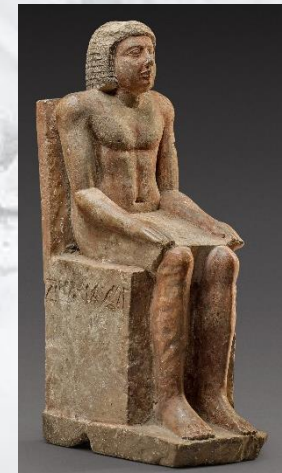




KÁMEN

VÁPENEC

- Sedimentární hornina
 - > 80 % CaCO_3 - kalcit, aragonit,
 - > 90 % CaCO_3 - křída
 - příměsi** dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), křemen, jílové minerály, úlomky zkamenělin
- Tvrdost 3
- Výskyt – Pálava, krasy (Macochoa),
- Využití – pálené vápno, cement, kamenotisk, sochařství, architektura
- Bouřlivě reaguje s 10% HCl za uvolnění CO_2



<https://geology.com/minerals/acid-test.shtml>

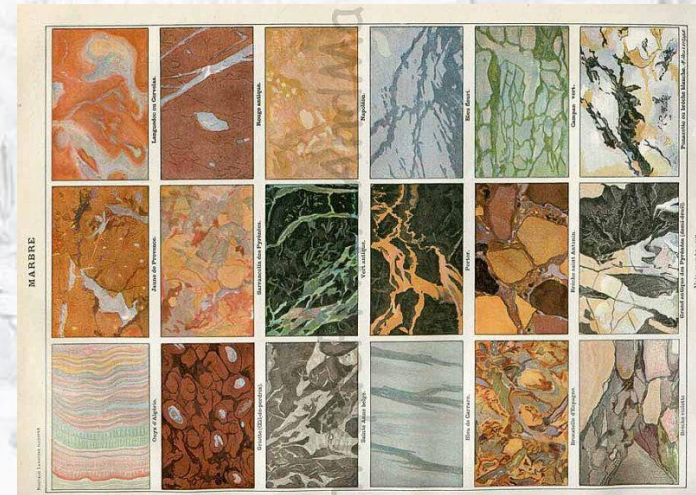
<https://www.youtube.com/watch?v=yNh1xs9lZbl>

<https://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/mikro/vapenec.html>

https://www.youtube.com/watch?v=3MOMDWqSMC4&ab_channel=OUGSME

MRAMOR

- Krystalický vápenec, karbonátová hornina
> 95 % CaCO_3 (kalcit, dolomit),
příměsi jílové minerály, grafit,
limonit, hematit,
- Barva bílá, světle šedá až černá, růžová,
zelená
- Tvrdost 3
- Výskyt – Jeseníky, Českokrumlovsko, Itálie,
Rumunsko, Španělsko
- Využití – sochařství, stavební materiál,
dlažba, mozaika, brusné pasty



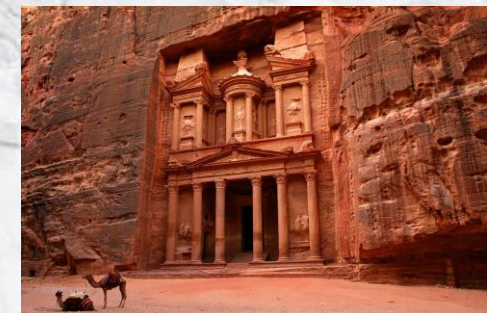
<https://khanovaskola.cz/video/40/297/617-michelangelo-david-1501-04-mramor>

<https://khanovaskola.cz/video/13/106/928-michelangelo-mojzis-ca-1513-15>

<https://www.videoman.gr/cs/67079>

PÍSKOVEC

- Sedimentární hornina
zrna velikosti 0,5–2 mm
křemen, živce, horninové úlomky, jíly
- Různé barvy – šedá, žlutá, červená – dle příměsí
- Tvrdost 3–6
- Výskyt – Jičínsko, Kladensko, Litoměřicko, Broumovsko
- Využití – stavební kámen, sochařství, mlýnské a brusné kameny, v pravěku nádoby



