodnocení a vyhodnocení geologických dat s využitím speciálního software je patrné z obr. 9.13.



Obr. 9.13
Grafické zobrazení strukturních dat s použitím programu DIPS (E. Hoek, 1995)



Obr. 9.10 a 9.11 Konturové tektonogramy se statistickým zhodnocením naměřených dat (směr sklonu a sklon diskontinuit) – viz čelba tunelu na obr. 9.3



Obr. 9.12 Zobrazení a vzájemný vztah statisticky ověřených puklinových systémů (viz obr. 9.10 a 9.11) se zavedením směrů ražby tunelu ve formě tzv. „velkých oblouků“ (= průsečíků statisticky zhodnocených ploch diskontinuity s dolní polokoulí)

Kvalitativní a kvantitativní kvalifikace ploch diskontinuity, jako i jejich prostorová orientace a geometrické rozmístění, jsou v současné době v oboru mechaniky hornin velmi preferovaným směrem vývoje směřujícím ke komplexnímu prostorovému řešení staveb (především podzemních) spolupůsobících s dotčeným horninovým masívem. Při exploataci masívu je tedy (zvláště s ohledem na moderní metody matematického modelování) nezbytně nutné využít všechny výše uvedené skutečnosti pro identifikaci **teorie puklinatosti**.

