

Geologie pro instruktory horolezectví

1. ÚVOD

Tato přednáška si neklade za cíl začít vychovávat z lezců geology či objasňovat, pro řadu lidí nezáživnou, teorii geologie v celé její šíři. Co by však rozhodně mělo být cílem přednášky, je rozkrýt problematiku geologie sledovanou prizmatem **potřeb horolezce** a probrat aspekty jejího vlivu na pohyb horolezce ať už na cvičných skalách nebo ve velehorách. Samozřejmě že nevylučuji možnost hlubšího zájmu o geologii, geomorfologii či geotechniku, kde naopak horolezectví může přispět k odbornému růstu jedince, ale to není předmětem této přednášky.

Geologie je s horolezectvím velice úzce spjata. Základním “nářadím” pro každého horolezce (s výjimkou extrémů jako je lezení po překližce, mrakodrapech nebo čistém ledu - i když i tady může výstup ovlivnit skalní podklad) je **skála**. A skála (hory), jak známo, vznikla zvrátněním zemské kůry při horotvorných procesech. Svou roli pochopitelně hraje zda původní hornina byla vyvřelá, usazená či přeměněná. Následuje působení exogenních činitelů (ledovec, mráz, vítr, voda ...), které mění vlastnosti hornin a tudíž i jejich “využitelnost” pro naše vertikální snažení. Je zřejmé, že v geologii jsme při lezení až po uši.

Pro využití znalostí z oblasti geologie je pochopitelně rozdíl jestli se budeme snažit již podvacátéprvé vylézt monolitickou granitovou stěnu s borháky osazenými po dvou metrech nebo jestli plánujeme průstup nevylezenou velehorskou stěnou ve výšce kolem pěti či šesti tisíci metry nad mořem.

Proč se tedy horolezec má zabývat geologií? V zásadě lze odpověď shrnout do následujících okruhů:

- ⇒ podmiňuje **bezpečnost** lezení (pohybu na skále)
- ⇒ ovlivňuje **techniku lezení**
- ⇒ ovlivňuje **techniku jištění** (mnoho bylo řečeno o pevnostních parametrech výzbroje, ale většinou se nebere ohled na pevnost materiálu, po kterém se leze a kam se osazuje jištění)
- ⇒ dobrá znalost umožňuje optimální průstup stěnou (prvovýstupy)
- ⇒ estetické hledisko
- ⇒ všeobecné znalosti a rozhled (kvalita člověka)
- ⇒ objevitelská touha

Podívejme se na vliv znalosti geologických podmínek výstupu a okolí z hlediska prevence úrazů. Obecně působí při vzniku úrazů šest činitelů:

- 1) **osobní** - závisí na psychickém typu jedince, jeho fyzické zdatnosti a stupni tělesného a duševního vývoje
- 2) **činitel druhé osoby** - osoba spolulezce nebo cvičitele
- 3) **objektivní** - dán charakterem sportu

- 4) **činitel zevního prostředí** - klimatické a hygienické podmínky sportovního prostředí
- 5) **technický** - výstroj, výzbroj
- 6) **organizační** - opatření, která vhodným uspořádáním tréninku, výstupů a jiné činnosti zajistí jejich bezpečný průběh

Ve čtyřech z těchto šesti činitelů můžeme vysledovat vliv znalosti geologických okrajových podmínek. Kromě bodu 3) a 4) se vždy projeví kladně (větší psychická odolnost při znalosti podmínek, lépe naplánovaná trasa výstupu, výběr vhodných jistících prostředků a stanovišť, lepší odhad objektivních rizik, větší jistota při případném ústupu z plánované cesty).

Z výše uvedeného je zřejmé, že každý horolezec musí alespoň v minimálním rozsahu ovládat základy geologie potřebné pro bezpečný pohyb v horách či na skalách.

Je jasné, že tyto poznatky využijeme různě v různých lezeckých terénech a oblastech, ale mějme na paměti, že i kdyby někde v myslí zasutá vědomost o chování horniny zabránila být i jedinému úrazu, bude to stát za to. Úmyslně se zde nezmiňuji o pocitu, který znalý člověk může mít při pohledu např. na krásně ledovcem modelovaný práh visutého údolí s jeho bezchybně vyhlazenou žulou. Velehory, ale i některé skalní útvary v nižších nadmořských výškách, patří k nejméně probádanému povrchu Země. Většinou je to z důvodu nedostupnosti pro "normální" jedince a proto se pro horolezce otevírají široké možnosti objevovat dosud neobjevené.

V této přednášce jsme se pokusili soustředit na nejdůležitější geologická a geotechnická fakta potřebná pro lezení, která jsme čerpali z dostupné literatury i z vlastních zkušeností. Značně rozsáhlá tematika nás donutila volit co nejúspornější formu informací.

Vzhledem k tomu, že přednáška je určena všem zájemcům a horolezcům o horskou a skalní přírodu, zařazujeme do ní některé obecné geologické a geomorfologické poznatky a údaje, aby čtenář lépe pochopil problematiku vývoje hor, jejich modelaci či vnitřní strukturu skalní přírody, po níž se jako horolezci pohybujeme.

Nemůžeme zde bohužel uvést rozsáhlé mapové materiály, profily, náčrty a hlavně fotodokumentaci a hmotnou dokumentaci, která je od počátku 60. let doplňována a rozšiřována. Totéž se týká i literatury, kde uvádíme jen základní publikace, aby se zájemce mohl v tématice lépe orientovat, případně si vybrat pro něho nejzajímavější či nejpotřebnější věci.

Zajímavým příkladem, jak se určité sportovní disciplíně dostalo širšího společenského uplatnění, jsou horolezecké expedice. V mnoha státech byly zřízeny zvláštní komise nebo společnosti pro velehorský výzkum, které koordinují vědeckou a sportovní činnost a do výprav většinou zařazují i příslušné odborné pracovníky, pokud tito nejsou přímo v řadách horolezců.