<https://www.youtube.com/watch?v=XUsSJBQ2kO4>

https://www.youtube.com/watch?v=hQHSmibgZjs&ab_channel=OUGSME

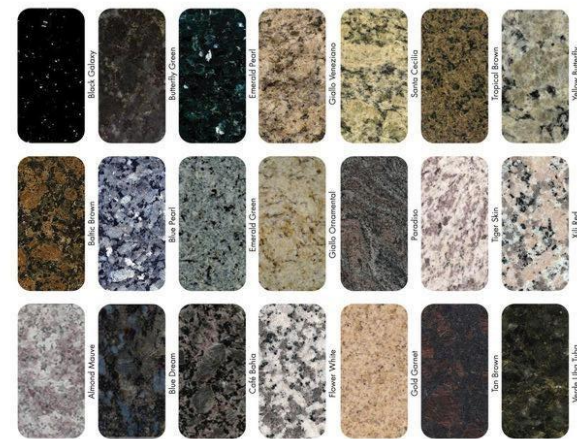
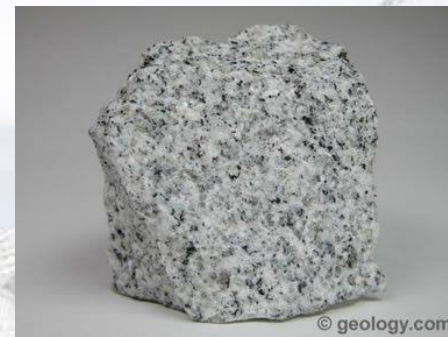
OPUKA

- Sedimentární hornina
jílovité a prachovité částice,
kalcit, křemen, živce, spongie (jehlice
mořských hub)
- Barva bělavá až pískově žlutá, dle příměsí
- Výskyt – od Polabí (Litoměřicko) až na Moravu
(Blansko)
- Využití – stavební materiál (obranné zídky,
kostely) – nejčastější materiál v románském a
gotickém období.
- Údajně první kámen, soustavně a hromadně
těžený na našem území
- <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2011/cislo-12/opukovy-fenomen.html>



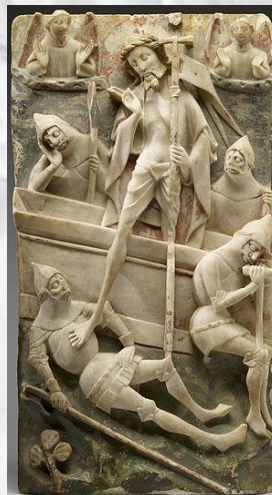
ŽULA – Granit

- Hlubinná vyvřelá hornina
 křemen 20-40 %, živce 40-70 % (plagioklas, ortoklas), slídy 5-15 % (biotit, muskovit)
- Barva – světlá, šedavá, namodralá, žlutavá, červená – ovlivněna především živcem
- Zrnité – jsou vidět jednotlivá zrna – hrubozrnná, střednězrnná, jemnozrnná
- Tvrdost 6–7
- Vysoká odolnost – téměř nevstřebává vodu (nízká pórovitost)
- Vysoká váha a těžká opracovatelnost
- Výskyt – Šumava, Český les, Krušné hory, Jizerské hory, Krkonoše, Železné hory, Českomoravská vrchovina, Jeseníky
- Využití – stavebnictví (dlažba), štěrk, podstavce, náhrobky, pomníky, curlingový kámen
- <https://www.youtube.com/watch?v=kwsL4oIMW5M>
- https://www.youtube.com/watch?v=t4v1LlqZVu0&ab_channel=EngineeringMotive
- https://www.youtube.com/watch?v=yNm11haq9EU&ab_channel=OUGSME

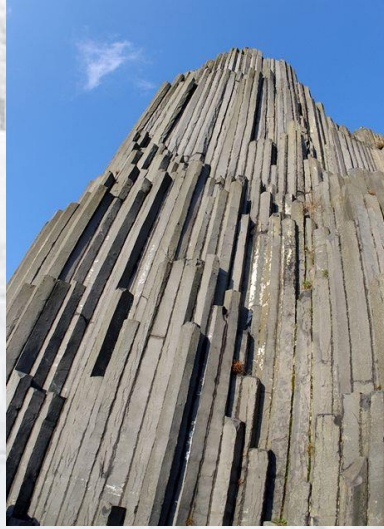
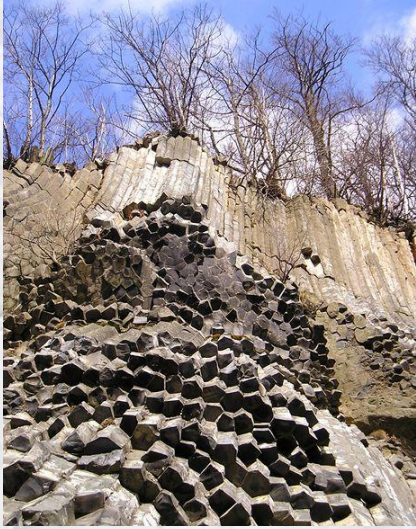


SÁDROVEC

- Jednoklonný minerál – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Tvrdost 1,5–2;
- Barva – bezbarvý, bílý až hnědý, lesklý pouze na štěpné ploše {010} ostatní plochy skelné
- Rozpouští se v teplé vodě a v horké HCl
- Druhy – mariánské sklo, selenit, pouštní růže, **alabastr** (úběl) –
<http://www.geostezka.cz/mineraly/sadrovec.html>
<https://www.malachit-obchod.cz/atlas-kamenu/sadrovec/>
- Využití – pálená sádra, přísada cementů, sochařství, sklářský průmysl, ozdobné předměty již ve starověku, okenní výplně
- Výskyt – Oslavany, Zastávka (mariánské sklo); Volterra (alabastr)



ČEDIČ



- Vyvřelá hornina
- > 65 % živce (plagioklas), křemen aj. minerály, vulkanické sklo
- Barva černo-šeda
- České středohoří, Doupovské hory
- Štěrk, kamenivo, dlažby, žlaby, čedičová vlákna

Břidlice

- Usazené částečně metamorfované horniny
- Jílovce a prachovce, minerály (biotit, muskovit,...)
- Barva černo-šedá
- Dobře se štěpí
- Nízký Jeseník

- Nízká absorbita vody
- Krytiny, psací tabulky



Minerály

Karneol
 SiO_2



Achát
 SiO_2



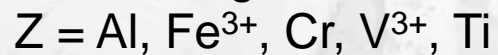
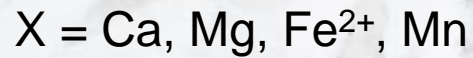
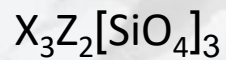
Onyx
 SiO_2



Hematit – krevet
 Fe_2O_3



Pyrop – Český granát



MINERÁL – NEROST – HORNINA

Minerál (= nerost)

- homogenní (stejnorodá) pevná látka - má v každém místě stejné složení
- lze ji vyjádřit chemickým složením, anorganického původu.

Hornina

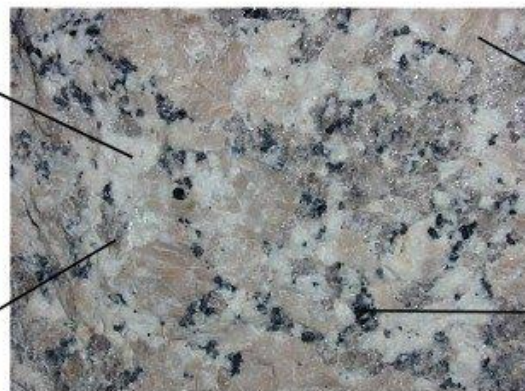
- směs nerostů - nejsou homogenní (na každém místě jiné složení)
- může ale být tvořena i jediným minerálem, např. vápenec celý z kalcitu, křemenec celý z křemen
- horniny tvoří zemskou kůru
- 99 % všech hornin je tvořeno přibližně 30 minerály, tzv. horninotvorné, např. křemen, živce nebo slídy.



plagioklas



křemen



žula



ortoklas



biotit

DEGRADACE – větrání a eroze

Ovlivněna tvrdostí, pružností, pórovitostí a nasákavostí i zpracováním
Kombinace, které se mohou vzájemně urychlovat:

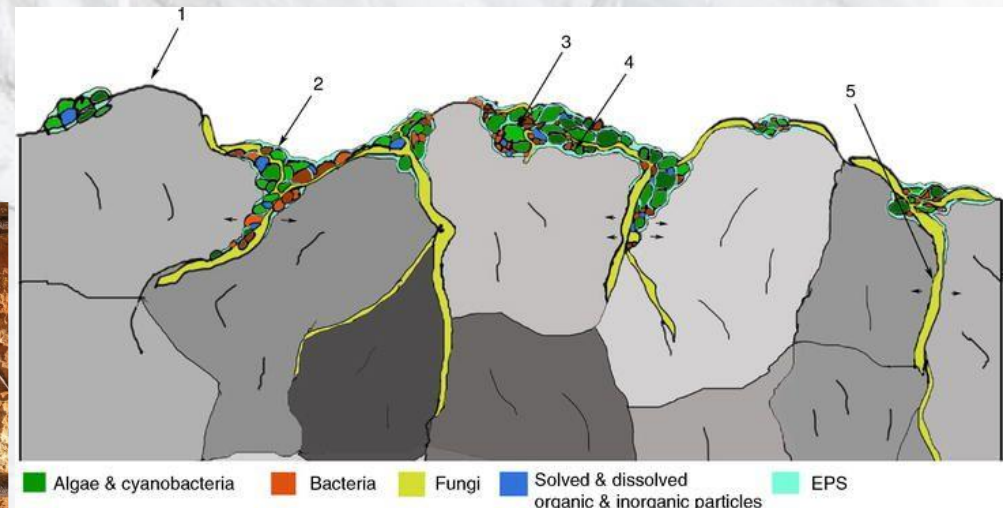
Fyzikální – tlak (vnější i vnitřní) – změnami teploty, vlhkosti, přítomností roztoků solí, růstem živých organismů, vibracemi, abrazí povrchu – praskání a úbytek materiálu

Chemická – změna chemického složení – ovlivněno polutanty, vztlínající vodou, růstem živých organismů, předchozí následkem je koroze
zásahy – zvýšení rozpustnosti, snížení soudržnosti, změna barvy, objemu

Biologická – způsobené živými organismy – růst mikroorganismů (mechy, plísně, lišejníky), výkaly – fyzikální i chemická

https://www.youtube.com/watch?v=XXT1Oikl4ic&ab_c_hannel=ChristinaDiaz

https://www.youtube.com/watch?v=skB_A2sfBcY&ab_c_hannel=MooMooMathandScience

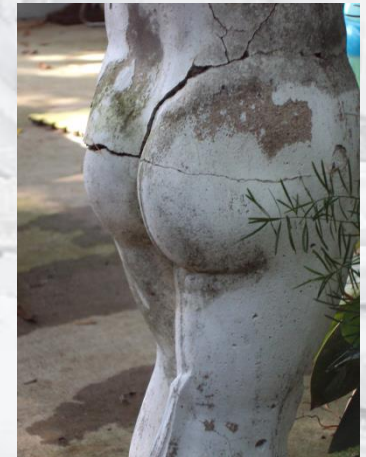


VODA a vlhkost

- Vliv na fyzikální i chemickou degradaci – urychluje degradaci, podporuje růst živých organismů, transportní médium solí
- Obecně jako volná a vázaná (chemisorpce a fyzikální sorpce na stěnách pórů)
- Rovnovážný obsah vlhkosti, mění se v závislosti na T a RV okolí
- Dlouhodobé působení způsobuje hydrolyzu některých složek → jiné sloučeniny s odlišnou rozpustností
- Kondenzovaná voda
- <https://www.youtube.com/watch?v=XUsSJBQ2kO4>

TEPLOTA

- „Teplotní gradient“ – na povrchu je jiná teplota než uvnitř – nerovnoměrné rozpínání a smršťování, pnutí a vznik prasklin,
- Objemové změny závisí na schopnosti absorbovat teplo, vyjádřeno koeficientem teplotní roztažnosti
- Mráz – rozpínání volně vázané vody o 9 % (obj.) – led trhá kámen, uvolňují se větší části