2. VZNIK, ZÁNÍK A GEOLOGICKÁ HISTORIE HORSTEV

Opravdová hora je víc než pouhý kus do výše se tyčící země. Svě zvláštní geologické rysy (např. silně zvrásněné či rozlámané horniny, staré vulkanické uloženiny nebo rozsáhlé vyvěřelé hmoty) má i pod povrchem. Naproti tomu vrstvy sedimentárních hornin, které se z roviny sotva zvedají, nemohou být nazývány horami (mohou ale poskytovat nepřeborně rozmanité lezecké terény jako např. erozí modelované labské pískovce).

Pohoří dělíme na čtyři hlavní typy: vrásová, kerná, vulkanická a dómová.

Vrásová pohoří vznikala neobyčejně složitými způsoby stlačování a vrásnění, doprovázenými intruzemi roztavené horniny, regionální metamorfózou a rozlámáním na kry. Vrásová pohoří se mohou značně měnit, ale přesto odpovídají základnímu typu. Alpy, Karpaty a Himálaj tvoří největší vrásový horský řetěz na světě. Četná zemětřesení svědčí o tom, že pohoří se stále ještě pohybují.

Kerná pohoří jsou tvořena velkými zlomovými strukturami. Kerná hora mohla vzniknout buď hlubokým zlomem, nebo výjimečně velkou hrástí, kterou potom modelovala eroze. Vnitřní struktura kerných hor je obvykle vrásová a zlomová.

Dómy vznikají zdvihem souvrství, např. intruzí granitového magmatu. S pokračujícím výzdvihem je povrch obrušován erozí a vyvěřelina vychází na povrch. Při rozsáhlejších dómeh vznikají dómová pohoří.

Vulkanická pohoří vznikají erupcemi sopek s následným ukládáním popela a lávy. Uvnitř kontinentů jsou vulkanická pohoří poměrně vzácná. Většinou jsou podmořská nebo ostrovní.

Vrásová pohoří jsou ze všech nejvýznamnější, protože vytvářejí tisícikilometrová pásma. Jsou často spojena s pohořími kernými a vulkanickými. Podle **teorie deskové tektoniky** se vrásová pohoří vytvořila pohyby a srážkami velkých desek, které vytvářejí zemskou kůru. Tyto desky mají obvykle ohromný rozsah, takže mohou nést celé kontinenty. Když se dvě desky srazí, klouže odolnější z nich pod druhou a vzhůru vytlačuje sediment uložený v geosynklinále nebo v příkopu mezi deskami. Velké vrásky vytvořené ve stlačeném sedimentu nakonec vystoupí nad okolní území jako pohoří. Jestliže počáteční srážka postihne rychle se pohybující kontinentální desku, mohou být vrásky vysunuty ještě výše a vytvářejí mnohem větší horská pásma. Kontinentální deska podsunutá pod jinou má tendenci udržovat vzestupný tlak – obdobně jako když ponořený korek směřuje k povrchu. Časem se pak stacionární deska vysune vzhůru a přilehlá vrásová pohoří se s deskou pohybují. Například Himálaj vznikl, když se severní hrana indické kontinentální desky srazila s asijskou deskou a sklouzla pod ni; asijská deska byla vyzdvižena a vytvořilo se nejvyšší horské pásmo na světě.

Zánik horstev

Pohoří jsou modelována a rozrušována vnějšími geologickými silami, jako je mráz, voda (v podobě sněhu, ledu a deště) a vítr. Mráz může horniny drtit, vytváří suťové osypy (hmoty sutě při základně skalního srázu), sníh a ledovce vyhlubují horninovou suť, přenášejí ji po horském úbočí dolů a zanechávají jako morénu na konci či bocích ledovce. Níže se do horského úbočí zařezávají řeky, jež tvoří klikatící se údolí s ostrohy zapadajícími do sebe. Tyto ostrohy mohou být uřaty ledovci, razícími si cestu z pohoří do nižších poloh. Jak je zřejmé, není tedy eroze pohoří nic jiného než neustálé rozrušování hornin a jejich postupný sestup způsobený gravitací. Zvětrávání a eroze časem pohoří rozruší a sníží natolik, že se nakonec přetvářejí v široké roviny, členěné pomalu meandrujícími řekami. V aridním podnebí může zkázu pohoří dokonat větrná eroze: dojde k větrné korozi, jež zbývající vrchy přemění v holou poušť pokrývající parovinu. To je však výjimečné; zemské pohyby zpravidla oblast znovu vyzdvihnou a začne nový geologický cyklus.

Studium pohoří

Pohoří pomáhají geologům lépe porozumět strukturám i chování hornin, jež jsou pohyblivými se kontinenty stlačovány. Pohoří vyznačují polohy dávných hranic desek – například v mezozoiku a kenozoiku, kdy se vytvářela velká pásma jako Himálaj. Studium horských pásem rovněž objasňuje polohy dávných oceánů.

3. ZÁKLADNÍ DĚLENÍ HORNIN

Co je to vlastně kámen či skála, pojmy které by měly být lezcům nejbližší? Hornina se skládá z nerostů, což jsou útvary nehomogenní, tvořené různými asociacemi minerálů. My se zde budeme zabývat horninami, o které horolezci mají zájem největší, tj. ty po kterých se nejvíce leze (pískovec, žula, vápenec, buližník aj). Studium a popisem hornin se zabývá věda zvaná petrologie či petrografie.

Horniny na zemském povrchu můžeme rozdělit na tři typy: vyvřelé, metamorfované (přeměněné) a sedimentární (usazené). Vyvřelé horniny byly vytvořeny ochlazením roztaveného magmatu. Metamorfované horniny vznikly přeměnou (tepelnou a tlakovou) starších hornin. Nové krystaly v hornině se vytvářely za působení tlaku a podle něho jsou také orientovány. Sedimentární horniny se skládají ze zvětralých nebo erodovaných úlomků starších hornin nebo ze zbytků živých organismů.