PÓROVITOST

- Vyjadřována nasákavostí – čím vyšší pórovitost, tím vyšší nasákavost
- Hodnota naznačuje předpoklad rychlosti rozpadu materiálu

KAPILARITA a vzlínavost

- Kámen nasává vodu, která vzlíná vzhůru
- Voda může rozpouštět a vyplavovat nebo transportovat nové látky dovnitř
- Zasolování, růst plísní

https://www.youtube.com/watch?v=aGIRDZo2_Eo

https://www.youtube.com/watch?v=Ftt6bFvtvn8&ab_channel=MartinNguyen

https://www.youtube.com/watch?v=4fW-g0PFNnA&ab_channel=Materi%C3%A1lkoFSv%C4%8CVUT

- Opuka – vysoká nasákavost
- Pískovec – vyšší nasákavost 0,2-10 hmot %
- Vápenec – nízká nasákavost 0,38-1,57 hmot. %
- Žula – velmi nízká nasákavost – 0,2-0,5 hmot. %

EROZE

- Mechanické vlivy
 - Tekoucí voda – např. déšť – stéká ve stružkách, vymývání
 - Vítr – abraze drobnými částicemi, které jsou foukány proti kameni

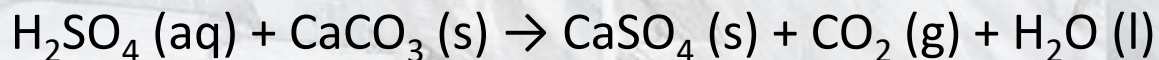
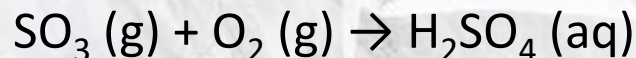
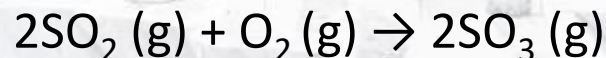
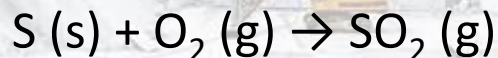
SOLI ROZPUSTNÉ VE VODĚ

- Zasolení – nejčastější příčina poškození
- Soli – přímo v materiálu, druhotně při zvětrávání, transportovány vodou skrze póry
- Zdrojem i neodborný zásah
- **Povrchové výkvěty** – pokud je rychlost odpařování z povrchu menší než přísun solí – barevná změna
- **Krystalizace pod povrchem** – pokud je rychlost odpařování a přísun solí v rovnováze – poškození povrchových vrstev, některé soli jako hydráty (větší zvýšení tlaku)
- **Krusty** –
 - nerozpustné vrstvy odlišného složení, uzavírají povrch kamene
 - působením HCl , CO_x , SO_x , NO_x
 - vznik ovlivněn přítomností snadno napadnutelných látek (uhličitany) a pórovitostí
 - neporézní kameny bez uhličitánů jsou odolnější
 - mohou mít i ochranný charakter



POLUTANTY a chemikálie

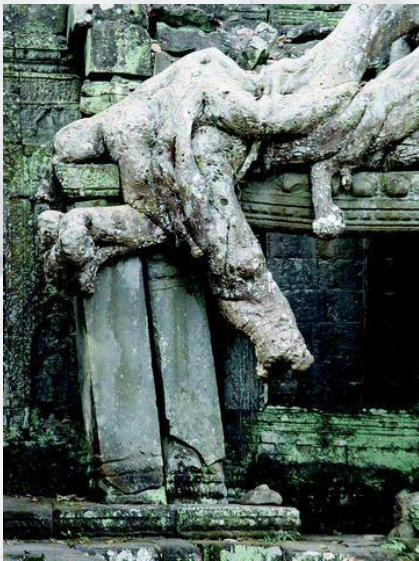
- Prach a nečistoty
- CO₂
 - Je-li přítomný ve vodě, zvyšuje rozpouštěcí účinek vody až 100×
- SO_x, NO_x, CO₂, Cl⁻
 - V plynném skupenství tvoří s deštěm slabé roztoky kyselin → vznik více rozpustných solí → vymývání a následné snižování pevnosti



- Krasové jevy https://www.youtube.com/watch?v=GkZie36cEMY&ab_channel=DokumentyCZ
- Kyseliny – HCl, CH₃COOH, ...
 - Riziko především ...
 - Princip stejný jako u ...

BIOKOROZE

- Mikroorganismy (bakterie a plísně)
- Houby, řasy, lišejníky, mechy, vyšší rostliny – kořínky prorůstají a kámen se trhá; produkují chemické látky, např. kyseliny – rozrušení kamene
- Živočichové (hmyz, ptáci,...) – vylučují chemicky aktivní látky – v měkčích kamenech vznikají chodbičky
- Produkty rozkladu organismů – CO_2 , HN_3 , H_2S , organické kyseliny – mohou leptat některé druhy kamene



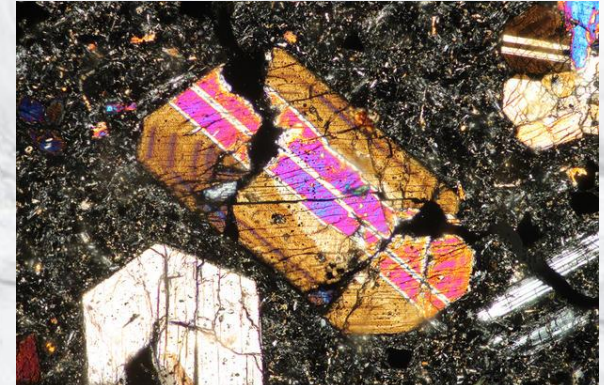
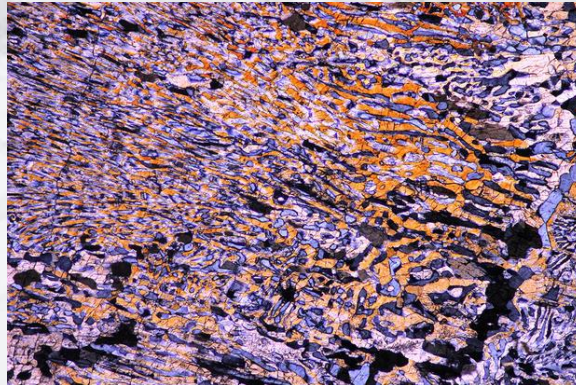
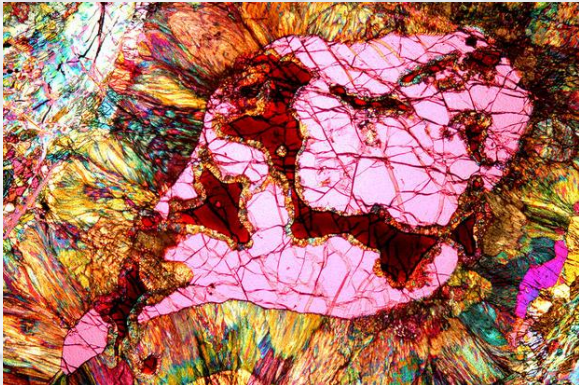
PŮSOBENÍ ČLOVĚKA

- Průmysl – znečištění prostředí
- Způsob těžby – vznik trhlin po použití trhavin, ručním či strojovým opracováním
- Opracování – nerespektování přirozených vlastností (např. štěpnost, lom, soudržnost, tvrdost)
- Nedbalost či neznalost zacházení
- Vandalismus
- Nevhodné konzervátorské zásahy
- Koroze kombinovaných materiálů (kovy)



PRŮZKUM

- Interdisciplinarita
- Historický – datace, styl/sloh, autor, provenience, historie předmětu samotného
- Statický – bezpečnost památky, pracovníků, návštěvníků
- Petrografický – rozlišení materiálů na základě optických vlastností – polarizační mikroskopie
- Mikroskopická a prvková analýza – SEM-EDX, LIBS, XRF,...
- Fyzikální vlastnosti – normované zkoušky ČSN ISO