Sedimentární horniny se vytvořily na zemském povrchu za neobyčejně nízkých tlaků, metamorfované horniny vznikly pod povrchem, kde panovaly teploty a tlaky, a intruzivní vyvřelé horniny se vytvořily rovněž pod zemským povrchem, ale za ještě vyšších teplot.

Horninový cyklus

Schéma horninového cyklu ukazuje vztahy mezi jednotlivými typy hornin. První část cyklu – eroze a zvětrávání starších hornin v půdu a písek a přenos výsledného sedimentu řekami do moře – probíhá na zemském povrchu. Téměř každý sediment, ať již na pevnině, nebo podél pobřeží, je nakonec odnášen do hlubokých mořských pánví. Zde se ukládají velmi mocné sedimenty. Například Mississippi přinesla za posledních 150 miliónů let do Mexického zálivu přibližně 500 miliónů tun sedimentů za rok. Vrstva sedimentů je nyní 12 km mocná.

Voda, jež při svém koloběhu prochází pískem, ukládá mezi jeho zrna oxidy železa, oxid křemičitý nebo oxid vápenatý a sypký písek zpevňuje v pískovec. Bahno

se hmotností nadzemních sedimentů stlačuje, až se všechna voda vytlačí, a vzniká jílovitá břidlice. Tento proces změny sedimentů v horninu se nazývá diagenese.

Sedimentární horniny největší mocnosti se hromadí v dlouhých úzkých sníženinách mořského dna zvaných geosynklinály. Tyto sníženiny jsou vytvářeny sestupnými konvenčními proudy, které celé milióny let odnášejí hmotu zemské kůry do zemského nitra, do oblasti vysokého tlaku a teploty. Sedimentární hornina ve sníženině je odnášena s hmotou kůry. Vrásní se, stlačuje a zahřívá na 200 – 500 °C. Tím se mění v horninu metamorfovanou.

Při klesání horniny do svrchního pláště teplota i tlak ještě stoupají, takže se hornina taví. Roztavená hornina je lehčí než pevná a nadložní horninou vystupuje k povrchu. Jestliže ho dosáhne jako lávový proud, ihned zvětrává, podléhá erozi a začíná nový horninový cyklus. Častěji však roztavená hornina utuhne pod povrchem a pak, ještě před začátkem nového cyklu, musí nadložní horninu odstranit eroze.

Přestože úplný cyklus postupuje od sedimentárních hornin k metamorfovaným a vyvřelým, je u mnohých hornin kratší – obvykle chybí vyvřelé nebo metamorfované stadium. Například sediment může být zpevněn v pískovec, ale potom vyzdvižen z moře a erodován.

Vyvřelé horniny

Vyvřelé horniny se dělí na extruzivní (výlevné) a intruzivní. Extruzivní horniny byly vyvrženy sopkami a na zemském povrchu se ochladily jako lávy. Naproti tomu intruzivní horniny utuhly pod zemským povrchem. Velikost zrna nerostu v hornině závisí na rychlosti ochlazování: když jsou horniny v zemské kůře hluboko, ochlazují se pomalu a při tom vznikají hrubozrnné horniny, jejichž krystaly narůstají do více než dvoumilimetrové délky. Právě hrubozrnnost je význačný rys intruzivních hornin.

Vyvřelé horniny třídíme podle množství oxidu křemičitého a velikosti zrn. Chemické složení, a tím i obsah oxidu křemičitého zvláště závisí na původu magmatu, z něhož hornina vznikla. Magma může vzniknout částečným tavením hornin pod zemskou kůrou, nebo tavením samotné kůry při horninovém cyklu. Magma z kůry obsahuje více oxidu křemičitého než magma z pláště a vytváří světle zbarvené horniny, zatímco magma pláště vytváří tmavě zbarvené horniny.

Částečným tavením hornin pod zemskou kůrou vznikají bazalty (čediče – jemnozrnné extruzivní lávy), dolerit (středně zrnitá intruzivní hornina) a gabro (hrubozrnná intruzivní hornina). Čediče, jež tvoří dna oceánů, se hojně vyskytují na Islandu a v některých kontinentálních oblastech. Dolerity se nacházejí v tenkých vrstvách zvaných pravé a ložní žíly, které intrudovaly do vrstev sedimentární horniny nebo mezi ně. Gabro se objevuje ve velkých vrstevnatých intruzích, jež byly zdrojem doleritu nebo čediče. Tavení hornin, které kdysi byly sedimenty v kůře, vytváří granity (žuly). Žuly se vyskytují ve značně velkých intruzích zvaných batolity.

Podívejme se na některé horniny blíže. Z eruptiv jsou nejznámější a nejrozšířenější žuly – granity, resp. granitoidy a granodiority:

- krkonošská žula v Krakonošově zahrádce nebo na Pančavě s typickým kvádrovitým rozpadem LQS,
- typické tvary v Yosemite – relikty po paleogenním reliéfu a po ledovcové činnosti (Half Dome, El Capitan),

- granitový masiv karakoramský masiv v oblasti Baltoro s dominantním Matterhornem K2,
- divoké věžovité útvary ve skupině Fitz Roy,
- geologické defilé jedněch z nejstarších granodioritů na světě v Zemi Královny Maud ve východoantarktickém prekambriu apod.

Přibývá-li u eruptiv tmavých minerálů (od světlých žul), setkáváme se s tmavšími diority až s tmavými gabry nebo gabrodiority, nebo ultrabasickými horninami.

Z žilných diferenciálů jsou nejznámější basičtější porfyryty, příp. jemnozrnné aplity nebo hrubozrnné pegmatity.

Výlečné horniny se vyskytují tam, kde je činný vulkanismus. Sopečné lávy tuhnou v kupách, proudech, starší bývají exhumovány (viz České středohoří – Bořeň). Vlhký čedič pěkně klouže, ale má nádherné šestiboké rozpukání (Panská skála u Kamenického Šenova). Rozsáhlé příkrovy výlečných hornin (čedičů, doleritů) známe z oblasti starých štítů (Indie, USA, Sibiř, Austrálie, Antarktida). Horolezecky známé jsou například Devil's Tower ve Wyomingu nebo pohoří Hoggar na Sahaře.

Sedimentární horniny

Sedimentární horniny ke svému vzniku potřebovaly:

1. alteraci (zvětrávání) starších hornin všech typů
2. transport exogenními činiteli (voda, vítr, ledovec, gravitace)
3. sedimentární prostor ať již na souši nebo ve vodním prostředí
4. konsolidaci, hardifikaci (zpevnění)

Nejzastoupenější a nejznámější sedimentární horniny jsou především pískovce, slepence, prachovce a jílovce. K pískovcům má skálolzecká společnost nejbližší. Z ostatních např. hrubozrnných slepenců jsou známé lezecké terény u katalánského kláštera Monserrat severozápadně od Barcelony. Naopak z těch jemnozrnnějších prachovců či jílovců s typickou břidličnatostí nebo lavicovitým rozpadem mnoho horolezeckých terénů nemáme. Výjimku tvoří např. údolní defilé Peliny u Chocně, permské pískovce v okolí Hradiště nad Metují.

Pískovce mají převahu klastických (křemenných, živcových) zrn o průměru 0,03 až 2 mm. Mezihmota (pojivo) bývá jílovitá, pelitická, případně jde o sekundární tmel (křemen, kalcit, sádrovec). Křemenné pískovce často nazýváme křemence. Jsou obvykle velmi pevné, pevnost v tlaku může přesahovat i 250 MPa (silurské cvičné skály u Černolic).

Vápence zastupují tzv. neklastické (biochemické) sedimenty. Jsou strukturně velmi pestré a mají mnoho typů. Snadno rekrystalují a proto se tu objevují druhotné struktury (póry, dutiny, žíly a žilky často vyplněné kalcitem). Zbarvení vápenců bývá způsobeno rozptýlenými oxidy Fe, šedé až černé vápence jsou bohaté na organické látky, nazelenalé obsahují chlorit nebo glaukonit. Textura vápenců, dobře viditelná na výchozech, bývá hlíznatá, konkrecionální, brekciovitá. Lezecky významné vápencové skály jsou např. Srbsko, Pálava, Arco, Dachstein, Belanské Tatry či Dolomity.

Sedimentární horniny tvořené převážně oxidem křemičitým vzniklým chemickou nebo biochemickou cestou jsou **silicity** (lydit – bulžník, rohovec). Jsou to

velmi resistantní horniny, které přetrvaly i dlouhodobé alterační a planační procesy ve starších třetihorách a v oblastech kde působila výrazná hloubková a fluvialní eroze. Tam vznikla kaňonovitá údolí viz Šárecký potok s lyditovými skalními útvary.

Sedimentární horniny se dále člení na tři typy. Klasické sedimenty jsou vytvořeny úlomky starších hornin; organické sedimenty se skládají ze zbytků živočichů nebo rostlin; chemické sedimenty vznikají vysrážením nerostů a solí z vody. Vodní proudy, pohyb ledu a vlny rozbíjejí starší horniny na úlomky; některé jsou velké jako balvany, další, s průměrem kolem 1mm, tvoří písek a z velmi jemných úlomků vzniká kal. Většinu úlomků řeky odnášejí a ukládají v deltách při ústí nebo na mořském dnu. Kameny zůstávají blízko horních toků řek nebo na pobřežích a jsou stmeleny v horninu zvanou slepenec. Písek se usazuje blízko pobřeží nebo na kontinentálním šelfu a posléze vytváří pískovec. Písky jsou rovněž přenášeny větrem, který je ukládá v pouštním prostředí. Kal bývá často unášen daleko od pobřeží a mění se v jílu nebo jílovitou břidlici.

Organické sedimentární horniny mohou být vytvořeny z rostlinných zbytků (uhlí) nebo z tvrdých schránek či kosterních částí mořských živočichů. Mnohé vápence se utvořily z vápničných koster, které zpevňovaly měkké tělo korálů, a ze schránek drobných živočichů, které moře postupně proměnilo v úlomky. Milióny let po zániku organismů se úlomky svou hmotností stmelí a vznikne vápenec. Tento proces se nazývá diagenese. K nahromadění karbonátu vápníku v současné době dochází zvláště na Bahamách a v Perském zálivu, ale v minulosti, kdy teplá moře byla mnohem rozsáhlejší, vápenec vznikal ve větších oblastech. Křída je vytvořena z nespočetných vápničných schránek, které se dají vidět jen v mikroskopu. Mořská voda obsahuje množství soli, které se při vypařování vysráží jako karbonát vápníku, který ztvrdne v jemnozrnný vápenec. Je-li pánev částečně uzavřená, vysrážejí se i soli, například sádrovec.

Sedimentární horniny podávají i četná svědectví o povaze povrchu Země před mnoha milióny let. Jemnozrnný červený pískovec například svědčí o někdejší přítomnosti pouští. Zjišťováním vrstevního sledu a srovnáním vrstev podle povahy, obsahu zkamenělin a stáří se zabývá stratigrafie a paleontologie.

Přeměněné horniny

Metamorfované horniny obvykle bývají mnohem tvrdší než horniny sedimentární. Některé vznikají ponořením do velkých hloubek, jiné teplem vyvěřelých intruzí. Všechna jejich zrna jsou propojena krystaly a mnohé horniny, například pokrývačské břidlice, svory a ruly, se podél některých ploch snadno štěpí. Jiné horniny, například kvarcit a mramor, jsou pevné a lámou se ve všech směrech.

Jestliže do sedimentárních hornin vnikne roztavená hmota magmatu, přeměňují se. Je to forma metamorfózy termální (tepelné) nebo kontaktní. Malé intruze, jako pravé a ložní žíly, tenkou kůru horniny pouze spečou, a tím ji učiní tvrdší; velké intruze mění horninu v okruhu několika kilometrů. Velká intruze může zahřát horninu na 700 °C, a než se ochladí (trvá to více než milión let), je dost času pro tvorbu nových nerostů.

Horniny obklopující vyvěřelou intruzi mohou být podle stupně přeměny rozděleny do zón. Jílovité břidlice se na vnější straně změny v pokrývačské břidlice a blízko intruze v nich vzniknou nové nerosty, například andalusit. Těsně u intruze vyvěřelé horniny se vytváří tvrdá hornina – kontaktní rohovec.

K regionální metamorfóze dochází v hloubce, kde vyšší teplota a tlak vyvolají přeměnu hornin. Vzrůst tlaku je způsoben hmotností nadložních hornin, vzrůst teploty teplem zemského nitra. Při regionální metamorfóze vznikají například svory a ruly. Tyto horniny zauímají velkou část zemského povrchu, na nichž byla erozí sbroušena stará pohoří, například Kanadský štít a části Skotska a Švédska.

Vzácný typ metamorfózy tektonické způsobují velké horninové hmoty pohybující se přes sebe. Tlak horninu drtí, dochází k velkému tření a při tom se vytváří hornina zvaná mylonit. Mylonit se objevuje jen v úzkých pruzích.

Metamorfózy rozeznáváme regionální a lokální. Pro **regionální metamorfózu** je typický vznik minerálů jako je sillimanit, andalusit, disten, cordierit, dále granáty, epidot, serpentín a chlorit. Při metamorfóze se mění nejen minerály, ale i struktury. Dochází k drcení, rekrystalizaci, struktury se usměřují a vznikají struktury nové. Vzniká břidličnatost podle které se též metamorfítům říká krystalické břidlice. Nejznámější jsou fylity, svory a ruly. Ruly vzniklé ze sedimentů označujeme jako pararuly, z vyvřelin jako ortoruly. Horniny podléhající přeměně označujeme předponou meta (metapelity, metakvarcity, metabazity, metakonglomeráty). Z vápenců se stávají následkem přeměny mramory.

Při **lokální metamorfóze** v oblasti kontaktního dvora vznikají kontaktní rohovce, z vápenců se tvoří skarny. Sem náleží i metamorfóza dislokační, která je vázaná na poruchové linie. Horniny tu jsou drceny – mylonitizovány. Mylonitické zóny v granitech Vysokých Tater, na kterých se vytvořily alterační zóny, podmiňují vznik kuloárů, štrbin či sedlových sníženin.

4. VRÁSY A ZLOMY

Horstva a údolí jsou tvořena vrásami a zlomy ustavičně se měnící zemské kůry. Vrásy (horninové vlny) i zlomy (trhliny) jsou vyvolávány silnými tlaky.

Jak se vrásky a zlomy tvoří

Vrásky a zlomy jsou obvykle dobře vyvinuty v sedimentárních a vulkanických horninách. Mohou se také tvořit v hlubinných horninách – například v žule a gabru.

Pohyb pevných horninových desek vytváří na okrajích silný tlak. Tam, kde se dvě desky sbíhají, vytlačují horniny vzhůru do vysoko zvrásněných a rozlámaných horských řetězců. U jiných okrajů desek dochází k rozbití horniny roztahováním a vznikají protáhlé sníženiny ohraničené zlomy – například riftová údolí ve východní Africe.

Velikost vrás velice kolísá – od několika milimetrů po stovky kilometrů. Vhloubené vrásky se nazývají synklinály, vyklenuté antiklinály.

U vrás, které se tvoří ve stejné době jako uloženina, je nad hřebenem vrásky patrná menší mocnost vrstev. Tyto vrásky také vznikají, když se současně v téže oblasti ukládá různou rychlostí zpevňovaná horninová hmota. Dómy jsou vrásky, v nichž se vrstvy uklánějí ven, zatímco pánve vznikají, když se vrstvy uklánějí dovnitř.

Typy vrás

Vrásky dělíme na tři hlavní typy. První tvoří pravé neboli ohybové vrásky, vznikající stlačováním kompetentních (tvrdých) hornin. V oblastech, kde se vyskytují nekompetentní (měkké) horniny, mohou tyto vrásky přejít do druhého typu – vrásnění

plastickým tokem. Nekompetentní horniny se chovají jako hustá pasta; nesnadno přenášejí tlak a obvykle tvoří mnoho malých vrás. Třetí typ vrás vzniká střížným vrásněním. Mohou se vyskytovat v křehkých horninách, v nichž se tenké destičky, vzniklé rozdělením horniny drobnými štěpnými prasklinkami, vůči sobě pohybují jako karty vysunované ze svazku. Pokud vrásky nejsou odříznuty zlomem, nakonec se vyklíňují uzávěrem, jehož tvar připomíná tvar poloviční pánve nebo dómu.

Jednoduché vrásky se obvykle vyskytují v mladých horninách, zvláště třetihorního a čtvrtohorního stáří. Složité vrásky se nacházejí ve starších horninách. Velmi staré horniny, například předkambrické v Norsku, byly několikrát převrásněny a vznikly struktury budinážové (tektonické čočky), mulionové (tektonické pruty, tyče) a klivážové (příčná břidličnatost). Staré horniny byly teplem a tlakem změněny. Nerosty s vrstevnatou stavbou, například slídy, pak krystalují navzájem rovnoběžně a hornina se podél tenkých ploch snadno štěpí. Přeměněné horniny s touto vlastností označujeme jako krystalické břidlice.

Se vzrůstající vzdáleností od zdroje tlaku intenzita vrásnění poklesává a vrásky se postupně vyklíňují, například na severu a západě Alp.

Zlomy

Když se horniny, na něž působí tlak, nemohou dále ohýbat, praskají a vytváří se zlom. Jestliže se bloky horniny vzájemně odtahují, vzniká pokles, zatímco stlačováním dochází k přesmyku (zdvihu) až přesunu. Pohybem podél zlomové plochy se na přilehlých stěnách – kluzných plochách – vyhlubují žlábků a rýhy. Podle jejich orientace geologové měří relativní boční a svislé pohyby podél zlomů; to jim například umožňuje určit, zda byl pohyb lineární nebo rotační. Zlomy, které se často vyskytují v zemětřesných oblastech, se na povrchu projevují jako zlomové srázy a riftová údolí (například zlom San Andreas a nebo riftové údolí Rýna).

Zlomy se často vyskytují ve zvrásněných oblastech. Obnoveným pohybem podél existujícího "pohřbeného" zlomu se povrchové vrstvy mohou někdy rozdělit do složité mozaiky ker.

Problematikou zlomů a vrás se zabývá strukturní geologie.

5. MODELACE HORSTEV EXOGENNÍMI ČINITELI

Tvary zemského povrchu

Jakmile byla nějaká oblast zemské kůry vyzdvižena (viz vnitřní - endogenní síly geologické, tj. vrásnění a výzdvihy) začal erozní denudační proces. Relief utvářely do dnešní podoby vnější síly geologické (exogenní). Mluvíme o exodynamice. Je to především působení atmosférických činitelů (vodní a sněhové srážky, radiace, mráz a další teplotní změny), vlivy gravitace, fluvialní působení povrchové vody, glacigenní činnost ledovců, eolická činnost větru, biosférické vlivy apod.

Způsob a intenzita projevu uvedených faktorů byla a je modifikována klimatickými poměry v různých podnebných pásmech (klimazónách) i v různých geologických dobách.

Děšť padající na povrch vede ke vzniku říčního systému. Řeky se zahloubí, rozšíří svá údolí a za dlouhou dobu se celá oblast sníží (denudace vede až ke vzniku paroviny). Tento předpoklad platí jen v tom případě, že nedošlo k žádnému dalšímu zdvihů, který by odvodňování zmladil a zahájil nové období silného zařezávání toků. Například kaňon řeky Colorado se zařídil do mnohem širšího, staršího údolí, "průlomová údolí" Labe u Hřenska s pískovcovými stěnami a věžemi.

Říční síť a vzniklé tvary zemského povrchu jsou určeny složením a uspořádáním (strukturou) podložních hornin. Řeky rychle zdůrazní jakékoli rozdíly v tvrdosti hornin, po nichž tečou. Jsou-li horniny uloženy vodorovně, charakterizují vzniklý reliéf vrchy s plochými vrcholy (viz tabulové hory, plošiny známé především v aridních oblastech). Jestliže jsou však vrstvy ukloněné, vzniká reliéf členité krajiny, v níž odolnější horniny vytvářejí kuesty; jejich příkřejší svahy jsou na čele vrstev a údolí jsou vyhloubena v měkčích vrstvách.

Ledovcová činnost

10% zemského povrchu kryjí tvrdé ledovce, které jako sochaři modelují krajinu. Mnohé dnešní tvary zemského povrchu vznikly přetvářející činností ledu v pleistocenní době ledové, kdy bylo zaledněno na 30% zemského povrchu.

Ledovce se tvoří tam, kde leží věčný sníh (oblasti polární a vysokohorské, tzv. nivální zóna). Protože sněhu každý rok přibývá, stlačují se starší vrstvy do zrnité hmoty zvané névé, která se později, když z ní je vypuzen všechen vzduch, stává firnem. Působením gravitace se tato hmota pohybuje po svahu dolů a přitom se zpevňuje v ledovcový led.

Rozlišujeme tři hlavní druhy ledovců. Údolní ledovce, jejichž prameny bývají v pohořích nad sněžnou čarou; podhorské, vytvořené spojením údolních ledovců které se rozprostírají na úpatích pohoří; náhorní (fjeldové až pevninské ledovce), které se rozkládají v polárních a subpolárních oblastech jako zbytky rozsáhlých ledovců z doby ledové.

Glacigenní eroze a odnos

Ledovec je v horách jedním z nejmocnějších činitelů eroze. Jeho led ohlazuje - obrušuje (abraze) a odlamuje skalní podklad (detrakce). Balvany uzavřené v ledu jsou vlečeny podél dna a vytvářejí žlábkované skály, odolné horniny jsou zbroušeny v oblíky. Pramenná oblast se zvětšuje v amfiteátr označovaný jako kar. Mezi sebou ledovce vytvářejí horské hřebeny a karlingy (štíty typu Matterhornu). Horské ledovce prohlubují údolí do hlubokých trogů ve tvaru U. Větší ledovce mají často hlubší údolí než jejich menší "přítoky", které po zmizení ledu vytvoří tzv. visuté údolí. Ledovce unášejí obrovské množství sutě – morény (boční, střední, vnitřní a spodní a čelní).

Větrná (eolická) činnost

K zvětrávání dochází v aridním klimatu mnohem pomaleji než v humidnějších oblastech. Zpravidla ho způsobuje kolísání povrchové teploty skal. Skalní povrch se pravidelně rozpíná a stahuje, vzniká napětí a to povrch postupně bortí, drolí a přeměňuje ho v písek, drť. Pomalé chemické zvětrávání je způsobeno jen malou vlhkostí, většinou rosou. Vítr odnáší rozrušenou horninu a částičky hromadí jinde, např. v přesypech.

Působení gravitačních sil

Zvětraliny hornin podléhající gravitaci a svahovým procesům se dostávají k úpatí skalních stěn kde se akumulují (osypy, suťové kužele, haldy apod.). Někdy se z rozrušených skal uvolní ohromné bloky. Pak mluvíme o skalních říceních. Ta nastávají tehdy, když puklinový led rozruší objemovým pnutím horninu, hlavně při velkých teplotních a vlhkostních změnách mezi dnem a nocí.

Alterace (zvětrávání)

Kdo intimněji pozná skálu zjišťuje, že největší problém při lezení je stav jejího povrchu nebo-li alterovaná zóna. Výsledkem **alterace mechanické** (rozpad či desintegrace, při mrazovém působení kongelifrakce – kryodesintegrace) je ostrohranný rozpad horniny, střípkovitý až blokovitý podle charakteru horniny. Ve velehorách a polárních oblastech převládá mechanické zvětrávání nad chemickým zvětráváním (rozkladem – dekompozicí).

Relativně pomalu zvětrávají horniny resistantní např. bulžníky, kvarcity, bazalty, drobnozrnné granitoidní horniny. Zato v periglaciálních klimatických podmínkách produkují nejvíce typických blokových akumulací (kamenných moří, sutí). Jsou zde optimální podmínky pro **termický rozpad**. Vliv insolace (oslunění) se uplatňuje nejen ve vysoce aridních oblastech, ale i v našich zeměpisných šířkách (např. na pískovcových skalách můžeme pozorovat odrolování podmíněné rozdílnou roztažností minerálů ať již různé hustoty nebo barvy, významnou roli hraje i studená severovýchodní expozice). Většinou se mechanické zvětrávání projevuje spolu se **zvětráváním chemickým**. U chemického zvětrávání rozeznáváme následující formy:

1. **rozpuštění** minerálů – atakování horniny kyselou vodou
2. **oxidace** – křemičitany, siřníky a kovy se mění na oxidy a hydroxidy
3. **karbonace** – atakování vápenců oxidem uhličitým rozpuštěným ve vodě
4. **hydratace** – z oxidů vznikají hydroxidy, z anhydritu se tvoří sádrovec
5. **hydrolýza** – vyluhování alkálií a tvorba hydroxilového iontu (hlavně u žul přeměna draselného živce na kaolinit

Všeobecně platí, že na relativně starém reliéfu (paleoreliéfu) jsou zvětrávací procesy více patrné než na “mladě erodovaných” skalách. To se týká i vzniku voštin, tafonů, krust, exfoliačních desek, různých konkávních forem při úpatích skal (nástupy na pískovcové stěny a věže jsou obvykle v dolních partiích velmi měkké a lámavé). Biologické procesy mají vliv na kavitizaci (vznik konkávních mikrotvarů) nicméně mikroorganismů s rostoucí výškou ubývá. Mikroorganismy se na bazických horninách živí hlavně železem, manganem a hořčíkem. V našich zeměpisných výškách není vliv biogenních procesů příliš markantní, ještě méně se projevuje v aridních pouštích.

6. VLASTNOSTI HORNIN A JEJICH VLIV NA LEZENÍ

Horninové prostředí je nehomogenní a anizotropní. Z geotechnického hlediska se hornina jeví jako **pružně plastická hmota**. Její materiálové konstanty jsou proměnlivé v závislosti na stavu napjatosti. Masív charakterizujeme řadou litologických jednotek oddělených plochami diskontinuity. S růstem četnosti těchto ploch klesá pevnost masívu a zvyšuje se jeho stlačitelnost.

Klasifikace hornin může být založena na různých aspektech. Pro naše účely jsou nejdůležitější litologická, inženýrskogeologická a geotechnická klasifikace.

Litologický typ představuje horninu stejnorodou z následujících hledisek:

- geneze (magmatické, sedimentární, přeměněné, klastické),
- textury (masivní, vrstevnaté, břidličnaté),
- minerálního složení (podíl křemene, živců, jílových minerálů),
- zrnitosti (hrubozrnné, střednězrnné, jemnozrnné).

Inženýrskogeologický typ je model fyzikálněmechanického stejnorodého prostředí, pro který můžeme stanovit statistické hodnoty, použitelné přímo ve výpočtech. Za hlavní kritérium při rozlišování jednotlivých inženýrskogeologických typů považujeme stav horniny.

Inženýrskogeologický popis se skládá z následujících položek:

- popis základních vlastností horninové substance,
- popis charakteristických vlastností substance v masívu (odlučnost, blokovitost, vrstevnatost, břidličnatost),
- název litologického typu horniny s petrografickými údaji,
- vlastnosti horninové substance (barva, struktura, textura, stupeň zvětrání, pevnost horniny, její stálost).

Zvětrávání podstatně ovlivňuje vlastnosti masívu. Tloušťka a charakter zvětralé zóny závisí na odolnosti horniny, druhu zvětrávání a délce jeho trvání, vegetačním překrytím a na rychlosti odstraňování produktů, jež vznikly na denudačním zvětrávání.

Tabulka stupně zvětrání hornin v masívu

Stav horniny masivu	Stupeň rozpadu	
	chemického	mechanického
zdravá	bez přeměny minerálů	slabé rozvolnění po puklinách
navětralá	zvětrávání minerálů podél puklin a vyplnění zvětralinou	oslabení strukturní soudržnosti, vznik puklin. zvětrávání a rozšíření stávajících
slabě zvětralá	zvětrání bloků a úlomků – výplň zvětralinou	rozpad na bloky a úlomky, původní struktura zachována
silně zvětralá	většina minerálů v úlomcích rozložená, rozšíření puklin vyplněných zvětralinou	úplný rozpad na drobné úlomky oddělené zvětralinou
zcela zvětralá	minerální složení podstatně změněné (zemina)	úplné rozdrobení na písčité až jílovité eluvium s úlomky

Pro ilustraci uvádíme změny v charakteristických hodnotách pevnosti v prostém tlaku a modulu deformace na granodioritech ze Strečna.

Tabulka charakteristických hodnot granodioritů podle stupně zvětrání

Stupeň zvětrání horniny	Pevnost v prostém tlaku σ_c (MPa)	Modul deformace E_{def} (MPa)
zdravá	120 – 220	2 000 - 5 000
navětralá	80 – 200	500 - 2 000
slabě zvětralá	40 – 120	100 - 500
silně zvětralá	10 – 50	30 - 100
zcela zvětralá	10	10 - 30

Geotechnická klasifikace hornin vychází z fyzikálněmechanických vlastností hornin při zahrnutí charakteristik veškerých diskontinuit. Komplexní hodnocení sleduje tyto údaje:

- zjednodušený geologický popis horniny,
- základní strukturní údaje v číselném vyjádření,
- základní mechanické vlastnosti vyjádřené číselně.

Mechanické vlastnosti skalních hornin vyjadřují mechanický projev horninového materiálu nebo masivu utvářeného jeho napjatostí a přetvárností. Tyto vlastnosti jsou proměnné v prostoru i čase a lze je definovat takto:

- napjatost masivu je v čase a prostoru proměnná, nestejnorodá a nerovnoměrná,
- přenos a šíření napětí do prostoru od místa vzniku je závislé na stykových mezizrnných vztazích, hodnotě napětí a způsobu jeho uplatnění,

- přetváření hornin se uplatňuje v obou fázích, pružné i plastické, a to současně,
- rychlost pochodů a dějů je závislá na prostředí a podmínkách v nichž probíhají,
- rozsah a velikost nespojitostí jsou určeny hlavně pevnostními charakteristikami horninového prostředí.

Nejobtížnějším problémem při stanovování pevnosti skalních hornin je souvislost mezi vlastnostmi úlomků horniny a pevností horniny jako celku při různých způsobech namáhání. **Pevnost horniny** ve smyku je určující, neboť horninová tělesa se ponejvíce porušují smykem. Jako pomůcky pro znázornění napjatosti používáme Mohrovo zobrazení. Napětím v hornině rozumíme elementární vnitřní sílu působící na jednotku plochy bez ohledu na to, zda jde o hmotu s póry nebo dutinami.

Namáhání, při nichž není překročena pevnost horniny, způsobují jen její přetvoření. To má zásadní význam zejména u méně pevných a plastičtějších hornin. Pro deformační posouzení horninu charakterizuje **modul přetvárnosti** či pružnosti a Poissonovo číslo ν .

Pevnost v tlaku je zhruba 30x vyšší než pevnost v tahu a přibližně 10x vyšší než pevnost ve smyku. To znamená, že působením poměrně nepatrných napětí vznikají v horninách tahové trhliny. Opakované namáhání snižuje mez pevnosti horniny a způsobuje tak i při nižších hodnotách její porušení spíše, než vysoké tlaky působící jednorázově v delších intervalech.

Tabulka pevností a modulů pružnosti hornin (v MPa)

Hornina	Pevnost ve smyku	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu	Modul pružnosti
Čedič	-	250 - 350	8	5 000 - 9 000
Žula	15 - 30	80 - 280	3 - 8	3 000 - 7 000
Vápenec	7 - 20	40 - 200	1 - 6	3 000 - 5 000
Pískovec	3 - 15	40 - 180	1.5 - 3	2 000
Břidlice kryst.	15 - 20	60 - 200	2.5	4 000
Mramor	10 - 30	80 - 150	3 - 9	6 000 - 9 000
Kvarcit	-	300 - 500	3 - 5	-

7. ODBORNÁ LITERATURA

- J. Cleare Mountains and Mountaineering, 1979
- A. Černík Horolezectví, 1964
- A. Černík - J. Sekyra Zeměpis velehor, 1969

- J. Demek - J. Zeman Typy reliéfu Země, 1979
- I. Dieška Horolezectvo zblízka, 1984
- I. Dieška et al. Horolezectvo encyklopédia, 1989
- C. Embleton - C.A.M.King Periglacial Geomorphology, 1975
- R. W. Fairbridge The Encyclopedia of Geomorphology, 1968
- L. Hamelin - F. A. Cook Illustrated Glossary of Periglacial Phenomena, 1969
- J. Janků et al. Pískovcové skály v Čechách, Český ráj (horolezecký průvodce), 1977

- M. Jedlička Pískovcové skalní oblasti v Čechách, 1961
- R. Kettner Všeobecná geologie I. - IV., 1954 - 57
- W. Klaer Verwitterungsformen im Granit, 1956
- L. C. King Morphology of the Earth, 1967
- R. V. Klebelsberg Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, 1948/1949

- F. Kutta Horolezecká abeceda, 1945
- L. Lliboutry Traité de glaciologie, 1964 a 1965
- H. Louis Allgemeine Geomorphologie, 1979
- M. Lukniš Reliéf Vysokých Tatier a ich predpolia, 1973
- J. Malgot et al. Mechanika hornín a inžinierska geológia, 1992
- J. Marcinek Gletscher der Erde, 1984
- V. Mencil Mechanika zemin a skalních hornin, 1966
- J. Novotný Nepískovcové skály v Čechách (horolezecký průvodce 1 a 2), 1986 a 1987

- V. Procházka et al. Horolezectví, 1990
- M. Prosová Recentní regelace v horských oblastech Českého masivu, 1962

- M. Prosová - J. Sekyra Vliv severovýchodní expozice na vývoj reliéfu v pleistocénu, 1961

- I. Rothman et al. Bezpečnostní zásady v horolezectví, 1986
- J. Rubín et al. Atlas skalních, zemních a půdních tvarů, 1986
- J. Sekyra V horách a oázách Antarktidy, 1970
- J. Sekyra Výsledky geologického a geomorfologického výzkumu v Pamíru, 1964

- E. Schneider et al. Mahalangur Himal - Mt. Everest, mapa 1 : 25 000, 1952
- V. Slouka Pískovcové skály v Čechách, Severní Čechy (horolezecký průvodce), 1980

- J. Svoboda et al. Encyklopedický slovník geologických věd I a II, 1983
- K. Šmíd Pískovcové skály v Čechách, Východní Čechy (horolezecký průvodce), 1979

- J. Vachtl - J. Jaroš Strukturní geologie, 1968
- Z. Veselý et al. Horolezectví, 1971
- F. Vrabec et al. Horolezectví, 1987
- A. L. Washburn Periglacial Geomorphology, 1979