KONZERVACE

ČIŠTĚNÍ

- Zvyšuje estetickou hodnotu, zlepšuje penetraci
- Silně poškozené předměty lze před čištěním zpevnit, pokud není zpevnění možné, upřednostňuje se zachování znečištěného, ale nepoškozeného předmětu
- Mechanické čištění
 - Za sucha – tvrdé kartáčky, pískování – dochází k odstranění zvětralých vrstev a mizí ostrost obrysů
 - Vodou – pískování proudem písku ve vodě; omytí vodou, vodní párou - riziko odtrhávání, odstraní i nečistoty z nepravidelného povrchu
- Chemické čištění
 - povrchově aktivní látky (mýdla, detergenty)
 - Nelze použít většinu minerálních kyselin a silných zásad – rozpouštění, tvorba barevných skvrn
- Biologické čištění
 - Enzymatické
 - Bakteriemi
- Laserové čištění



<https://www.youtube.com/watch?v=3rKC5djjLY4>

https://www.youtube.com/watch?v=q97dnboicBY&ab_channel=NarranLaser

https://www.youtube.com/watch?v=5DILoSC1Y-k&ab_channel=LightforartChannel

DESALINACE

- Snaha o odstranění vodou rozpustných solí
- Především pro exteriérové objekty
- Předchozí průzkum – kolik objekt obsahuje solí a jakých, jak jsou rozloženy, jaké jsou kapilární vlastnosti objektu, jaké je narušení objektu,
- Zřídka postačuje odstranit soli pouze z povrchu
- Většinou uloženy v pórech
- Desalinace
 - Rozpuštění solí dokonalým prosycením vodou
 - Soli difundují z pórů do vodní lázně
 - Urychlení výměnou vodní lázně
 - Objemné předměty – obklady (vata, piliny, plavená křída) – vzniklé roztoky jsou nasávány do obkladu, kde krystalují
 - Je nezbytné sledovat průběh odsolování (ISE, důkazové reakce příslušných aniontů, titrace)
- Nezbytná následná konzervace



PETRIFIKACE (konsolidace, zpevňování)

- Vždy až po desalinaci a vysušení!!
- Lze zpevňovat povrchově i hlouběji ve hmotě
- Hloubka penetrace závisí na vlastnostech kamene (porozitě), viskozitě konsolidantu, době provádění
- Požadavky na prostředek –
 - stálý, chemicky inertní, odolný proti vlivům záření, O₂, vlhkosti, kyselinám i zásadám, plísním a bakteriím
 - Dobré penetrační schopnosti a koeficient teplotní roztažnosti blízký kameni
 - Dostatečně tvrdý a pružný
 - Reversibilita – problematická – zůstává v pórech
 - Dlouhodobý účinek a jednoduchá aplikace
- Neměl by
 - Ovlivňovat barvu
 - Vytvářet neprodyšnou vrstvu (krustu)
 - Obsahovat toxické složky
- Při výběru zohlednit minulost i budoucnost předmětu
- Nástřikem, ponorem, opakovaným nanášením na povrch, injekčně
- Lze i za sníženého tlaku

<https://www.ncptt.nps.gov/blog/a-survey-of-stone-consolidation-methods/>

<https://www.nap.edu/read/514/chapter/21#294>

<https://www.euronews.com/next/2017/07/03/europe-s-cathedrals-get-new-life-thanks-to-nanoparticles>

KONSOLIDANTY

• Polymery

- Polymery na bázi esterů kyseliny akrylové a methakrylové
- Polyesterové a epoxidové pryskyřice – nelze odstranit
- **Organokřemičité sloučeniny**
 - Vysoké povrchové napětí, nízká viskozita
 - Dobrá tepelná roztažnost a chemická stálost
 - Nemění vzhled kamene
 - Neuzavírají póry
 - Většinou vzniká SiO_2 nebo gel $[\text{SiO}_x(\text{OH})_{4-2x}]_n$, který spojuje jednotlivá zrna
 - Lze je ředit rozpouštědly
 - Vodoodpudivost je zajišťována přidavkem alkoxyilanů
 - Dvousložkové, jednosložkové, hydrofilní, hydrofobní
 - Nelze odstranit

• Anorganické konsolidanty – obecně uzavírají povrch, pouze nízká penetrace

- Sycení vápennou vodou – roztok $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Sycení roztokem $\text{Ba}(\text{OH})_2$ a močovinou
- Ba^{2+} a Sr^{2+} soli monoesterů H_2SO_4
- Vodní sklo – vodný roztok Na_2SiO_3 !
- Soli H_2SiF_6 !

• Organické konsolidanty – pouze na povrchu

- Oleje a vosky – ochrana povrchu před vodou
- Parafin, ceresin, včelí vosk, mikrokrytalické vosky
- Vysýchavé olej !

LEPENÍ

- Nejprve na sucho sestavit a vědět co kam patří
- Lepidla
 - Polyesterová – reakční, většinou styrenová báze vytvrzená dibenzoylperoxidem, lepený spoj se vytvrzuje dlouho
 - Epoxidová – vícesložková, lepený spoj se vytvrzuje až hodiny
 - Disperzní – tuhnou vlivem vytěkání rozpouštědla, rozpustná ve vodě, tenký spoj, vytvrzení relativně rychlé, např. PVAc
- Požadavky
 - Snadnost manipulace
 - Pevnost spoje a mechanická odolnost
 - Reversibilita
 - Odolnost vůči klimatickým podmínkám

DOPLŇOVÁNÍ A TMELENÍ

- Původním materiálem
- Umělý kámen
 - Anorganické plnivo – např. drcený přírodní materiál
 - Pojivo – např. polymerní (epoxidové pryskyřice), organokřemičité sloučeniny
 - Plastifikátory – např. SiO_2 , MgO
- Nejčastější je směs hydraulického vápna, písku a portlandského cementu, pojivem je voda nebo akrylátová disperze – k lepení i doplňování
- Tvorba kopií a doplňků
 - Sádrová forma
 - Lukoprenová forma (silikonový kaučuk)
- Biologické doplňování

HYDROFOBIZACE

- Znemožnění průniku vody do kamene
 - 1) úplné uzavření pórů – vosky, méně časté
 - 2) vytvoření povlaku na stěnách pórů, které voda nesmáčí
- Nejčastěji silikony
 - Silikonové pryskyřice v organických rozpouštědlech
 - Částečně kondenzované silikony s hydrolyzovatelnými skupinami
 - Vodné roztoky methylosilanolátu sodného
- Výhoda silikonů – povrch kamene je dostatečně propustný pro vodní páru a vzduch
- Účinnost závisí na velikosti pórů
- Vždy na předmět odsolený

PREVENTIVNÍ KONZERVACE

- Pravidelná kontrola stavu – alespoň po 2 letech
- RV +/- 50 %
- T do 18 °C
- Expozice vůči světlu – bez omezení, omezené hodnoty u minerálů a polychromovaných předmětů – max 50 lx
- Exteriér – zamezit kontaktu s vodou – přístřešky, zakrytí na zimu světlým, lehkým, nepromokavým obalem, propustným pro vodní páru – nesmí docházet ke kondenzaci vody

Další zdroje

- <https://www.youtube.com/watch?v=GsrKhGI9uow>
- <https://www.youtube.com/watch?v=hNulo6O43Zo>
- <https://www.youtube.com/watch?v=xyhaEvNdwrQ>
- <https://www.youtube.com/watch?v=zWG6ZtKv8Ww>
- <https://www.youtube.com/watch?v=shdEOQZMLpc>
- https://www.youtube.com/watch?v=HKAgCmkLe8w&ab_channel=911MINING
- https://www.youtube.com/watch?v=x0lauGbQWvQ&ab_channel=STEAMspirations
- https://www.youtube.com/watch?v=CR5GahEPaZs&ab_channel=Anna%27sUniverse
- https://www.youtube.com/watch?v=PgSRAsgrKmg&ab_channel=TED-Ed
- <https://www.mayfairgallery.com/blog/pietra-dura-painting-stone/>
- https://www.youtube.com/watch?time_continue=90&v=M32-hrg3REg&embeds_referring_euri=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2Fsearch%3Fsc_esv%3D87c8593f13286a53%26sxsrf%3DADLYWIJW_CREe0Ye6Ecw74GS7x_tdkcFmQ%3A1732618842415%26q%3Dpietra%2Bdura%26udm%3D&source_ve_path=MTM5MTE3LDI4NjY2
- <https://opificiodellepietredure.cultura.gov.it/>
- https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf