

**Číslo projektu: 307**  
**ŽULA A VODA**

**Zpracování studie a textů pro informační materiály**

**Část 1:**

**Štoly sloužící k zásobování vodou  
v česko-bavorském pohraničí**

**Objednavatel: Muzeum Sokolov, příspěvková organizace Karlovarského kraje**

**Zhotovitel: RNDr. Jaromír Tvrdý, Azalková 522, 460 15 Liberec**



**Cíl EÚS**  
Česká republika –  
Svobodný stát Bavorsko  
2014–2020



**Evropská unie**  
Evropský fond  
pro regionální rozvoj

Projekt: ŽULA A VODA

Číslo projektu: 307

Cíl projektu: Zpřístupnění, zhodnocení a propojení několika nejcennějších geologických a montánně-historických památek česko-bavorského pohraničí. Konkrétně jde o prostory dolu Jeroným na území obce Rovná v okrese Sokolov, Schlossberg u Flossenbürgu a rekonstrukce dvou kašen a vodárny v Plané.

Financování projektu: Z fondů Evropské unie, operační program přeshraniční spolupráce Česká republika – Svobodný stát Bavorsko Cíl EÚS 2014–2020

Příjemce dotace: Muzeum Sokolov, příspěvková organizace Karlovarského kraje



Cíl EÚS  
Česká republika –  
Svobodný stát Bavorsko  
2014–2020



**Evropská unie**  
Evropský fond  
pro regionální rozvoj

**OBSAH****Text**

1	ZÁKLADNÍ INFORMACE O ÚZEMÍ.....	5
1.1	Geomorfologie.....	5
1.2	Geologická stavba.....	5
1.3	Hydrogeologické rajóny.....	9
2	VODA A JEJÍ JÍMÁNÍ.....	11
2.1	Povrchová voda .....	11
2.2	Podzemní voda .....	12
3	KANÁTY .....	15
3.1	Írán a jihozápadní Asie .....	19
3.2	Střední Asie.....	26
3.3	Jižní Asie.....	26
3.4	Východní Asie .....	28
3.5	Severní Afrika .....	29
3.6	Latinská Amerika .....	31
3.7	Evropa.....	34
4	KANÁTY V ČESKO-BAVORSKÉM POMEZÍ.....	38
4.1	Vodosběrné štoly v oblasti Selbu .....	41
4.2	Vodosběrné štoly na Ašsku .....	43
4.3	Další objekty na území geoparku .....	47
5	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ.....	51
7	LITERATURA .....	54

**Příloha****VÝSLEDKY PRŮZKUMU HORIZONTÁLNÍCH VODNÍCH ŠTOL U AŠE**

1. Aš – Skřivánčí vrch
2. Aš-Mokřiny 1
3. Aš-Mokřiny 2
4. Verněřov
5. Dolní Paseky 1 a 2
6. Podhradí
7. Štítary

## Úvod

Předkládaná studie byla zpracována na základě smlouvy o dílo uzavřené mezi objednavatelem a zhotovitelem v únoru 2021. Podle této smlouvy je předmětem díla dodání studie s výstupy pro informační prvky a účast na přednáškách a odborné exkurzi v rámci projektu přeshraniční spolupráce „Žula a voda“. Dílo sestává ze dvou částí, kterými jsou:

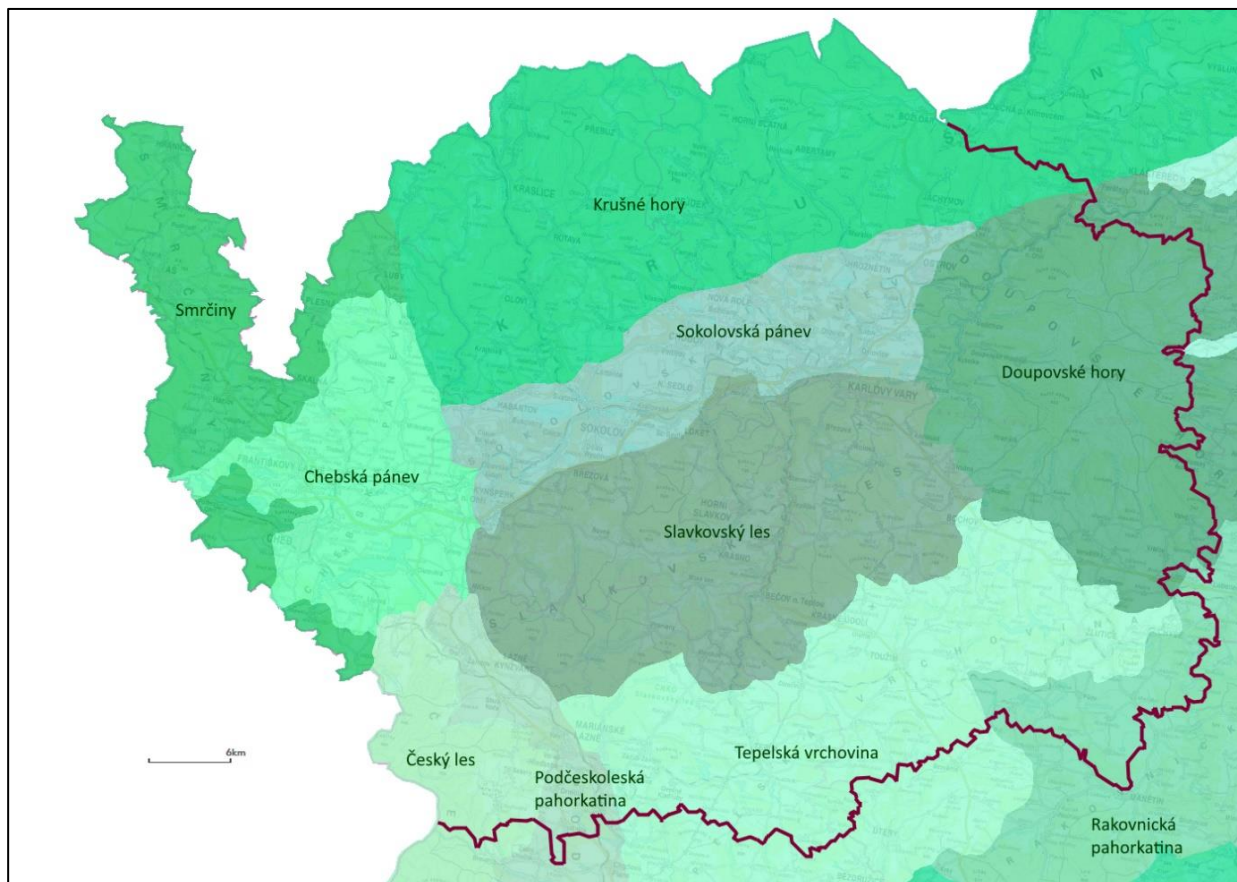
- 1) Zpracování studie (v českém a německém jazyce) k tématu kanáty, tzn. sběr dat a jejich zpracování na téma štoly sloužící k zásobování vodou v česko-bavorském pohraničí.
- 2) Zpracování obsahové náplně (v českém a německém jazyce) pro QR kódy, informační tabule a publikace Geotour voda a Geotour žula, jakož i kompletace podkladů pro výstavu. Kromě textové části v rozsahu 50 stránek A4 bude obsahová náplň obsahovat grafické podklady, tj. fotografie, mapy, historické obrázky aj.

První část díla je obsahem zde předkládaného dokumentu.

## 1 Základní informace o území

### 1.1 Geomorfologie

Většina plochy Karlovarského kraje náleží geomorfologicky ke Krušnohorské soustavě. Do jihozápadní části zasahuje Šumavská soustava a na jihu malou částí i soustava Poberounská. Rozdělení do geomorfologických celků je zřejmé z následujícího obrázku.



Obr. 1. Geomorfologické členění Karlovarského kraje (<https://aopkcr.maps.arcgis.com>).

### 1.2 Geologická stavba

Níže uvedený text je s drobnými úpravami převzat z dokumentu Regionální surovinová politika Karlovarského kraje (TAČR 2021).

Geologická stavba území Karlovarského kraje je velmi pestrá. Severní část je budována jednotkami tzv. saxothuringika (sasko-durynské oblasti) – krušnohorským krystalinikem, krušnohorským plutonem a durynsko-vogtlandským paleozoikem. Do jižní části kraje zasahuje moldanubikum Českého lesa a tepelské krystalinikum. Mladšími geologickými jednotkami jsou terciérní sedimenty podkrušnohorských pánví (včetně několika izolovaných reliktvů v Krušných horách) a produkty rozsáhlé neovulkanické činnosti. Kvartérní uloženiny tvoří na území Karlovarského kraje spíše izolované výskyty. Jedná se převážně o deluviální a fluviální sedimenty, z nichž významnější jsou terasové sedimenty Ohře a svahoviny při úpatí Krušných hor a neovulkanických komplexů. Sprašové hlíny tvoří v podkrušnohorských pánvích málo mocné, místy však plošně rozsáhlé akumulace. V horských oblastech se vyskytují i rašeliny a slatiny. Významné jsou antropogenní uloženiny, zejména výsypky hnědouhelných dolů a odvaly po těžbě radioaktivních surovin.

**Krušnohorské krystalinikum** je na JV vymezeno krušnohorským a litoměřickým hlubinným zlomem. Středosaské nasunutí omezuje jednotku na SV. Na S a SZ se stýká s vogtlandsko-saským paleozoikem. Všechny horniny krušnohorského krystalinika jsou patrně dvoufázově regionálně metamorfovány a intenzivně zvrásněny. Krušnohorské krystalinikum je považováno za migmatitový komplex vzniklý v době kadomské orogeneze v prostoru proterozoických hornin a později reaktivovaný paleozoickými, resp. variskými horotvornými pochody. Rulové jádro lemují svory a dále ještě slaběji metamorfované fylity. Rulová série zasahuje do území na Jáchymovsku. Převážná část svorových rul, svorů a část fylitů severovýchodně od Jáchymova (až ke státní hranici) i s přilehlým podložím Sokolovské pánve je zahrnována do tzv. hraničního komplexu. V závěru variského vrásnění pronikly krystalinikum v několika fázích granitoidní intruze, které jsou v podloží spojeny v jediný rozsáhlý krušnohorský pluton. Střední část plutonu vystupuje na současný povrch v širokém severojižním pruhu známém jako karlovarský žulový masiv.

**Karlovarský žulový masiv** je součástí tzv. krušnohorského plutonu, který však vůči směrným strukturám krušnohorské oblasti má zřetelně příčné postavení. To je dáno křížením dvou hlavních varisky založených tektonických linií, krušnohorského a litoměřického lineamentu, a zlomovým pásmem směru jáchymovského. Stáří plutonu je nepochybně variské.

V karlovarském masivu se vyskytují dva hlavní typy granitoidů řazené do staršího a mladšího intruzivního komplexu. K prvnímu typu náleží tzv. horské žuly, které jsou starší. Jsou to středně a hrubě zrnité, většinou porfyrické, biotitické granity a granodiority. Granity této skupiny jsou mnohde hybridní a vytvářejí kolem sebe výseteplotní typ kontaktních přeměn ve facii biotit-cordierit-sillimanitických rohovců. Dále od kontaktu je možno počítat i s určitými metasomatickými přeměnami. Hlavní výskyty horské žuly jsou na severovýchodě, mezi slavkovským krystalinikum a Doupovskými horami.

Druhým typem jsou žuly krušnohorské, označované též jako autometamorfované. Ty jsou mladší a pronikají jak horskou žulou, tak i různými stratigrafickými členy pláště. Hlavní výskyt krušnohorských žul je v centrální části plutonu. Jejich charakteristickým znakem jsou pneumatolyticko-hydrotermální alterace spojené s albitizací, přeměnou biotitu, sericitizací, vznikem topazu, turmalínu, fluoritu a dále lokální greisenizací a vznikem lithné a cíno-wolframové mineralizace.

**Vogtlandsko-saské (durynsko-vogtlandské) paleozoikum** leží v severní části ašského výběžku, na Chebsku a v okolí Kraslic a Špičáku. Jedná se převážně o soubory hornin ordovického stáří. Metamorfne náleží facii zelených břidlic, regionální metamorfóza je v dosahu karlovarského a smrčinského plutonu silně překryta kontaktními přeměnami. V ašském výběžku začíná paleozoikum frauenbašským souvrstvím s četnými kvarcity a páskovanými písčítými břidlicemi, pokračuje souvrstvím fykodovým, převážně v písčitém vývoji s polohami kvarcitů, a končí nepatrným výskytem skupiny grafenthalské. Podobný sled je znám i z kraslické oblasti.

**Smrčinské krystalinikum** navazuje na jihozápadní hranici vogtlandsko-saského paleozoika, jeho jižní hranici tvoří kontakt s krušnohorským plutonem a tektonicky podmíněná hranice chebské pánve. Je tvořeno převážně fylity, svory, pararulami.

**Tepelské krystalinikum** leží sz. od barrandienského proterozoika, z něhož se pozvolna vyvíjí přibýváním intenzity regionální metamorfózy. Za jeho jihovýchodní hranici je konvenčně přijímána tzv. biotitová izograda, severozápadní hranice je totožná s hranicí středočeské a krušnohorské oblasti (tzv. litoměřický hlubinný zlom). Na SV se tepelské krystalinikum noří pod sedimenty permokarbonu a vulkanity doupovského stratovulkánu. Na JZ je hranicí tepelského

krystalinika mariánskolázeňský zlom. Tepelské krystalinikum je antiklinoriem budovaným metapelite a metapsamity, jejichž metamorfóza stoupá v rychlém sledu zón od biotitové přes granátovou, staurolitovou a kyanitovou až k zóně rutilové v mariánskolázeňském metabazitovém komplexu. Petrograficky se jedná o sled dvojslídnych fylitů, dvojslídnych granátických fylitů a dvojslídnych a biotitických rul. Statigraficky odpovídají horniny neoproterozoiku.

**Mariánskolázeňský bazický komplex** buduje severní část Tepelské plošiny a jižní část Slavkovského lesa. Jedná se o synklinorium složené převážně z regionálně metamorfovaných bazaltických hornin tholeiitového chemismu zčásti bohatých hliníkem. Horniny jsou metamorfovány v amfibolitové a patrně až eklogitové facii na různé typy amfibolitů až eklogitů, které někde obsahují kyanit. Za litoměřickým hlubinným zlomem, jehož průběh je na povrchu vyznačen dlouze protáhlými tělesy serpentinitů u Pramenů (původně dunity a eklogity), intenzita metamorfózy opět klesá směrem do Slavkovského lesa. Eklogity jsou spjaty s metavulkanity a vznikly vysokotlakou metamorfózou.

**Slavkovské krystalinikum** je považováno za regionálně metamorfované a kontaktními účinky hercynských granitoidů dotvořené svrchní proterozoikum. Převládají v něm sillimaniticko-biotitické a dvojslídne pararuly až svory s polohami erlanů a kvarcitů. Slavkovské krystalinikum je proráženo různými faciemi variských granitoidů karlovarského masivu. Na východě, zhruba od linie Bečov–Karlovy Vary, se ke slavkovskému krystaliniku přimyká těleso porfyrického biotitického granitu. Facie porfyrického biotitického granitu a facie dvojslídneho drobnozrnného granitu zasahují do slavkovského krystalinika i ze severu, z okolí Sokolova a Lokte. Prakticky v jádru slavkovského krystalinika je vrchol velkého tělesa autometamorfované žuly sahající daleko k jihu až do masívu žandovského a dále k jihovýchodu do podloží mariánskolázeňského bazického komplexu.

**Podkrušnohorské pánve** zahrnují tři terciérní limnické pánve na severozápadě České republiky uspořádané v linii JZ – SV v pořadí chebská, sokolovská a mostecká (severočeská, Ústecký kraj). Podloží chebské a sokolovské pánve budují žuly smrčinského granitu, chebské fylity (arzborská skupina), slavkovské a krušnohorské krystalinikum a karlovarský masiv. Před vlastní sedimentací terciérní výplně pánví došlo ke kaolinizaci těchto hornin, často do značných hloubek (50–70 m).

Současný rozsah sedimentů je reliktem výplně rozsáhlé sníženiny vzniklé od konce paleogénu v souvislosti s poklesy v oblasti oherského riftu v rámci tzv. saxonské tektoniky. Pánve byly vyplňovány v období od eocénu do miocénu. Výplň se dělí na souvrství starosedelské, novosedelské, sokolovské, cyprisové a v chebské pánvi navíc vildštejnské (pliocén). Stejnými tektonickými procesy byla aktivována i vulkanická činnost, která svým rozsahem přesahuje etapy ukládání sedimentů.

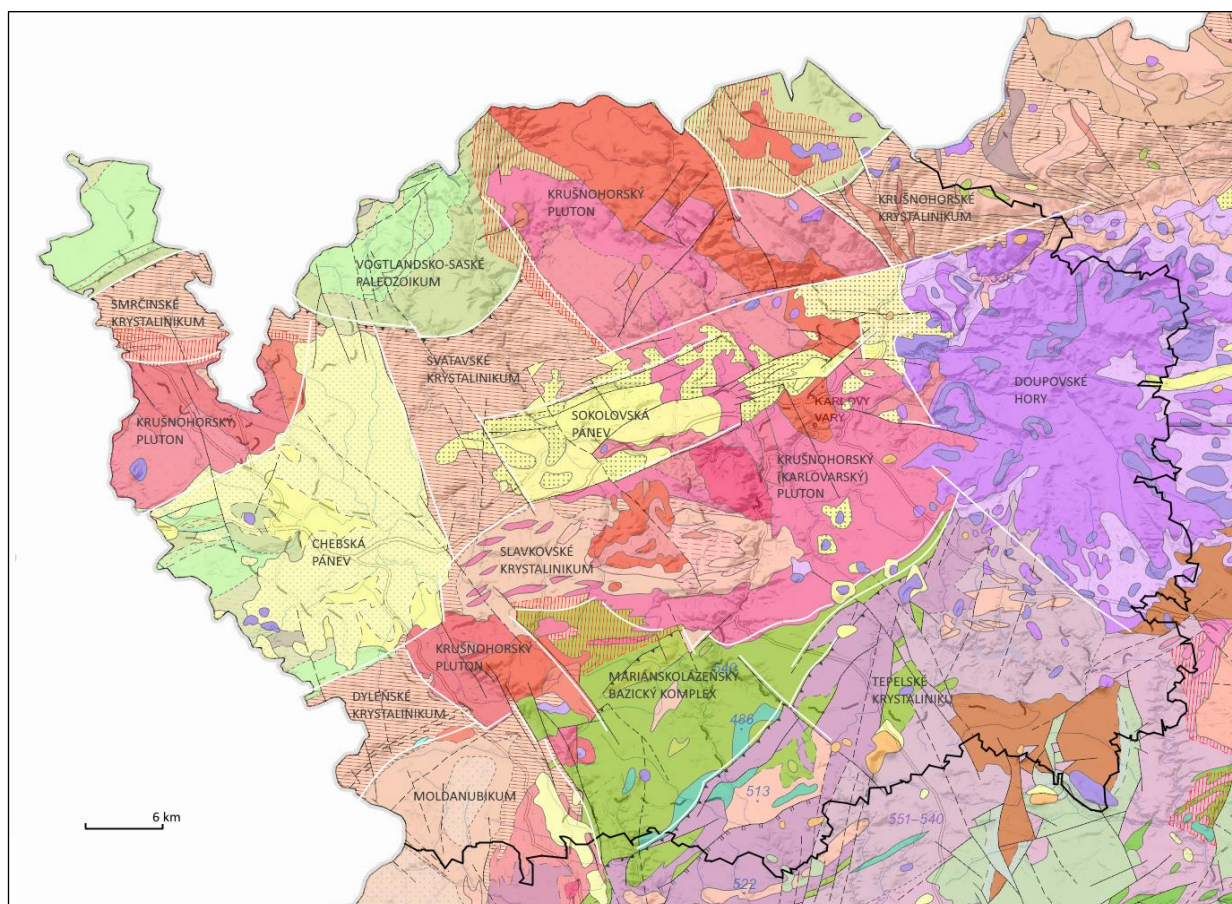
Bazální starosedelské souvrství (stáří eocén až spodní oligocén) spočívající na kaolinizovaném podloží je v území zastoupeno v nepravidelných reliktech různé mocnosti (max. 40 m). Jedná se o litologicky proměnlivé sedimenty s přechody od hrubozrnných písčitých až štěrkovitých usazenin přes jemnozrnné facie místy prokřemenělé (charakter kvarcitů) až po písčité jíly. Hiátem oddělené je novosedelské souvrství s davidovskými vrstvami, hnědouhelným pásmem Josef a vulkanogenními chodovskými vrstvami (stáří oligocén až spodní miocén, max. mocnost 270 m). Mocnost josefských vrstev je značně variabilní a vlastní sloj je často rozdělena ve dvě až tři uhelné lávky oddělené jílovitými proplásky. Sopečné uloženiny v nadloží sloje Josef jsou převážně zjílovělé na bentonity. Výše se nachází sokolovské souvrství (spodní miocén, max. mocnost až 300 m), v němž se jezerní a říční klastické sedimenty střídají s usazeninami

vulkanického původu, a které je mimořádně významné díky přítomnosti tzv. hlavního slojového pásma (sloje Anežka, meziložní sloj a sloj Antonín). Nadloží je tvořeno cyprisovým souvrstvím, ve kterém jsou převažující modrošedé nebo výše hnědošedé bitumenní jíly a jílovce o mocnosti až 180 m (stáří miocén).

Po delším hiátu sedimentovaly v chebské pánvi jíly a písky nejmladší etapy, které budují vildštejnské souvrství s významnými ložisky keramických jílů. Ve spodních vonšovských vrstvách to jsou vysoce plastické „vazné“ jíly, ve svrchních novoveských vrstvách málo vazné „pórovinové“ jíly. Závěrem nejmladší etapy sedimentují písky, zčásti i štěrky.

**Chebská pánev** má plošný rozsah cca 300 km<sup>2</sup> a výrazné ssz. protažení. Vzdálenost sokolovské pánve, se kterou vytvářela v průběhu terciéru jediný sedimentační prostor, činí dnes u Kačerova a Lítova pouze 500 až 1000 m. Na tektonická poruchová pásma v oblasti pánve jsou vázány rozsáhlé vývěry CO<sub>2</sub> (údolí toku Plesná, národní přírodní rezervace Soos) a minerální prameny Františkových Lázní.

**Sokolovská pánev** má proti ostatním podkrušnohorským pánvím vedle své hlavní části výplň rozdrobenou do reliktů vyplňujících deprese mezi většími elevacemi pánevního podloží. Největší z reliktů vytváří na SV samostatnou pánvičku hroznětínskou. Jako celek se reliktu shlukují v pruh sv. směru, omezený zlomy krušnohorským na SZ a oherským na JV a zajímavější více než 200 km<sup>2</sup>. Na východě je území omezeno laločnatou linií laterálního přechodu pánevních sedimentů do komplexu neovulkanitů Doupovských hor.



Obr. 2. Schematická geologická mapa Karlovarského kraje (<https://mapy.geology.cz/geocr500/>).



**Neovulkanity** vznikaly ve vazbě na oherský rift ve více etapách produkujících různé typy alkalických hornin (fáze preriftová, synriftová a postriftová). Komplex neovulkanitů Doupovských hor vznikl v období svrchního eocénu až spodního miocénu. Doupovské hory oddělují sokolovskou a severočeskou (mosteckou) pánev, jejich rozloha je cca 1 200 km<sup>2</sup>. Nacházejí se na křížení zlomu sv. směru (j. okrajový zlom sokolovské pánve, střezovský zlom) se zlomem hlubinného jáchymovského pásma (vyznačujícím sv. hranici karlovarského plutonu), na SZ jsou ukončeny krušnohorským zlomem a na JV přesahují jen mírně přes podbořanský zlom a jeho jihozápadní pokračování. V centru dosahuje mocnost láv a pyroklastik téměř 1 km. Je to mocnost neúplná, denudační. Přírodní kanál je situovaný v centrální části komplexu u Doupova a je vyplněný essexitem. V bazálních vrstvách je zastoupen litologicky pestrý soubor převážně subakvatických pyroklastik (tufy, tufity, tufitické jíly), který přechází do pyroklastik subaerických. Ve vyšších polohách se v nich objevují lávové příkrovy, které se pak s pyroklastiky střídají. Na stavbě Doupovských hor se podílejí z 20 % lávy a z 80 % pyroklastika. Výlevy láv začínají ultrabazickými leucitity, dále následují bazické lávy tefritového charakteru a nakonec bezolivinické čediče. Mladší neovulkanické fáze nejsou v Doupovských horách zastoupeny. Nejmladší projevy sopečné činnosti v oblasti chebského zlomu jsou pleistocénního stáří (Železná a Komorní hůrka).

Terciární tektonika je určující pro geologický vývoj značné části Karlovarského kraje. Hlavní tektonické linie nejsou jednoduché zlomy, ale širší zlomová pásma, tvořená zhruba paralelními poruchami. Jednotlivé zlomy byly založeny postupně v různých obdobích. Výsledné podoby nabývaly opětovným zmlazením při kerných pohybech během křídý a terciéru. Většina zlomů náleží systému směru SZ – JV a SV – JZ. Nejvýznamnějším zlomem systému SV – JZ je na S podkrušnohorský zlom a na J oherský zlom. Omezují terciární výplň proti krušnohorskému plutonu. Ze zlomů příčných je nejznámější soustava zlomů jáchymovský, chodovský a tzv. karlovarská vřidelní linie, na západě pak zlomy svatavský a mariánskolázeňský. S nimi je pak řada více či méně významných tektonických linií rovnoběžná. Hluboké rozpukání a tektonické porušení granitového masivu spolu s mohutnými výstupy oxidu uhličitého jsou podstatou vzniku karlovarských pramenů.

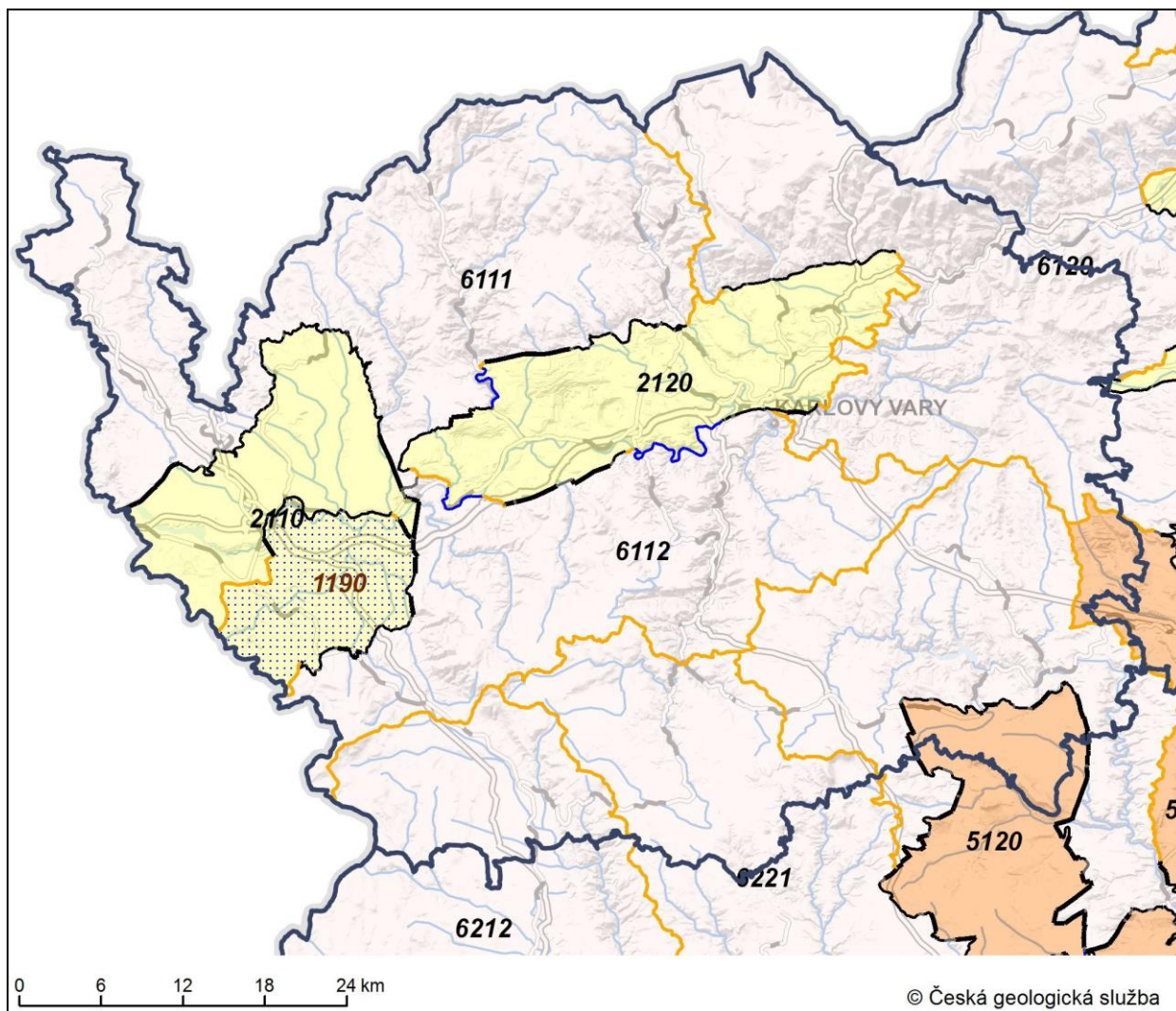
### 1.3 Hydrogeologické rajóny

Hydrogeologický rajon je území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a proudění podzemní vody, složené z jednoho a více útvarů podzemních vod. Vymezuje se na základě přírodních charakteristik v hloubkové svrchní, základní a hlubinné vrstvě. Tento proces upravuje vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod, ve znění pozdějších předpisů ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrogeologick%C3%BD\\_rajon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrogeologick%C3%BD_rajon)).

Severozápadní část Karlovarského kraje zaujímá hydrogeologický rajon 6111 Krystalinikum Smrčin a západní části Krušných hor, vymezený v horninách krystalinika, proterozoika a paleozoika. Rajon má rozlohu 700,825 km<sup>2</sup> a s výjimkou části Ašského výběžku spadá do povodí Ohře, hlavního povodí Labe.

Z hydrogeologického hlediska je rajon 6111 tvořen strukturami puklinových podzemních vod v usměrněně rozpukáných horninách (pararuly, svory, fylity) a ve všesměrně rozpukáných horninách (žuly, ortoruly), včetně průlinového zvodnění jejich pokryvů. Pro oběh podzemní vody jsou významnější variské granitoidy, a to díky značnému porušení sítí puklin a zlomů, většinou propustných i do větších hloubek. Také jejich zvětralinový plášť písčitého až

písčitojílovitého charakteru vytváří relativně příznivé podmínky pro oběh podzemní vody. K akumulaci podzemních vod dochází v pásmu podpovrchového rozpojení, což zahrnuje zvěralinový plášť a svrchní navětralé a rozpukané pásmo skalního podkladu. Dotace je převážně z atmosférických srážek, přičemž množství infiltrované vody je ovlivňováno plochou hydrogeologického povodí, morfologií terénu a propustností zvěralinového pláště. Hladina podzemní vody je volná (Olmer et al. 1990).



Obr. 3. Hydrogeologické rajony v Karlovarském kraji ([mapy.geology.cz/](http://mapy.geology.cz/)).

## 2 Voda a její jímání

Pro výrobu pitné vody se hodí pouze mizivé procento vody na Zemi. Také proto zhruba pětina obyvatel naší planety nemá v současnosti odpovídající přístup k nezávadné pitné vodě. Pitná voda se získává zpravidla úpravou surové vody ze zdrojů. Zdroje vody mohou být podzemní nebo povrchové. Z některých zdrojů (zejména podzemních) je možné získat pitnou vodu bez její úpravy. Surová voda se odvádí do úpraven, kde se přemění na vodu pitnou. Odsud následně směřuje do vodojemů a vodovodní sítí ke spotřebitelům (<https://www.vodarenstvi.cz/svet-vody/>).

V Karlovarském kraji je podstatná část obyvatel zásobována povrchovou vodou z vodních nádrží Horka, Krásná Lípa, Stanovice, Teplá a Žlutice. Část obyvatel je napojena na zdroje povrchové vody ze Stříbrného potoka (Stříbrná), Bystřiny (Rotava) a Vlčího potoka (Nová Role). Podzemní vody jsou jímány u Nebanic, Aše, Skalky u Hazlova, Lubů, Hroznětína, Nejdku, Jáchymova, Plavna, Božího Daru, Ryžovny, Hřebečné, Horní Blatné a v řadě dalších míst. Všechny zdroje veřejného zásobování jsou chráněny pásmy hygienické ochrany, jejichž situace a rozsah je znázorněn např. v interaktivní mapě na <https://heis.vuv.cz/data/webmap>.

### 2.1 Povrchová voda

Povrchová voda je voda všech vodních povrchových zdrojů. Povrchové vody jsou děleny na tekoucí, stojaté a akumulované v nádržích. Využití povrchových vod k definovaným účelům je většinou limitováno její jakostí. Podle toho jsou i rozlišována jímací zařízení (jímadla) z nádrží, z jezových zdrží a z tekoucích vod (VUT 2015).

#### Objekty k jímání povrchové vody z nádrží a jezových zdrží

Věžové jímací objekty k jímání povrchové vody z nádrží mohou stát samostatně v prostoru nádrže nebo jsou stavebně spojeny s tělesem hráze (VUT 2015). Vodárenské odběry jsou umístěny etážovitě v rozdílných výškách tak, aby bylo možné regulovat hloubku odběru v návaznosti na kvalitu vody (mění se např. v jednotlivých ročních obdobích).

#### Jímání v tekoucích vodách

Pro volbu vhodného zařízení k odběru tekoucí vody je rozhodující režim vodního zdroje, výběr místa odběru, typ jímadla a jeho ochrana před zanášením plaveninami a splaveninami, před zamrznutím a vodní tříští.

Jímadla břehová se budují v tocích se stabilními břehy, které výškově umožňují výstavbu objektu se zaručením odběru i při minimální hladině vody v toku. Vyhovují tomu zejména střední a dolní tratě toků v místech s minimálním hromaděním splavenin (VUT 2015).

Jímadla ve dně koryta se navrhuje pouze výjimečně na tocích bystřinného charakteru. Nelze je osazovat v místě se sníženou rychlostí vody, kde může docházet k usazování suspendovaných látek. Jímací objekt nesmí zmenšovat průtočný profil toku a nesmí ani jinak ovlivňovat další charakteristiky (zejména hydraulické, např. vzduť vody atp., VUT 2015).

Jímací objekty nade dnem řečiště je možné umístit v širších vodních tocích s nestabilními břehy, s nedostatečnou hloubkou vody u břehů v důsledku častého kolísání hladiny, popř. je-li znemožněn odběr vody ve dně koryta toku z důvodů velkého množství jemnějších sedimentů (VUT 2015).

## 2.2 Podzemní voda

Podle [https://cs.wikipedia.org/wiki/Podzemn%C3%AD\\_voda](https://cs.wikipedia.org/wiki/Podzemn%C3%AD_voda) je podzemní voda ta, která se nachází pod zemským povrchem, zejména v pórech mezi částicemi půdy a v místech, kde je narušena kontinuita hornin. Z pohledu hydrogeologického jde o vodu pod zemským povrchem, v nasycené zóně, kde vyplňuje všechny dutiny a je ohraničena svým horizontem. Ostatní vody pod povrchem, které této definici neodpovídají, jsou vody podpovrchové (půdní vlhkost, voda v nenасыcené zóně, voda v jiném skupenství, kapilární voda). Podzemní voda tvoří cca 20 % dostupných světových zásob sladké vody. Pokud obsah rozpuštěných minerálních látek nebo plynů překročí stanovenou hranici, označuje se tato voda jako minerální voda; opakem je prostá podzemní voda.

Pro navrhování, výstavbu a provoz nových nebo rekonstruovaných jímacích objektů a jímacích zařízení prosté podzemní vody platí ČSN 75 5115. Objekty k jímání podzemních vod jsou obvykle děleny na vertikální (trubní a šachtové studny), horizontální (zářezy, štoly, galerie, vodorovné vrty) a plošné (pramenní jímky).

### Vertikální jímací objekty

Šachtové studny mají relativně velký objem a slouží tedy i k akumulaci vody. Hloubka šachtových studní zpravidla nepřevyšuje 15 m (VUT 2015). Voda proudí do studny vtokovými otvory v obvodovém plášti. Studny mohou být kopané nebo spouštěné.

Trubkové (jehlové) studny jsou vhodné pouze pro malé odběry vody (do cca 0,5 l/s). Sestávají z ocelových trub o průměru 30–80 mm a délce 1-2 m, spojených závitem. Studny tohoto typu mohou být až 50 m hluboké.

Vrtané (trubní) studny umožňují jímání vody z hloubky až 100 m. S využitím dnes běžně dostupných mechanizačních prostředků je lze realizovat téměř ve všech geologických útvarech. Hlavním konstrukčním prvkem je ocelová nebo plastová pažnice, v příslušném hloubkovém intervalu perforovaná, oddělená od okolní horniny šterkovým obsypem. Rozlišují se (např. Kučera 2006) vrtané studny maloprofilové (do 200 mm), střednoprofilové (200 až 500 mm) a velkoprofilové (nad 500 mm).

Tzv. radiální studny kombinují prvky vertikálního a horizontálního jímání. Vertikálním prvkem je šachtová studna, do které jsou napojeny horizontální sběrné drény. Tyto drény jsou do boků zatlačovány přímo ze studny hydraulickými lisami. Drény jsou většinou vyrobeny z perforované ocelové trubky.

### Plošné jímací objekty

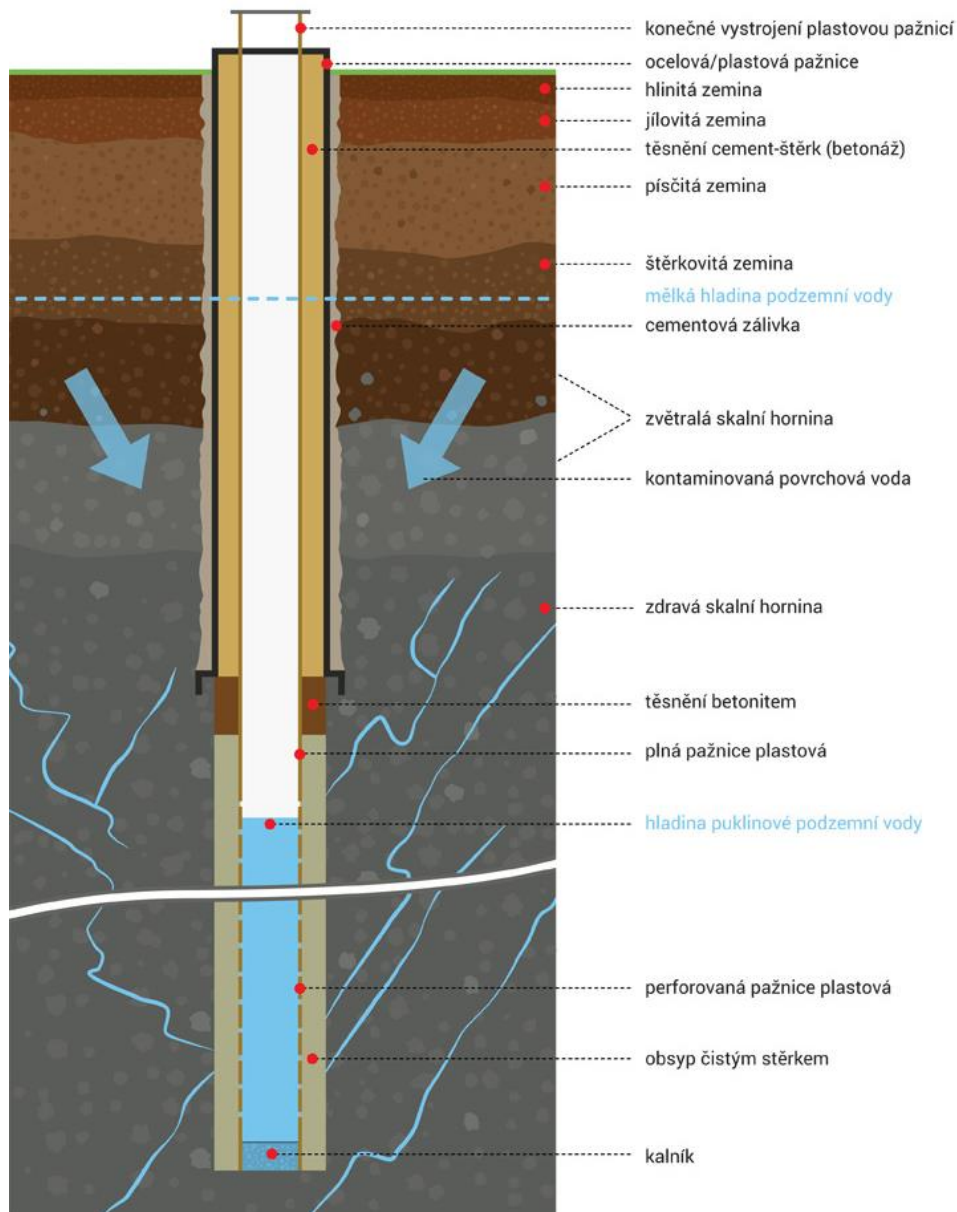
Plošné jímací objekty (pramenní jímky) slouží k zachycování pramenů a plošných vývěrů podzemních vod ze skalnatých hornin. Budují se v ojedinělých případech, přednostně se jímá kvalitní podzemní voda z větších hloubek. Rozhodující pro volbu jímání tímto způsobem je vydatnost pramene, kolísání jímaného množství, dále pak stálost a kolísání jakosti jímané vody (VUT 2015).

### Horizontální jímací objekty

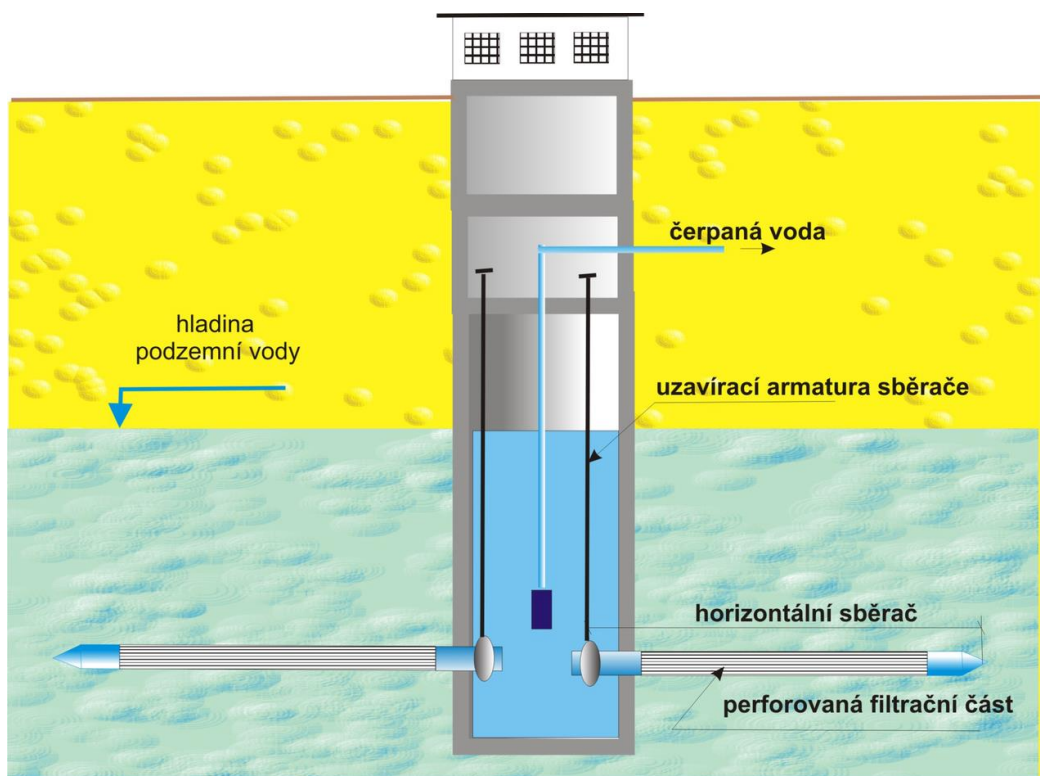
Jímací štoly a galerie se zřizují pro jímání většího množství vody ve vhodném prostředí. Razí se zejména v těch lokalitách, kde zvodnělá vrstva proniká - obvykle ve svažitém území - až na zemský povrch.

Jímací zářezy jsou vhodné k jímání v mělkých podzemních vrstvách s relativně malou kapacitou. Jímací zářezy většinou ústí do sběrné jímky, odkud se voda přečerpává do úpravy. Jímání v zářezech se provádí pomocí drénů - perforovaných kameninových trub nebo plastových rour (VUT 2015).

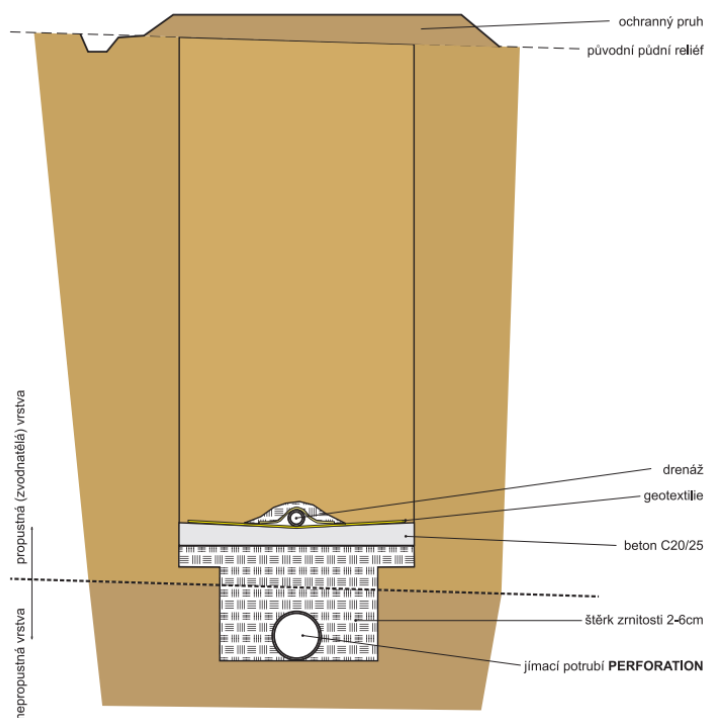
Jímací galerie nebo štoly se budují pro dosažení vysoké vydatnosti. U toho způsobu jímání lze dosáhnout přítoku 100 l/s. Konstrukčně mohou být zhotoveny ze železobetonu nebo zděné, průřezné nebo průchozí. Práce mohou probíhat v otevřené rýze nebo hornickým způsobem, kdy se pak už jedná o ražené štoly. Z vnější strany galerie je umístěn štěrpkopískový filtr zabraňující vplavování jemných částic. Voda do galerie natéká otvory umístěnými ve spodní části stěn a je shromažďována v podélném svodném žlabu. Podél žlabu, z jedné nebo z obou stran, se umísťuje revizní chodník. Žlaby následně ústí do sběrné šachtové studny (Kučera 2006).



Obr. 4. Profil vrtanou studnou ([www.hlubinnevrt.cz](http://www.hlubinnevrt.cz)).



Obr. 5. Studna s horizontálními sběrači (Pastuszek 2009 na <https://cs.wikipedia.org/wiki/Studna>).

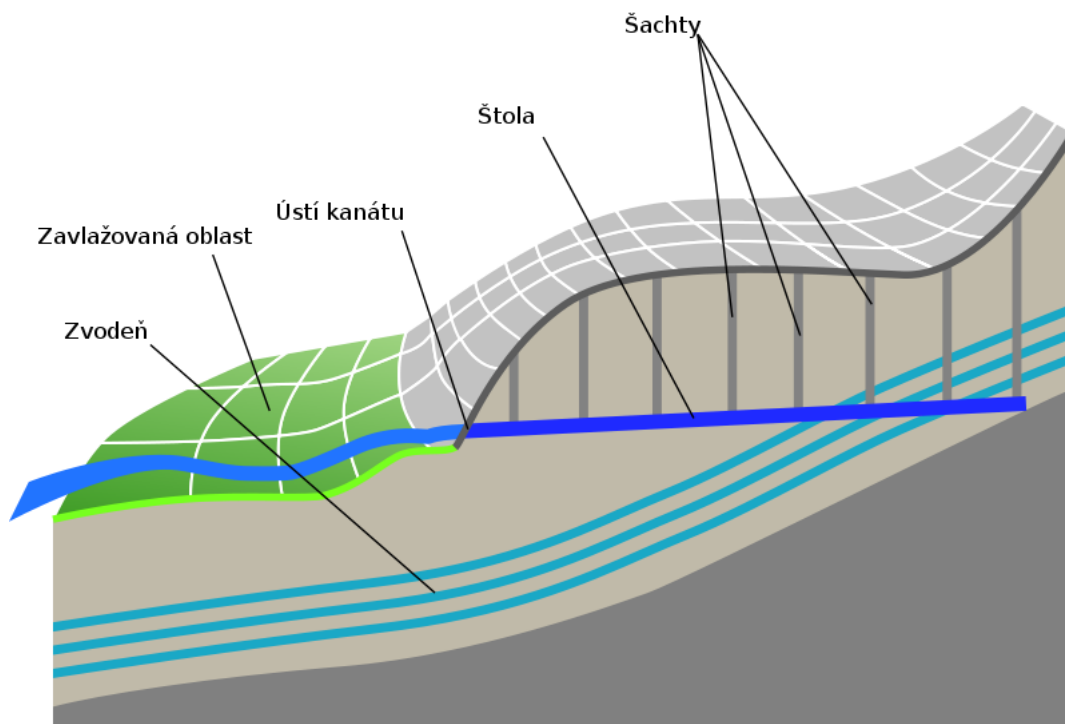


Obr. 6. Vlevo: Příčný řez jímacím zářezem. Vpravo: Stavba jímacího zářezu ([www.pospisil-ro.cz](http://www.pospisil-ro.cz)).

### 3 Kanáty

Specifickým druhem jímacích galerií jsou kanáty. Kanát je vodohospodářský systém, který slouží k zajištění spolehlivého zásobování lidských sídel vodou nebo zavlažování v polopouštních a suchých oblastech. Nejstarší kanáty jsou dokumentovány z období před několika tisíci lety z Persie. Je nanejvýš pravděpodobné, že právě v této důmyslné technice spočívá tajemství starověké civilizace vyprahlé země. Až několik desítek kilometrů dlouhé kanáty umožnily zásobování vodou lidská sídla a zemědělské plochy daleko od horských úbočí. I v současnosti většina vody používané v Íránu k zavlažování a pití stále pochází z těchto důmyslných staveb, kterých se odhaduje na čtyřicet až padesát tisíc (Klaubert 1967, Beaumont et al. 1989).

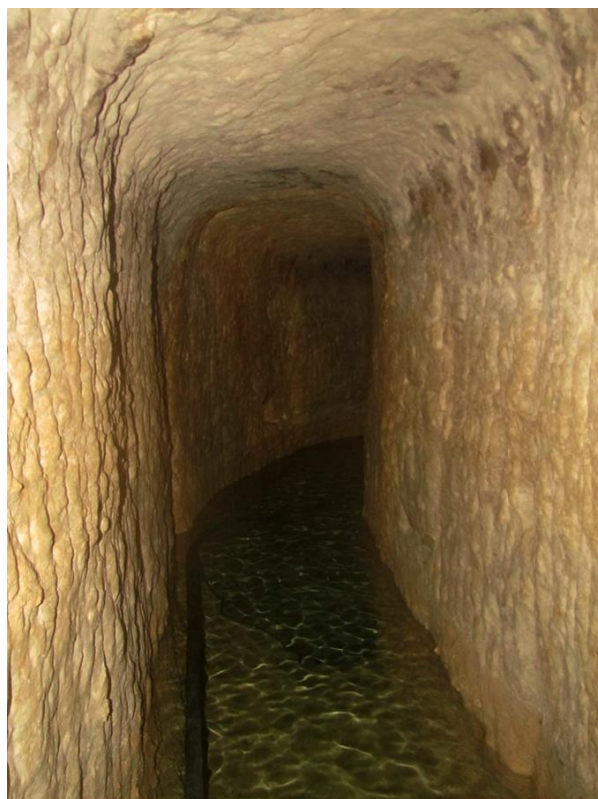
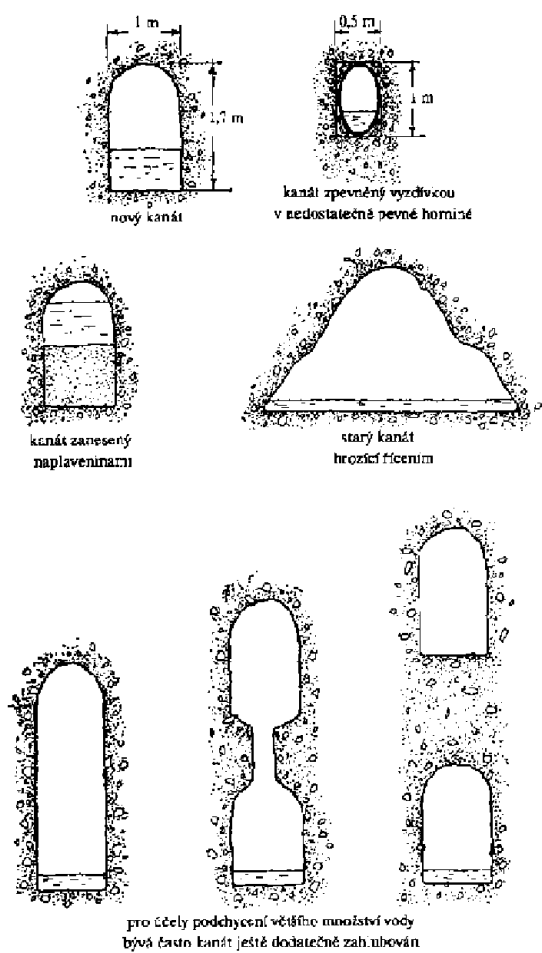
Základem kanátu je vodorovná štola. Ta ve své horní části proniká do zvodně, jímá její vodu a vede ji vodu samospádem k ústí. Štola se buduje ve velmi malém sklonu (1 : 1 500 – 1 : 1 000), aby voda proudila velmi nízkou rychlostí a nerozrušovala tak ostění kanátu. Jímací část se často umísťuje do náplavových kuželů, kde je zároveň mocná vrstva propustných sedimentů a vysoká hladina podzemní vody (<https://czwiki.cz/Lexikon/Kan%C3%A1t>). Typická výška kanátu je 1,5 m, šířka 1 m. Na počátku kanátu je tzv. mateřská studna, která je 30–100 m hluboká a do kanátu přivádí vodu (schéma z wikipedie na Obr. 7 není zcela přesné). Níže ve směru proudění jsou z povrchu do vodního tunelu vyraženy vertikální šachty, obvykle v intervalech 20–30 m, takže při pohledu ze vzduchu působí dojem dlouhé, rovné linie děr do země. Šachty sloužily k vynášení zeminy při stavbě a k ventilaci, později umožňují přístup k údržbě tunelu. Kanáty mohou mít délku až 70 km, obvykle 9–16 km.



Obr. 7. Schéma kanátu (<https://czwiki.cz/Obr%C3%A1zek/Soubor:Qanat-3-CZ.svg>).



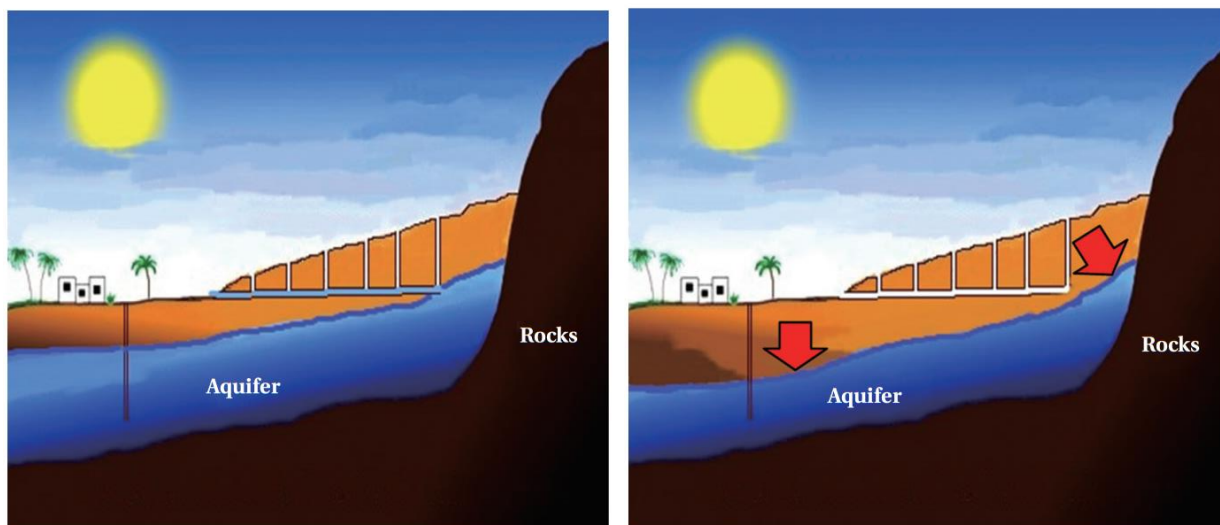
Obr. 8. Kanátové linie v oáze Turfan v sz. Číně (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>)



Obr. 9. Vlevo: příčné profily kanátů (Bičík 1971). Vpravo: Tunel kanátu u Isfahánu v Íránu (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>)



Kanáty umožňují dodávání velkého množství vody do míst, která jsou níže než vodní zdroj, aniž by bylo nutné vodu čerpat. Mnohé z nich, vybudované ve starověku, jsou funkční i v současnosti. Nevyžadují k samotnému přivádění vody energii, ale jsou náročné na údržbu. To na mnoha místech vedlo k jejich nahrazení vodou čerpanou ze studen přímo v místě. Čerpání snižuje hladinu v jejich zdrojových zvodních a kanáty vysychají. Tento osud postihl mnoho kanátů např. v Sýrii.

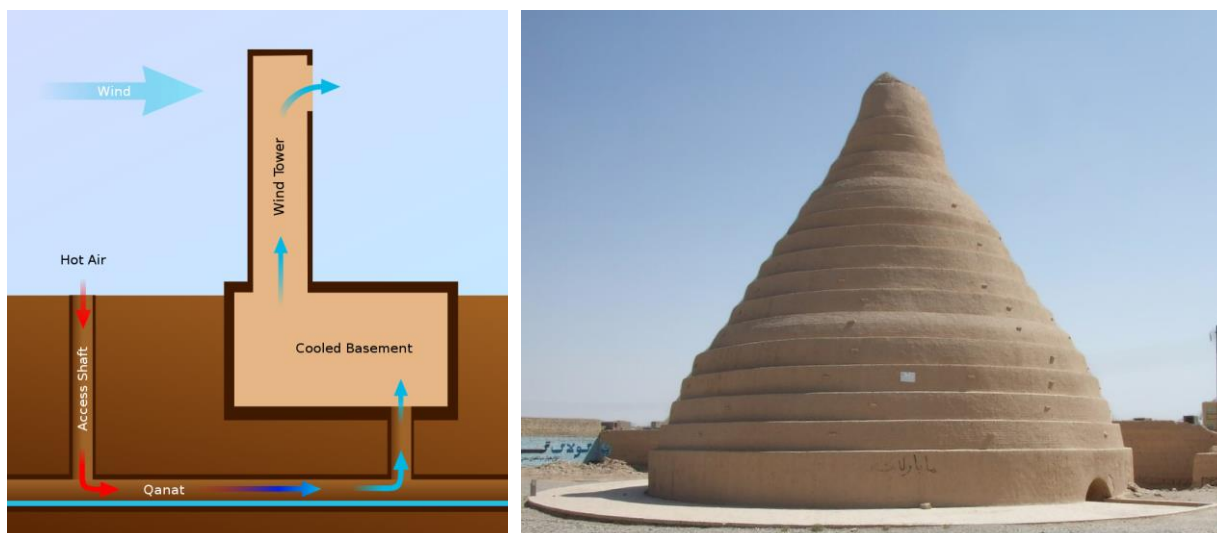


Obr. 10. Ztráta funkce kanátu způsobená poklesem hladiny pozemní vody (Taghavi-Jeloudar et al. 2013).

Voda přitékající z kanátů může být dočasně skladována v podzemních cisternách. Relativně nízkou teplotu v nich pomáhají udržovat větrné věže zvané *badgiry*. Ty se už více než 1 000 let používají ke klimatizaci obytných domů, kdy proudění vzduchu pomáhá snášet letní vedra dosahující i více než 45 °C (Šrámek 2017). Větrná věž je komínová stavba se čtyřmi průduchy umístěná nad domem. Po otevření průduchu po směru větru je nasáván chladný vzduch z kanátu pod domem. Vzduch z kanátu se ochlazuje jak kontaktem s chladnějšími stěnami tunelu a s vodou, tak i přenosem latentního tepla během vypařování vody do vzdušného proudu. V suchých pouštních klimatech tak může být docíleno snížení teploty vzduchu v kanátu o více než 15 °C. Smíšený vzduch zůstává relativně suchý, takže ve sklepě je chladno a přijatelné vlhko.

Pomocí kanátů byly v minulosti také chlazeny lednice zvané *yakhchal*, které během horkých ročních období udržely v zimě nashromážděný led. Led byl přivážen z okolních hor, častěji ale vyráběn přímo na místě. K tomu byla postavena zeď ve směru východ-západ, na jejíž severní stranu byla v zimě přiváděna voda z kanátu. Ve stínu voda rychleji zamrzala a nahromaděný led se ukládal do *yakhchalu*. Velký podzemní prostor se silnými izolovanými stěnami byl napojen na kanát a během roku ochlazován lapači větru nebo větrnými věžemi. Tato technika byla v Persii zvládnuta již před rokem 400 př. n. l.

Zásobování vodou z kanátů výrazně ovlivnilo vzorce osídlení. Bohatší a vlivnější obyvatelé osad se usazovali směrem proti proudu kanátu, kde je voda čistší, chladnější a nehrozí její nedostatek (<https://czwiki.cz/Lexikon/Kan%C3%A1t>).



Obr. 11. Vlevo: schéma větrné věže nad kanátem. Vpravo: yakhchal v provincii Yazd (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8659258>).

Kanáty se budovaly na zemědělské půdě mimo obydlené oblasti, s růstem měst v moderní době se však dostávají do oblasti zástavby. Zapomenuté vyschlé a neudržované štoly pod budovami mohou způsobovat propady půdy, zvláště pak v kombinaci se zemětřeseními. Přinášejí komplikace při konstrukci podzemních staveb a mohou přes ně pronikat odpadní vody kontaminující podzemní vody. I přesto zůstávají kanáty stále hlavním zdrojem vody pro místní obyvatelstvo (Šráček 2017). Nově vznikají návrhy na jejich rekonstrukci pomocí moderních technologií (geomembrány, geotextilie atp.; např. Taghavi-Jeloudar et al. 2013).

Systém kanátů se zprvu rozšířil v zemích, které byly součástí Perské říše nebo na ní měly kulturní vazby, a následně i dále po celém světě. Je znám z Mezopotámie, tj. dnešního Iráku a Sýrie, z Pákistánu a Afghánistánu, ze západní Číny, z jižního Ruska, z mladých států Perského zálivu, ze severní Afriky a jižní Evropy (*Iransafar* 2019). V Novém světě jsou vodohospodářské stavby podobné kanátům v Mexiku, Chile a Peru. Existuje pro ně mnoho názvů, např. *qanat* (perština), *qanat romani* (Jordánsko, Sýrie), *khettara* (Maroko), *galería* (Španělsko), *falaj* (Spojené arabské emiráty a Omán), *kahn* (Balúčistán), *foggara/fughara* (severní Afrika) či *karez/karíz* (např. Afghánistán, Pákistán, Arménie a Čína).

Teorii šíření této technologie z jediného centra v Persii odporuje existence mnohem starších kanátů v Ománu a Spojených arabských emirátech. Je možné, že obdobné postupy byly v různých oblastech osvojovány nezávisle (např. Angelakis et al. 2017).

### 3.1 Írán a jihozápadní Asie

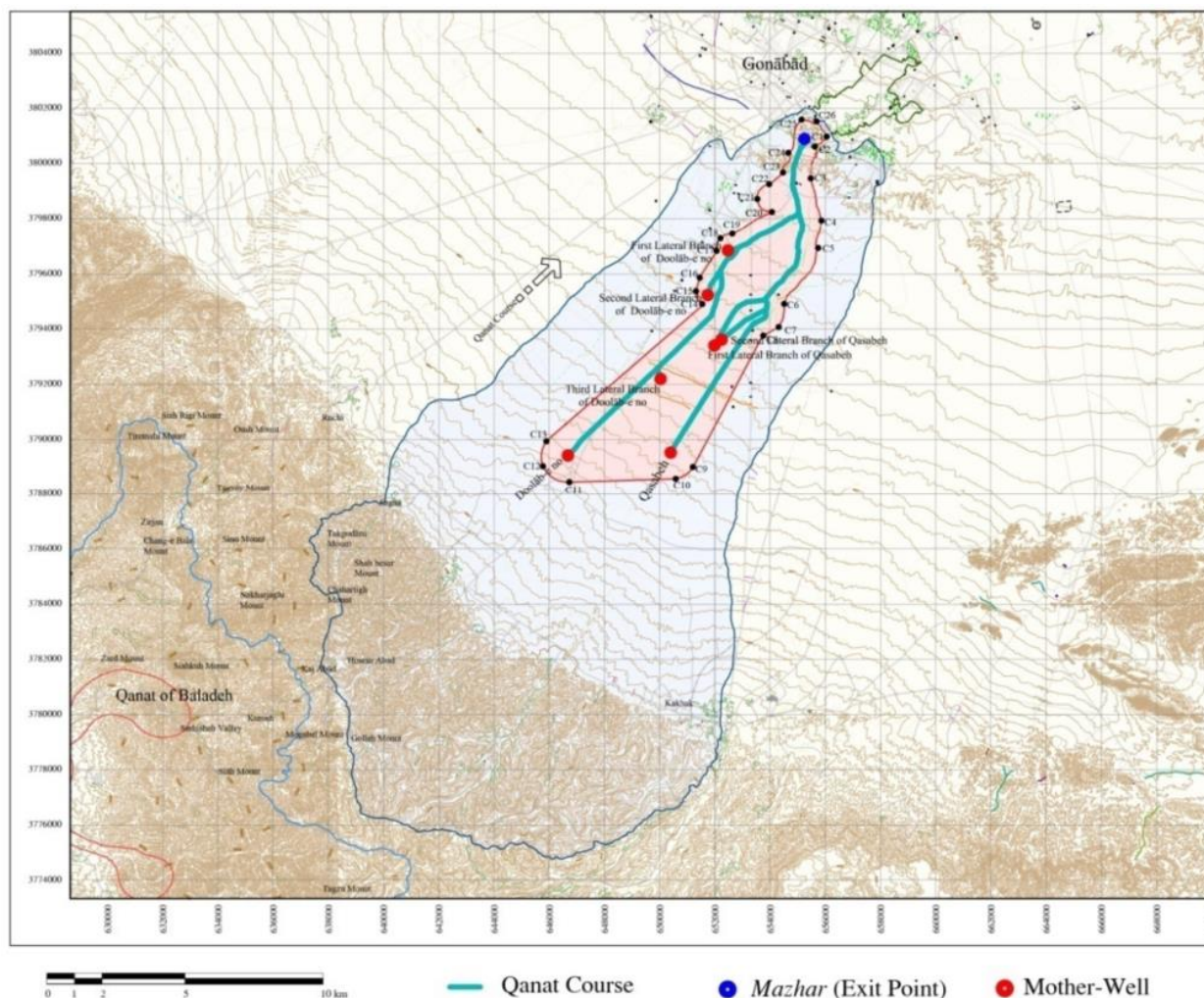
Hlavním městem kanátů je město Jazd (Yazd) v centrálním Íránu, kde je také Muzeum vody (Šráček 2017). Podle *Iransafar* (2019) je v Íránu známo asi 36 300 kanátů. V roce 2014 byly poblíž přehrady Seimareh (západní Írán) nalezeny pozůstatky kanátu ze třetího tisíciletí před naším letopočtem. V roce 2003 byl po zemětřesení v Bamu objeven akvadukt vybudovaný na konci achaimenovského období, tj. v 6. až 4. století př. n. l.

Starověký řecký historik Polybios ve 2. století př. n. l. v souvislosti s kanáty uvádí, že Peršané záhadným způsobem přiváděli vodu z hlubin země na povrch. Některé technické detaily tohoto inženýrského fenoménu popsal ve svém díle *Deset knih o architektuře* římský architekt Marcus Vitruvius (80 př. n. l.).

Z období let 700 a 500 př. n. l. pocházejí i kanáty Quasabeh (Ghasabeh) v Gonábádu v provincii Chorásán Razaví na severovýchodě Íránu, které jsou jedněmi z nejstarších a největších na světě. V roce 2016 byla tato lokalita společně s dalšími íránskými kanáty oficiálně zapsána na seznam světového dědictví UNESCO ([https://en.wikipedia.org/wiki/Qanats\\_of\\_Ghasabeh](https://en.wikipedia.org/wiki/Qanats_of_Ghasabeh)).

Tabulka 1. *Íránské kanáty na seznamu světového dědictví UNESCO s poznámkami dle <https://www.persiaadvisor.travel/about-persia/persian-qanat/>.*

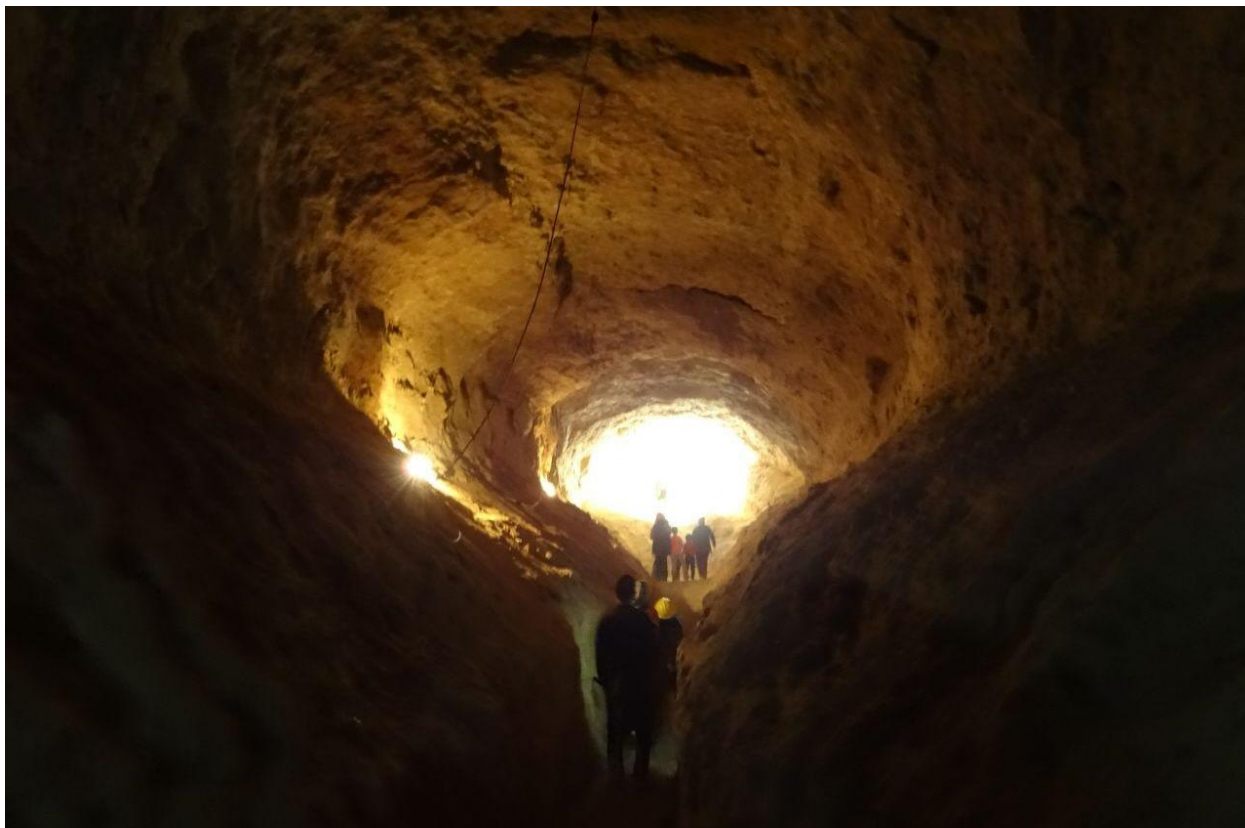
Název kanátu	Provincie	Poznámka
Qasabeh (Ghasabe)	Chorásán Razaví	Systém sestává z více než 400 šachet, přičemž hloubka hlavní šachty je 300 metrů.
Baladeh	Jižní Chorásán	Podmínil vznik a rozvoj města Ferdows a okolních vesnic závislé. Má 15 šachet a čtyři stálé studny.
Zarch	Jazd	Nejdelší kanát - má délku 100 km, jeho mateřská studna je 90 m hluboká a má více než 2 000 studničních šachet.
Hassan Abad-e Moshir (Hassanabad Moshir)	Jazd	Vznikl ve 14. století n. l. Má vysokou vydatnost při malé hloubce. Voda je vysoké kvality, bez solí a karbonátů.
Bam (Ghasem Abad & Akbar Abad)	Kermán	Dvě řady kanátů blízko sebe poskytují dostatek vody pro závlahu půdy mnoha vesnicím v Kermánu. Jsou relativně nové, jejich stáří je pouhých 100 let.
Moon	Isfahán	Asi 800 let starý kanát se dvěma odděleními zvodněmi ležícími nad sebou.
Vazvan (Wezwan)	Isfahán	Vazvanský kanát má délku 1800 m. Na jeho štolách jsou vybudovány tři podzemní hráze. Ojedinělým technickým prvkem je možnost uzavřít jeho výstupní šachtu v zimě, což umožňuje šetřit vodu pro jarní závlahy zemědělské půdy.
Mozd Abad (Mazdabad)	Isfahán	Druhý nejstarší kanát v Íránu.
Ebrahim Abad	Markazí	Kanát ze 12. století n. l. se obsahuje 311 šachet; mateřská studna je hluboká 53 metrů.
Gowhar-riz (Goharriz)	Kermán	Plně funkční kanát sestávající z 3 556 m kanálů zavlažuje více než 330 hektarů vyprahlé půdy v provincii Kermán.



Obr. 12. Schéma kanátů Quasabeh (Ghasabeh) v Gonabadu v provincii Chorásán Razaví na severovýchodě Íránu ([https://whc.unesco.org/en/list/1506/multiple=1&unique\\_number=2096](https://whc.unesco.org/en/list/1506/multiple=1&unique_number=2096)).

V souvislosti s probíhající klimatickou změnou dochází k poklesu ročních srážek a také k jejich akumulaci v kratším časovém období. Důsledkem je pokles hladiny podzemní vody a některé kanáty vysychají. Vliv klimatu je často zesílen intenzivním čerpáním vody z vrtů v jejich blízkosti. Počet funkčních kanátů tak v Íránu postupně klesal z 20 000 v roce 1988 na 18 000 v roce 2010 (Šrámek 2017).

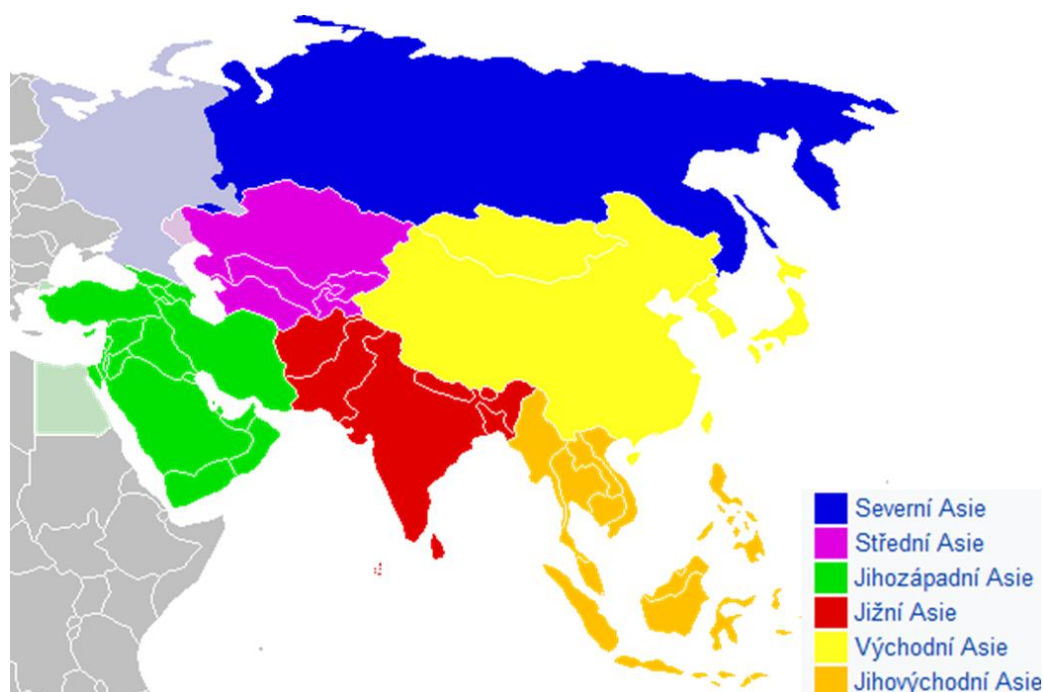
Kanáty jsou v Íránu budovány i v době moderní (Wulff 1968). Například English (1968) uvádí dva nové kanáty v obcích Javadieh a Hujatabad jižně od íránského Kermánu. Hujatabadský kanát je dlouhý jeden kilometr a s mateřskou studnou hlubokou 45 metrů se kvůli třem změnám majitele stavěl 27 let. Stavba kanátu Javadieh začala v roce 1941 a jeden tým kopáčů na něm pracoval denně po 17 let, než přivedl vodu na povrch. V roce 1958 se snížila vydatnost a práce pokračovaly až do dosažení délky 3 km. Kanát má na konci dvě větve s mateřskými studnami o hloubce 50 a 55 metrů. Většina tunelů musela být kvůli sypkému písku opatřena keramickým ostěním. Kapitálové náklady v cenových relacích v době výstavby činily 33.000 USD.



Obr. 13. Kanáty v Gonabadu jsou na seznamu světového dědictví UNESCO ([https://en.wikipedia.org/wiki/Qanats\\_of\\_Ghasabeh](https://en.wikipedia.org/wiki/Qanats_of_Ghasabeh)).



Obr. 14. Kamenná obezdívka kanátu Zibad v Gonabadu (<https://en.wikipedia.org/wiki/Gonabad>).



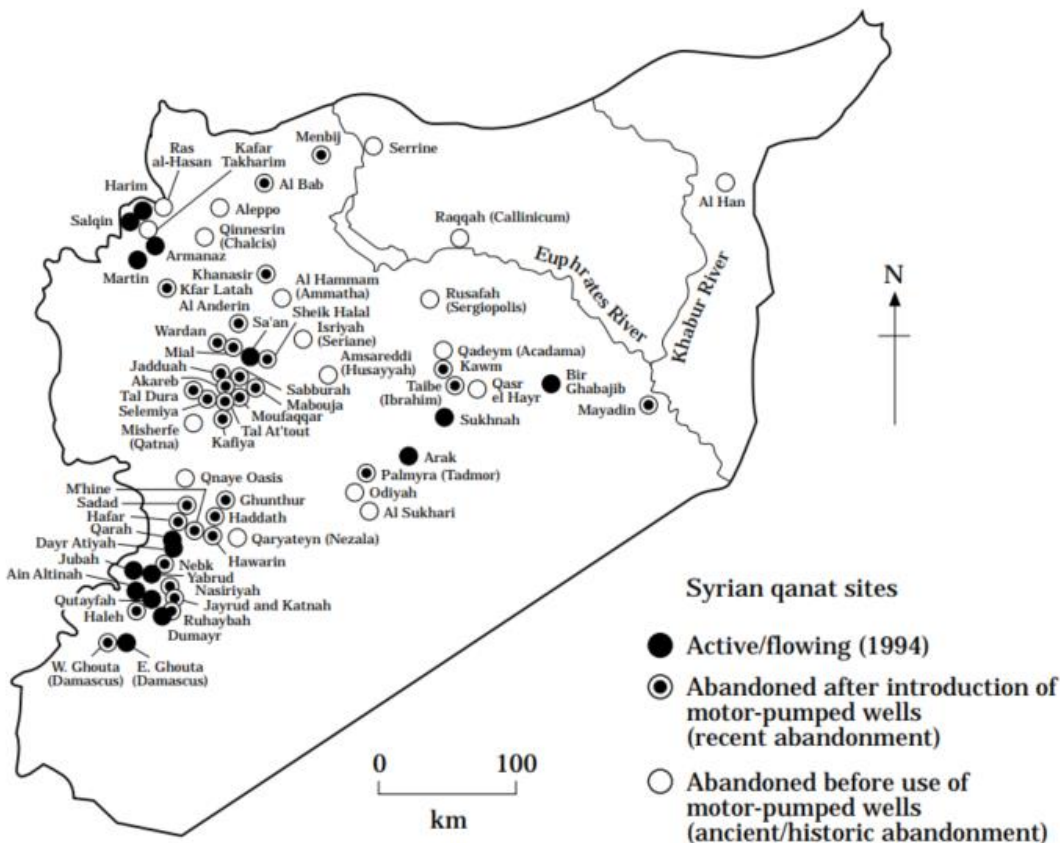
Obr. 15. Regiony Asie ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Asie#Regiony\\_a\\_st%C3%A1ty](https://cs.wikipedia.org/wiki/Asie#Regiony_a_st%C3%A1ty)).

V Jordánsku se podle Lightfoota (1997) dnes nazývají kanáty *římské kanály* nebo *qanat romani* (*kaneh romani*) v severní a *sarab* v jižní části země. Termín románský se zde běžně používá pro starobylé prvky a je nutno ho vykládat ve významu předislámský a nikoli nutně římský. Zavlažování kanáty bylo poprvé zavedeno v arménsko-perské oblasti asi 700-600 př. n. l. a teprve později se stalo součástí antické vědy a techniky. Archeologické nálezy ukazují, že kanáty byly budovány už v době perské nadvlády ve Svaté zemi (537-332 př. n. l.) a teprve později je začali používat Římané. Většina historických zavlažovacích systémů v Jordánsku nejspíše ale pochází z římské doby. Římané (64 př. n. l. až 330 n. l.) a jejich nástupci ve východořímské říši Byzantinci (330-630 n. l.) dali Jordánsku (a Sýrii) velké množství akvaduktů a studní; zdokonalili zavlažovací techniky v regionu a rozšířili obdělávanou půdu, a právě během římské nadvlády panovalo v Levantě období nepřekonatelné hojnosti. V severním Jordánsku ležící akvadukt Gadara (Qanat Fir'aun) je se svou délkou 94 km nejspíše nejdelším souvislým kanátem antického světa. Jeho výstavba započala pravděpodobně po návštěvě císaře Hadriána v letech 129-130 n. l. Částečně navazoval na průběh staršího helénistického akvaduktu, nebyl nikdy zcela kompletně dokončen a zprovozněn byl pouze v částech (<http://www.dekapolis-aquaedukt.de/de>).

Z Izraele uvádí Angelakis et al. (2017) řadu historických vodohospodářských systémů, včetně vodních štol sloužících k přivádění podzemní vody k lidským sídlům. Jde zejména o tzv. pramenné tunely (hebrejsky *niqba*), ražené ve starověku subhorizontálně ve vododajných vrstvách. Tato díla se odlišují od kanátů.

Arabská oblast je jednou z nejsušších oblastí světa a vyznačuje se nízkým množstvím srážek a velmi vysokými teplotami. Přesto je v těchto regionech od nepaměti běžné zemědělské hospodaření, a to díky staleté praxi budování podzemních vodních tunelů, které využívají vodonosné vrstvy v přilehlých horských oblastech a gravitačně přivádějí podzemní vodu na povrch v polosuchých a suchých údolích a rovinách (Lightfoot 2000).

V Sýrii jsou kanáty (*qanat romani*) římského a byzantského původu známy téměř z celého území. Převážná část je dnes opuštěna, především kvůli poklesu hladiny podzemní vody v důsledku rozsáhlé instalace čerpadel ve studnách (<https://www.cleanrivertrust.co.uk/qanat/>). Délka většiny ze zbývajících kanátů nepřesahuje 3-5 km. Podle Angelakise et al. (2017) existují v Sýrii tři hlavní typy kanátů: (1) pramenní, založené na studnách vyhloubených v pevných vápencových horninách v blízkosti horských oblastí na západě země, (2) infiltrační, ražené v aluviálních rovinách (hlavně suché centrální a východní regiony) a (3) říční, v náplavech hlavních řek (např. Eufrat a Baradá).



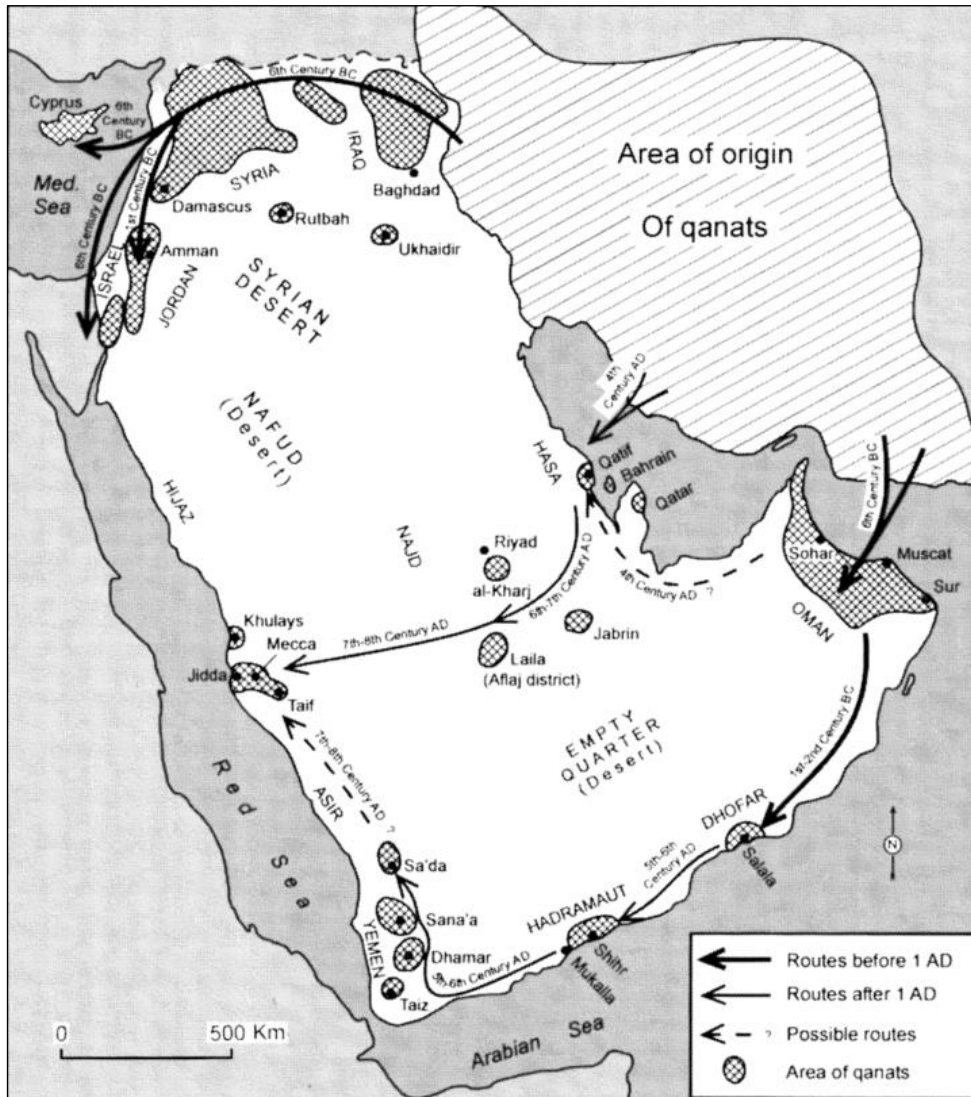
Obr. 16. Kanáty v Sýrii (Lightfoot 1996).

V Ománu byly zavlažovací systémy (*falaj*, pl. *aflaj*) na principu kanátů budovány již v době železné. Jsou známy tři typy *falajů*: *daudi* (*dawoodi*) s podzemními akvadukty, *ghaili* vyžadující hráz ke shromažďování vody a *aini*, jejichž zdrojem je vodní pramen (Al-Ghafri et al. 2003). Podle UNESCO se v Ománu dodnes používá asi 3 000 *falajů*. Od roku 2006 jsou *Zavlažovací systémy Aflaj* zapsány na seznamu světového dědictví UNESCO. Jde o pět závlahových systémů ležících na několika místech Ománu ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Zavla%C5%BEovac%C3%AD\\_syst%C3%A9my\\_Aflaj](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zavla%C5%BEovac%C3%AD_syst%C3%A9my_Aflaj)). Ve čtyřech případech jde o podzemní akvadukty *daudi* a v jednom o typ *aini*. *Falaje* Daris a Al-Khatmeen s vydatností přes 2 000 vteřinových litrů jsou nejdůležitějšími kanáty v Ománu (Angelakis et al. 2017).

Ve Spojených arabských emirátech jsou v oblastech Al Ain, Bidaa Bint Saud a Al Madam známy systémy *falaj*, jejichž stáří sahá pravděpodobně až do doby železné. Angelakis et al. (2017) uvádí ze SAE 40 dokumentovaných kanátů o délce 0,5 až 10 km, z toho pouze 8 funkčních. Podobně jako v Ománu jsou podle geografické polohy, geologického prostředí a zdroje vody rozlišovány (1) *falaje* dotované srážkovou vodou, se značně proměnlivou vydatností v závislosti na intenzitě srážek a s vodou dobré kvality (*Al Gheli*), (2) *falaje* s vodou z mělkých zvodní a celoročně stálým

průtokem (*Al Daudi*) a (3) *falaje* napájené z pramenů nebo hlubokých artézskými zvodní ve vápencích nebo ofiolitech (*Al Hadouri, Al Aini*).

Další kanáty na Arabském poloostrově jsou soustředěny ve dvou hlavních zónách. Jedna prochází napříč poloostrovem, druhá podél jeho jižního pobřeží (Obr. 17). I zde jsou dnes kanáty nahrazovány hlubokými studnami s čerpadly (Obr. 18).



Obr. 17. Kanáty na Arabském poloostrově (Lightfoot 2000).





Obr. 18. Čerpání vody z hlubokých studní pro kruhové závlahové systémy vede k destrukci starobylých kanátů (okolí města Layla, centrální část Arabského poloostrova).

V iráckém Kurdistánu bylo v roce 2009 aktivních už jen 116 systémů *karez* z celkových 683. Hlavními důvody zániku těchto děl byla nedostatečná údržba, nadměrné čerpání ze studní umístěných ve zdrojové oblasti a sucho. Nedostatek vody údajně od roku 2005 donutil opustit domovy více než 100 000 lidí závislých na zásobování vodou z kanátů (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>). Podle studie OSN má jeden *karez* potenciál poskytnout dostatek vody pro téměř 9 000 osob a zavlažit přes 200 hektarů zemědělské půdy (Lightfoot 2009). Většina *karezů* se nachází v gubernorátech Sulejmánie (84 %) a Erbil (13 %).

V Arménii se kanáty zachovaly např. v obci Švanidzor v jižní provincii Sjunik, která hraničí s Íránem. Kanáty se v arménštině nazývají *karezy* (*kahrezy*). Ve Švanidzoru je 5 *karezů*. Čtyři z nich byly postaveny ve 12. - 14. století, pátý pochází z roku 2005. V létě dosahuje množství vody svého minima, čímž vzniká kritická situace ve vodovodní síti. Přesto jsou *karezy* hlavním zdrojem pitné vody a vody pro zavlažování obce (<https://en.wikipedia.org/wiki/Shvanidzor>).

Na území Ázerbájdžánu se před mnoha staletími nacházely četné *karízy*. Archeologické nálezy naznačují, že již dlouho před 9. stoletím těmito systémy obyvatelé přiváděli pitnou a závlahovou vodu do svých sídel. Tradičně *karízy* ručně stavěla a udržovala skupina zedníků zvaných *kankáni*. Toto povolání se předávalo z otce na syna. Odhaduje se, že až do 20. století existovalo v Ázerbájdžánu téměř 1 500 *karízů*, z toho až 400 v Nachičevanské autonomní republice. Po zavedení studní s motorovými čerpadly v sovětských dobách byly zanedbány. Přesto jich stále

funguje kolem 800 a stále jsou klíčové pro život mnoha obcí (<https://en.wikipedia.org/wiki/Qanat>).

### 3.2 Střední Asie

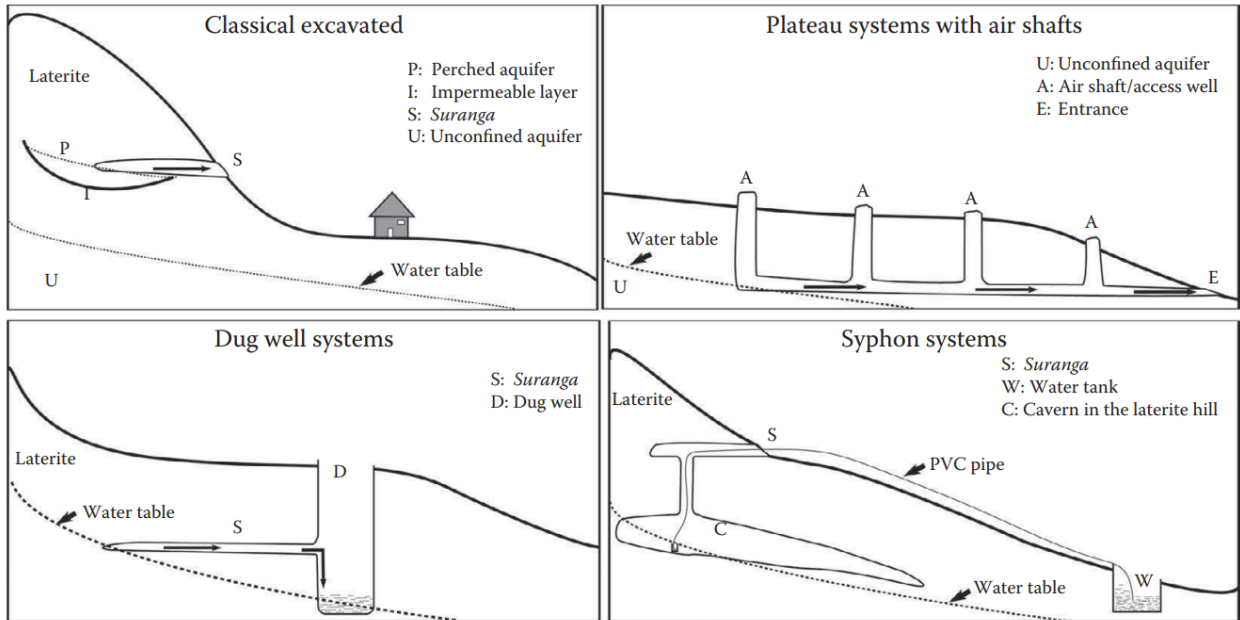
Klíčovou roli ve vývoji světové civilizace v období let 200 př. n. l. až 1 600 n. l. hrály osady podél Velké hedvábné stezky. Tato obchodní trasa spojující pobřeží Východočínského moře s Evropou procházela severní Turfanskou kotlinou, pohořím Pamír v údolí Fergana a východním Turkmenistánem. V pouštních a suchých oblastech bez povrchových vodních toků byly jediným způsobem zásobování vodou podzemní vodovodní systémy. Dnes představují kanátové vodohospodářské systémy ojedinělé kulturní památky, jejichž historie sahá až do starověku (Guliyev 2014). Podle Angelakise et al. (2017) je z jižního Kazachstánu známo 200, z Turkmenistánu 235 a z Uzbekistánu více než 1 000 *karízů*.

### 3.3 Jižní Asie

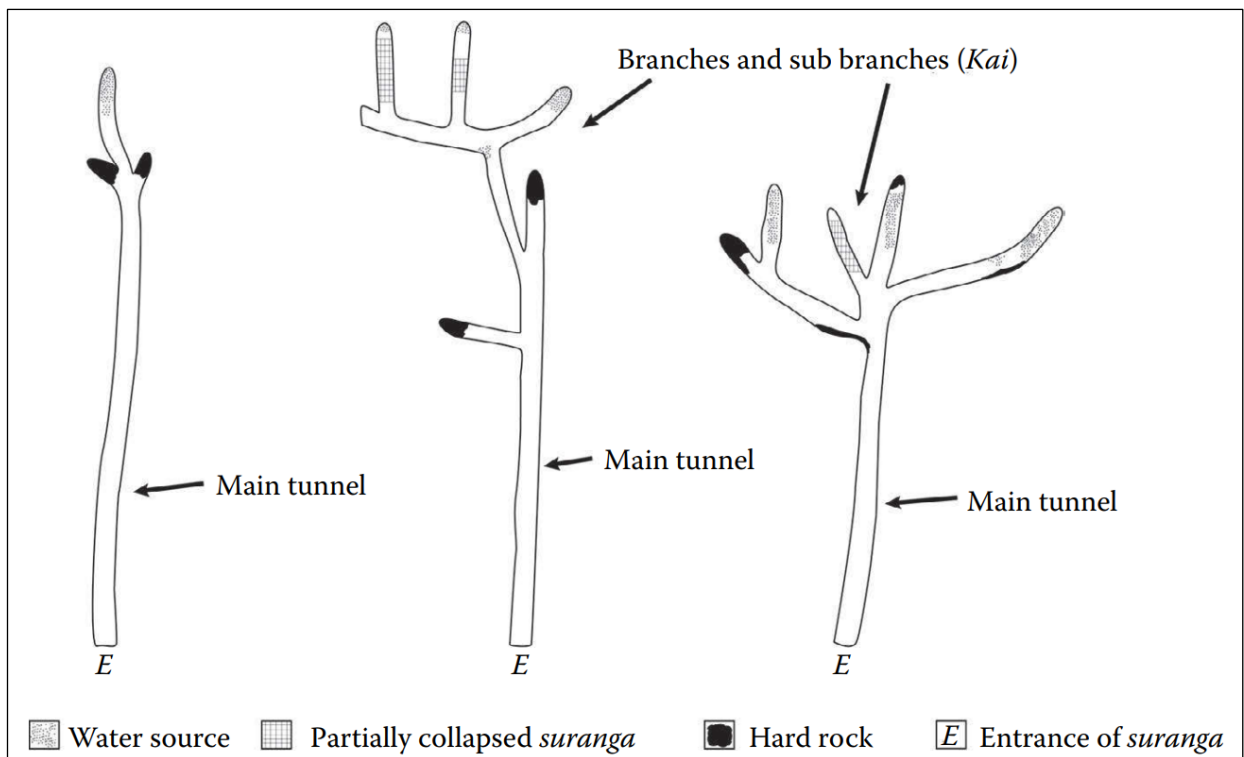
V Afghánistánu se kanáty (v paštunštině *karez/karíz*) používají již od předislámského období. Odhaduje se, že v polovině 20. století se používalo více než 20 000 těchto vodohospodářských děl. Většina z nich je kratší než 5 km, délka ale může dosahovat až 16 km. Nejstarší funkční *karíz* v provincii Wardak je starý více než 300 let. Je dlouhý 8 km a stále zásobuje vodou téměř 3 000 obyvatel. Válečné události v posledních desetiletí řadu těchto starobylých staveb zničila. Pro složitější údržbu se přechází na vrtané a kopané studny vybavené diesellovými čerpadly (Tamuri 2007, <https://en.wikipedia.org/>, Angelakis et al. 2017).

V Pákistánu jsou *karezy* stále významným zdrojem vody pro zavlažování ve vyprahlé náhorní plošině Balúčistán. Předpokládá se, že zde do roku 1970 bylo v provozu asi 3 000 těchto systémů, které zajišťovaly vodu pro lidská sídla a zavlažování zemědělské půdy. S dostupnou elektrickou energií a technologií vrtaných studní začaly upadat a nyní jich je funkční méně než třetina (Angelakis et al. 2017).

V jihozápadní Indii na úpatí Západního Ghátu byly k zásobování podzemní vodou budovány systémy podobné kanátům, které jsou nazývány *suranga* (<https://en.wikipedia.org/wiki/Suranga>). Angelakis et al. (2017) uvádí čtyři hlavní typy *surang* (Obr. 19): (1) klasické, kopané ve svahu (*classical excavated*), (2) vodní tunely s větracími šachtami, nejvíce podobné perským kanátům (*plateau systems with air shafts*), (3) systémy kopaných studní napájených vodními štolami (*dug well systems*) a (4) sifonové systémy (*syphon systems*). Ke zvýšení vydatnosti se vodní štoly na konci zpravidla větví do tzv. *kai* („prstů“, Obr. 20). Kanátový systém mezi vesnicemi Naubad a Kolar v Bidaru (stát Karnátaka) o délce asi 2 km měl původně 21 vertikálních šachet s pravouhlým profilem, z nichž se zachovala jenom část. Nedaleko odtud byly objeveny pozůstatky královské lázně Bagh-e-Hammam pravděpodobně z období sultanátu Bahmani (14.-16. stol.). Stavba má tři patra o výšce kolem 2 m. Lázně byly napájeny vodou z kanátů pomocí terakotového potrubí (Raghubans 2015).



Obr. 19. Základní typy indických surang (Angelakis et al. 2017). Vysvětlivky v textu.



Obr. 20. Větvení surang do kai (= prstů; Angelakis et al. 2017).



Obr. 21. Karez v Bidaru, Karnataka, Indie (<https://www.deccanheritagefoundation.uk/project/rehabilitation-of-qanat-karez-at-bidar>).

### 3.4 Východní Asie

Oáza Turfan (Turpan) v pouštích Ujgurské autonomní oblasti Sin-ťiang (Xinjiang) v severozápadní Číně využívá vodu poskytovanou kanáty (místně nazývaným *karez*). V Turfanské proláclině je na tisíc těchto systémů o celkové délce asi 5 000 kilometrů (Angelakis et al. 2017). Turfan byl důležitým obchodním centrem podél severní větve Hedvábné stezky. Na jihozápadě v minulosti sousedil s královstvími Korla a Karašar (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>). Nejstarší *karez* je doložen z období dynastie Chan (206 př. n. l. - 220 n. l.) v historickém díle Zápisky historika (93-91 př. n. l.). Většina nynějších systémů byla vybudována za Říše středu (Říše Čching) od 17. století. Velké úseky úrodné půdy jsou zavlažovány *karezy* i dnes. *Karezy* Wudaolin a Wuxing jsou zpřístupněny pro návštěvníky (<http://www.chinatoday.com.cn/English/chinatours/turpan.htm>).



Obr. 22. Karez u města Turfan, Sin-ťiang, Čína (<https://czwiki.cz/Lexikon/Kan%C3%A1t>).

V Japonsku je známo několik desítek staveb podobných kanátům, zejména v prefekturách Mie a Gifu. Místní název pro tato zařízení je *mambo* (*manbo*). Angelakis et al. (2017) uvádí z Japonska příklady akvaduktů ze 17. - 19. století. Jde v podstatě o podzemní přivaděče vody z říčních toků, které se kanátům blíží pouze vzdáleně.

### 3.5 Severní Afrika

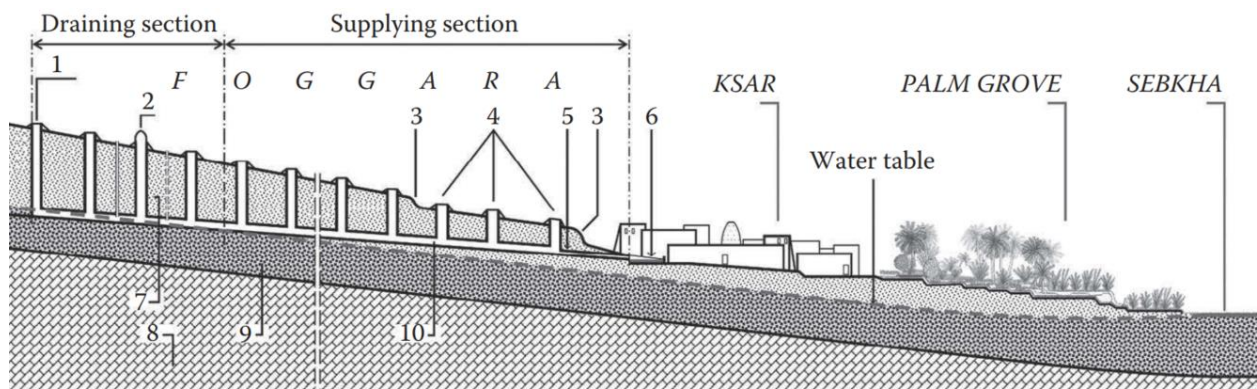
V Egyptě, resp. v egyptské poušti, jsou čtyři hlavní oázy. V jedné z nich, oáze Charga (Kharga) byly podrobněji studovány závlahové systémy využívající podzemní vodu na principu kanátů. Tyto systémy existovaly nejspíše již ve druhé polovině 5. století př. n. l., kdy bylo území obsazeno Peršany. Kanáty byly raženy vodonosnými pískovci a jímaly vodu, která byla zachycena v malých přehradách pod vyústěním. Šířka štol je přibližně 60 cm a výška se pohybuje od 5 do 9 metrů. Je zde pravděpodobné, že štoly byly prohlubovány s poklesem hladiny. Voda se používala zejména k zavlažování polí (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>).

V Libyi bylo používání kanátových systémů rozšířeno hlavně v odlehlých pouštních ve střední a jižní části země. Udržitelnost oáz s lidskými sídly byla přímo závislá na fosilní podzemní vodě (Angelakis et al. 2017). *Foggary* jsou uváděny například z oblasti Garamantes poblíž Džermy (Germa, Jarma). Vodní štoly jsou necelých 60 cm široké a cca 1,5 m vysoké, jejich délka dosahuje až několika kilometrů. Celý podzemní systém zahrnuje asi 600 kanátů o souhrnné délce několika stovek kilometrů. Kanály byly vykopány a udržovány pomocí řady vertikálních

šachet, pravidelně rozmístěných zhruba 10 m od sebe (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>).

Také v Tunisku vytvořený vodohospodářský systém *foggara*, využívaný k vytváření oáz, je obdobou iránského kanátu. *Foggary* byly raženy na úpatích strmějších pohoří, např. východních hřebenů Atlasu. Dešťové srážky v horách vstupují do zvodnělé vrstvy a postupují směrem k saharské oblasti na jihu. *Foggary* o délce 1 až 3 km pronikají do zvodně a sbírají vodu. Rodiny udržují *foggary* a vlastní půdu, kterou voda zavlažuje (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>).

Obdobně v Alžírsku jsou *foggary* zdrojem vody pro zavlažování oáz. Délka *foggar* se zde odhaduje na tisíce kilometrů. *Foggary* mohly být využívány již v roce 200 n. l., spolehlivě jsou dokázány až od 11. století poté, co se sem rozšířil islám. Ke zvýšení vydatnosti *foggar* je využíván princip kondenzace vlhkosti. Teplotní gradient ve vertikálních šachtách způsobuje, že vzduch stoupá přirozenou konvekcí, což způsobuje nasávání vlhkého vzduchu ze zemědělské oblasti do štoly a jeho proudění proti odtoku vody. Ve štoli se na stěnách sráží vlhkost a vzduch stoupá ven z vertikálních šachet. Kondenzovaná voda stéká a doplňuje vodu ve štoli. Jde tedy o opačný princip než je u perských větrných věží (<https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>).



Obr. 23. Oáza zavlažovaná *foggarou*: (1) hlavní šachta, (2) měřicí šachta, (3) sráz, (4) šachty, (5) *aghussru* (výtoková část), (6) *kesria* (nádrž s přetokem vody do jednotlivých kanálů), (7) propustná vrstva, (8) nepropustná vrstva, (9) vodonosný horizont, (10) vodní štola. *Ksar* = město (Dahmen 2015).

V jižním Maroku se kanáty nazývají *khattara*. Izolované oázy v údolí řeky Dra (Draa) a Tafilalet při okraji Saharské pouště jsou od konce 14. století závislé na vodě z kanátů. V Marrákeši a na planině Haouz byly kanáty opouštěny od počátku 70. let 20. století, protože postupně vyschly. V oblasti Tafilaletu se stále používá polovina ze 400 *khattar* (Lightfoot 1996).

### 3.6 Latinská Amerika

V Mexiku jsou z území mezi městy Tepeaca a Acatzingo de Hidalgo (stát Puebla) dokumentovány četné vodní štoly zvané *galerías filtrantes*, o nichž se obecně předpokládá, že byly vybudovány v období mezi 16. a první polovinou 20. století (Angelakis et al. 2017).

V Jižní Americe (Peru, severní Chile) se vodohospodářská díla podobná kanátům nazývají *puquios*. Příkladem je akvadukt Cantalloc (také Cantayo) kultury Nazca v dnešním Peru, který zásoboval vodou město a sloužil k zavlažování zemědělských pozemků v jinak vyprahlé oblasti. Jeho stáří se odhaduje na 1 500 – 2 000 let. Objeven byl v r. 1605 a první záznam o jeho existenci pochází od španělského kronikáře Reginalda de Lizzaragy. Pro vybudování podzemního vodního přivaděče z 12 km vzdálené hory Cerro Blanco byly nejprve vyhloubeny 20–50 m vzdálené šachtice, dokud se nenarazilo na zvodnělý horizont. Těchto šachtic, nazývaných *ojos de agua* („vodní oči“), je více než 30, jsou 4–5 m hluboké a na jejich dno se schází po spirálovém chodníku. Sloužily zároveň jako inspekční a údržbová místa. Jsou propojeny štolou, která je dosud funkční a je natolik vysoká, aby byla průchozí pro člověka (Veselský 2018).



Obr. 24. Území Středních And s vyznačením oblastí se systémy puquios (Angelakis et al. 2017).



Obr. 25. Cantalloc, Peru. Kontrolní šachtice (ojos de aqua) na Cerro Blanco v horní části systému (<https://en.wikipedia.org/wiki/Puquios>).



Obr. 26. Cantalloc, Peru. Detail kontrolní šachtice (ojo de aqua) na Cerro Blanco ([https://en.wikipedia.org/wiki/Cantalloc\\_Aqueducts](https://en.wikipedia.org/wiki/Cantalloc_Aqueducts)).

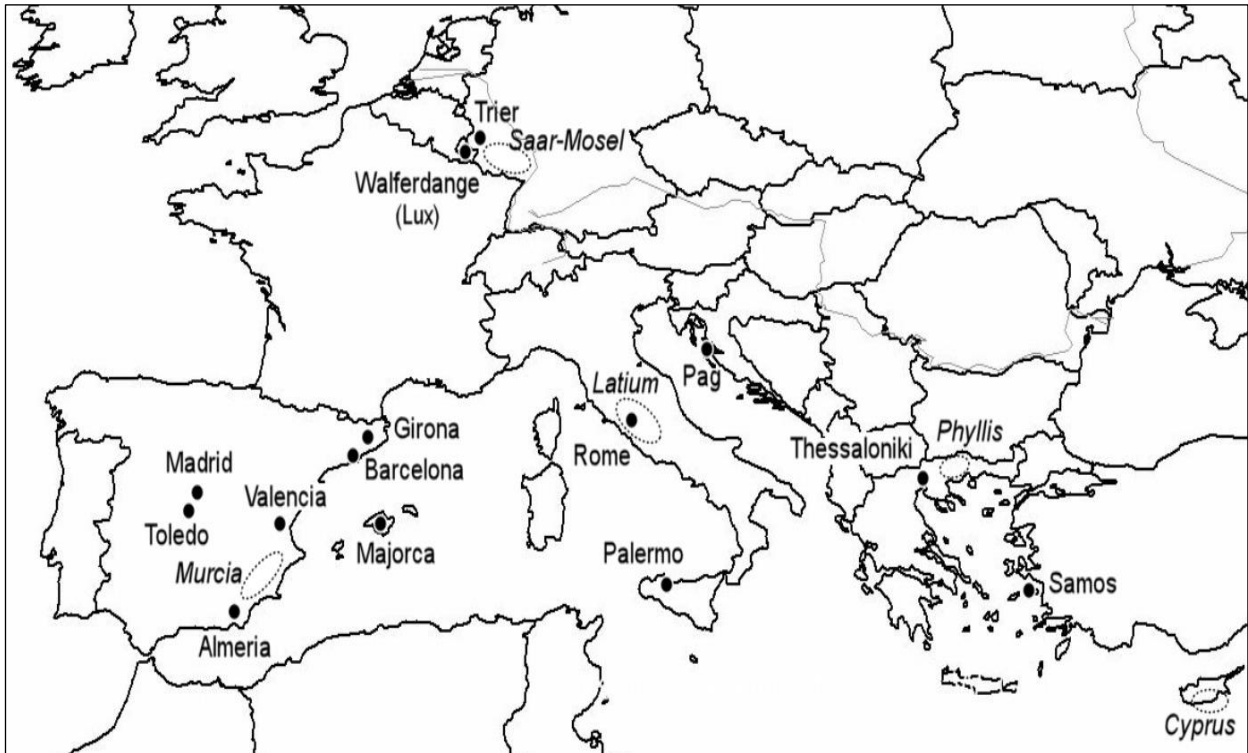




Obr. 27. Cantaloc, Peru. Vyústění vodní štoly do zavlažovacího kanálu (Foto Davide Mauro, <https://en.wikipedia.org/wiki/Puquios>).

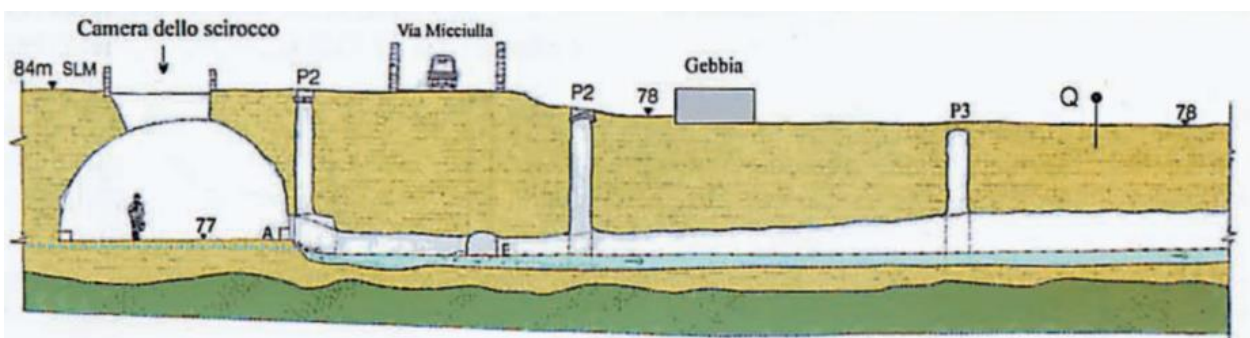
### 3.7 Evropa

Arabský vliv na antickou architekturu je sice nesporný, avšak souvislost římských podzemních akvaduktů s perskými kanáty není jednoznačně doložena (Angelakis et al. 2017). Obzvláště problematická je paralelizace těchto staveb v regionech mimo jižní Středomoří. V případě antického Řecka např. Wilson (2008) uvádí, že technika šachet a vodních štol se uplatnila dříve než v období Achaimenovské říše v Persii (538/532 až 332 př. n. l.), kterému je připisován rozvoj a rozšíření kanátů na Předním východě.



Obr. 28. Rozšíření kanátových systémů v Evropě podle Weingartnera (2007).

V Itálii je nejznámější tzv. Claudiův tunel vyražený v délce 5 653 m k odvádění vody z největšího italského vnitrozemského jezera Fucine. Vodní tunel byl postaven technikou obdobnou stavbě kanátů se šachtami hlubokými až 122 m. Na Sicílii bylo celé starobylé město Palermo vybaveno rozsáhlým vodohospodářským systémem založeným na existenci kanátů vybudovaných během arabského období 827–1072 (Lofrano et al. 2013). Mnoho chodeb je nyní zmapováno a některé lze navštívit. Slavná „cámara di scirocco“ (scirocco = vlahý jihovýchodní vítr) ve vile Savagnore má klimatizační systém na bázi větrné věže (Todaro et al. 2006).

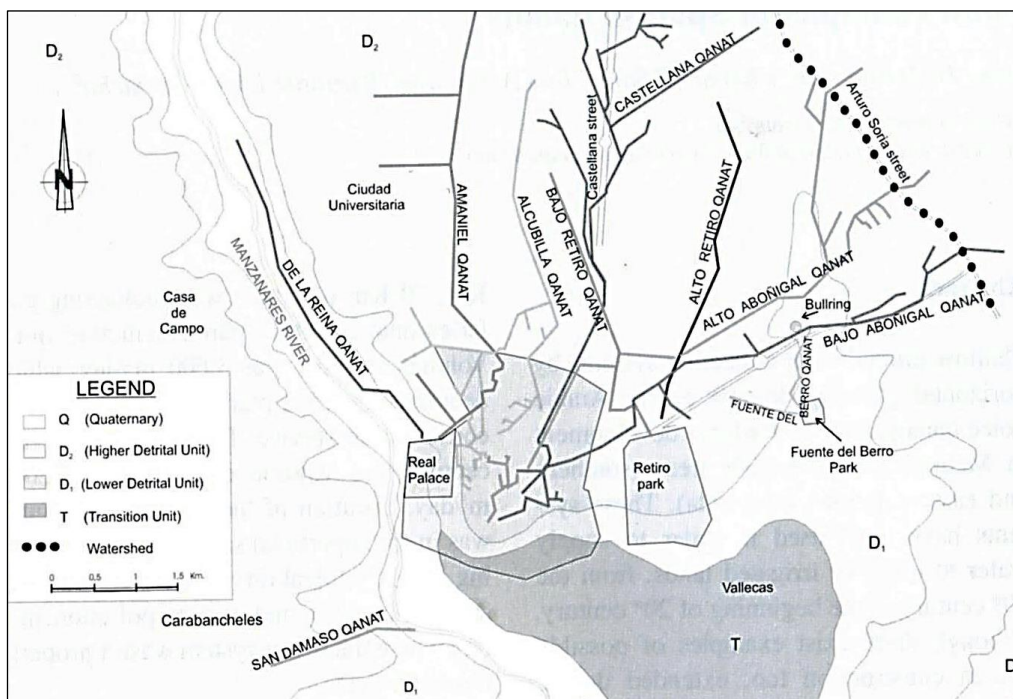


Obr. 29. Řez kanátem Uscibene v Palermu s větrnou místností pod vilou Savagnore (Todaro et al. 2006).



Obr. 30. Kanáty na Sicílii. Vlevo Canalotto v centrální Sicílii (<https://czwiki.cz/Lexikon/Kan%C3%A1t>). Vpravo Gesuittico Basso v Palermu (<https://www.atlasobscura.com/places/qanat-di-palermo>).

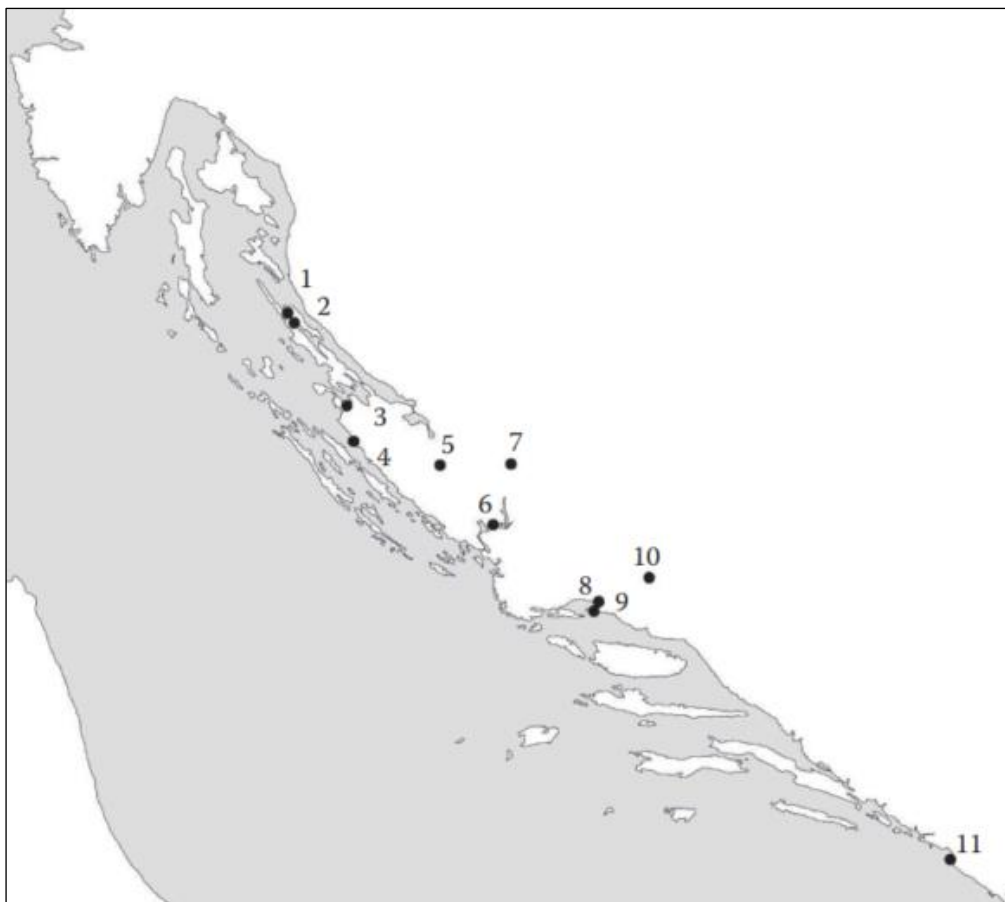
Ve Španělsku je známo mnoho příkladů systémů galerií, které do oblasti s největší pravděpodobností přinesli Maurové během jejich vlády na Pyrenejském poloostrově. Webové stránky [www.cleanriverstrust.co.uk](http://www.cleanriverstrust.co.uk) uvádějí takovéto systémy ze severních svahů pohoří Sierra de Alhamilla v Andalusii a z Granady.



Obr. 31. Kanáty v Madridu (Schram 2013).

V Řecku byla důvodem k výstavbě dlouhých akvaduktů dvě období sucha na konci 8. a ve 4. století př. n. l. Akvadukty se budovaly buď jako povrchově vyhloubené kanály zakryté kamennými deskami (např. Peisistrata, Acharnia) nebo pomocí šachet a štol (Aegina, Megara). Zatímco povrchové stavby neodolaly zubu času, podzemní systémy si zachovaly funkčnost po staletí (Angelakis et al. 2017). Jednou z neznámějších staveb tohoto typu je tzv. Eupalinův akvadukt. Eupalinův akvadukt je vodní štola o délce 1 036 m procházející horou Kastro na ostrově Samos v Řecku. Byl vyražen na objednávku Polykrata kolem roku 550 př. n. l. k zásobování vodou města Pythagorion. Hlavním účelem bylo vést vodu z vydaného pramene u obce Ayiades, na obou koncích však byly vyraženy krátké boční štoly k jímání podzemní vody, které připomínají kanáty ([https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel\\_of\\_Eupalinos](https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_of_Eupalinos)).

V Chorvatsku, resp. na celém území bývalé římské provincie Dalmácie, existovaly akvadukty téměř ve všech městských centrech. Většina z nich pochází z prvního století n. l. a mají standardní charakteristiky - volnou výšku v chodbách, dobrou ventilaci a šachty pro kontrolu a čištění. Technické řešení vždy upřednostňovalo kvalitu vody, a proto se značná část tehdejších pramenů využívá dodnes (Angelakis et al. 2017).



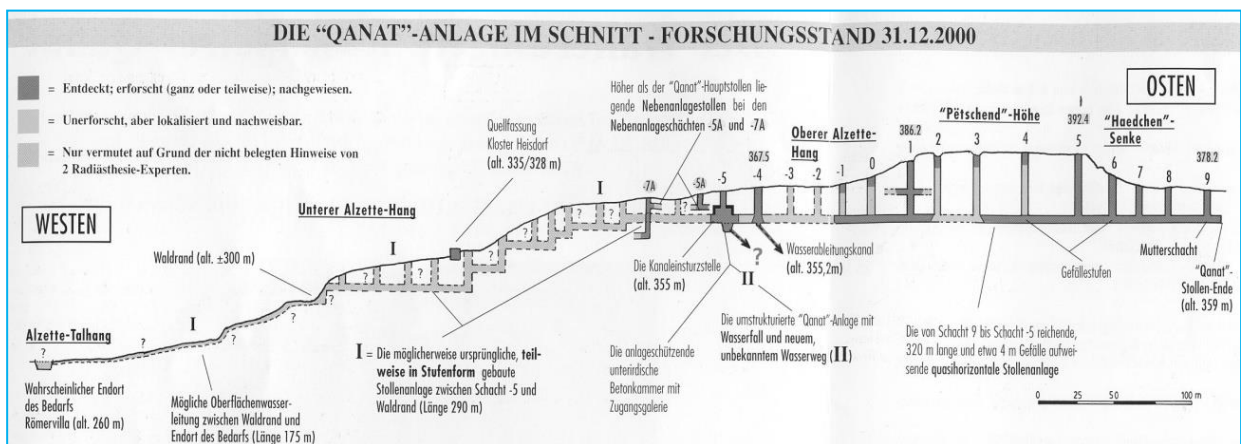
Obr. 32. Římské akvadukty v Dalmácii: (1) Navalía a (2) Cissa (ostrov Pag), (3) Aenona a (4) Jader u Zadaru, (5) Asseria východně od Benkovače, (6) Scardona u Šibeniku, (7) Burnum (římský vojenský tábor na řece Krka), (8) Salona, (9) Diokleciánův palác ve Splitu, (10) Tilurium (Gadun), (11) Epidaurum u Dubrovníku (Angelakis et al. 2017).

V Německu je známa řada římských podzemních akvaduktů (Angelakis et al. 2017). Jsou to například Eifelský akvadukt k zásobování vodou Colonie (dnešní Kolín nad Rýnem), akvadukt Mogontiacum (Mohuč), vodní štola v Drove (Heiliger Pütz, Severní Porýní-Vestfálsko) a

podzemní akvadukt v údolí řeky Ruwer u Waldrachu, který sloužil k zásobování římské Colonie Augusta Treverorum (nynější Trevír). V okolí Trevíru uvádí Kremer (2003) 18 kanátových systémů a dále dva akvadukty v oblasti Mosely (Mehring, Pölich) a vodní štoly u Brey (Koblenz), Retterichu (Mayen) a Miesenheimu (Mayen). V roce 2005 byl objeven podzemní akvadukt v Alt-Inden (Düren) v Porýní (později zlikvidován při povrchové těžbě uhlí). Spektrum stavebních typů se pohybuje od podzemních tunelů (některé z nich jsou srovnatelné s kanáty) až po kryté vodní kanály, budované pomocí kamenných desek těsně pod povrchem země. Části těchto akvaduktů jsou přístupné veřejnosti ([www.romanaqueducts.info/index.html](http://www.romanaqueducts.info/index.html)).

V souvislosti s výzkumem vodosběrných štol v česko-bavorském pomezí uvedl Klaubert (1967) informace o podobných strukturách v Bavorsku. V Bayreuth-Saas byl 940 metrů dlouhý kanát o hloubce asi 40 metrů s hlavním a vedlejším tunelem stále používán jako součást městské vodárny. Kanát byl postaven horníky v letech 1847 až 1859. V Neunkirchen poblíž Weidenu to je asi 80 m dlouhý kanát, který historici mylně vysvětlovali jako únikovou chodbu z období středověku. Zajímavý objev byl učiněn i v povodí řeky Scherkonde jižně od Výmaru v Durynsku - velmi starý, částečně rozpadlý, vodní tunel o délce 130 metrů.

V jižním Lucembursku je zvláště dobře zachovaným příkladem římského vodohospodářského díla Raschpëtzer u městečka Walferdange (<https://lb.wikipedia.org/wiki/Raschp%C3%ABtzer>). Podle Angelakise et al. (2017) zcela neodpovídá definici kanátu, a to hlavně pro neexistenci tzv. hlavní studny (voda je zachycována po celém průběhu zvodněnými pískovci). Každopádně jde o dosud nejrozsáhlejší zdokumentovaný systém svého druhu severně od Alp. Z celkové délky tunelu 600 m je přibližně 330 m průchozích, dokumentováno bylo 20 až 25 šachet. Předpokládá se, že systém poskytoval vodu pro velkou římskou vilu na svahu údolí Alzette. Byl postaven v době galsko-římské, pravděpodobně kolem roku 150 a fungoval asi 120 let.

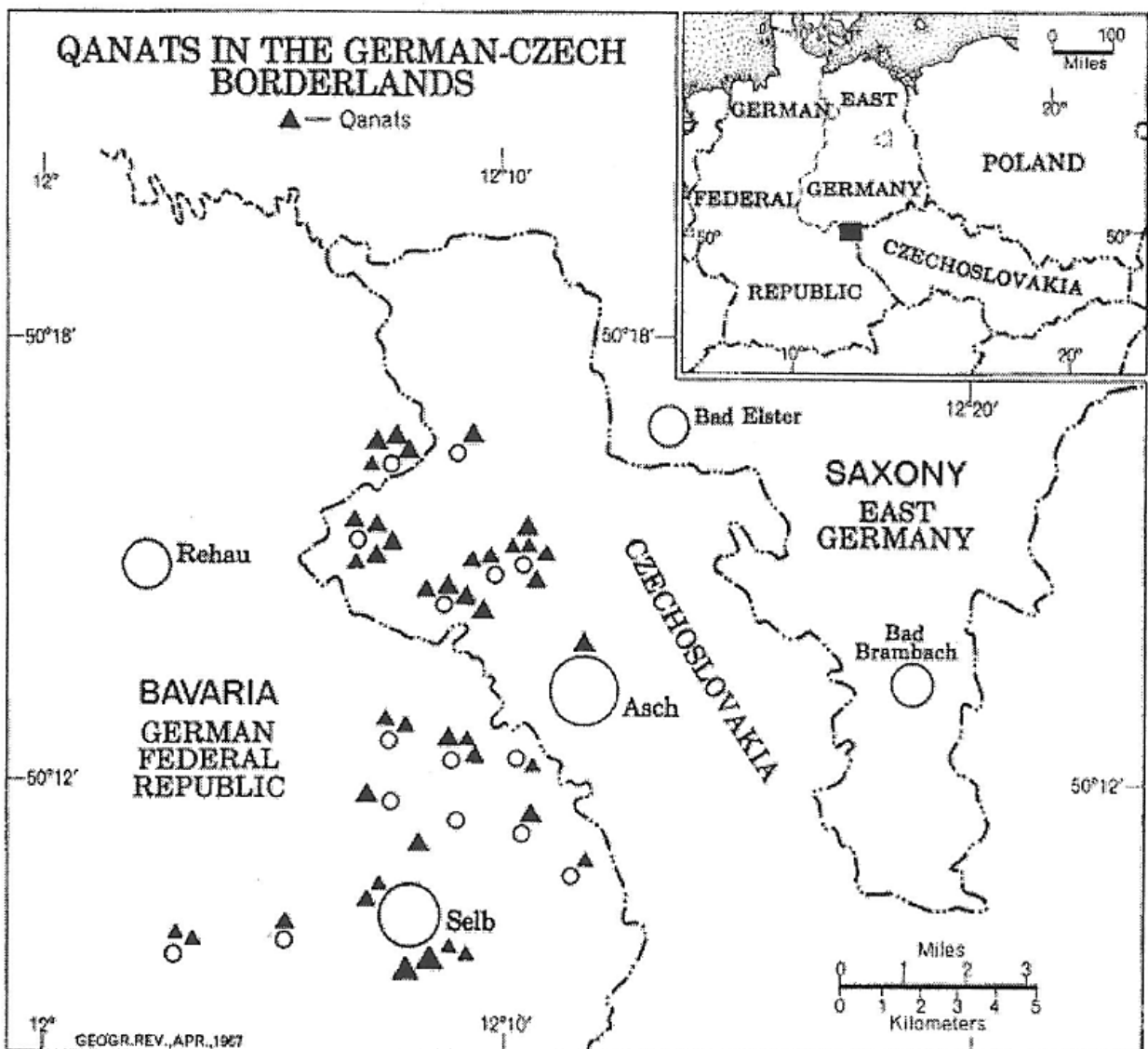


Obr. 33. Kanát Raschpëtzer u městečka Walferdange (Schram 2013).

#### 4 Kanáty v česko-bavorském pomezí

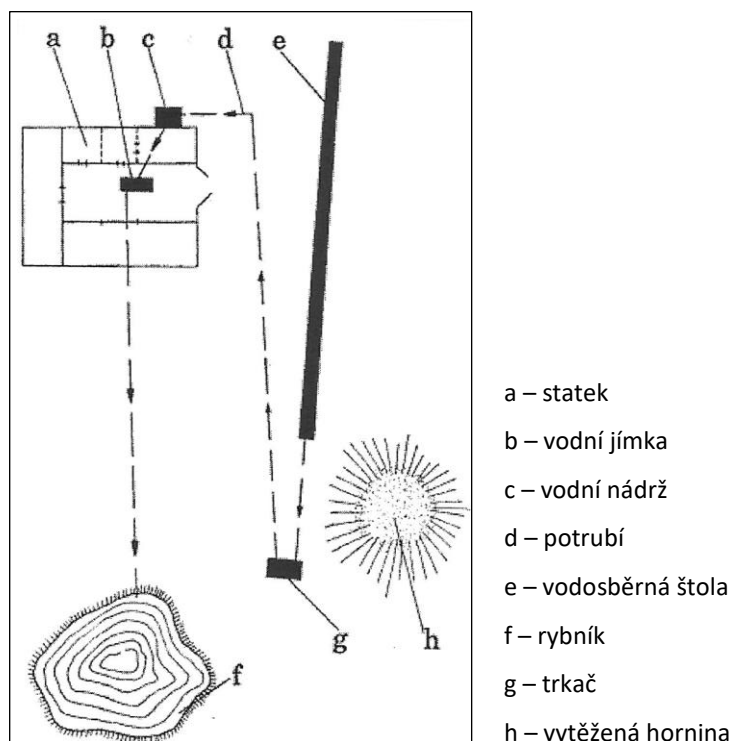
Hlavním zdrojem podzemní vody jsou kopané nebo vrtané studny, které jsou napájeny z vodonosných horninových horizontů. V ašském výběžku a přilehlých oblastech Bavorska a Saska však existuje také množství horizontálních jímacích štol, které jsou vybudovány na obdobném principu jako perské kanáty. Jim je věnována dosud jediná publikovaná souhrnná práce ašského rodáka Helmuta Klauberta z roku 1967, z níž je většina informací uvedených v této kapitole přejata. Novější dokumentaci vodních štol v Selbu a jeho okolí zpracovali Heinrich a Arzberger (2009).

Na existenci těchto podzemních staveb se přišlo náhodou v roce 1964, kdy při stavbě nové porcelánky Rosenthal v Selbu došlo k propadu těžké techniky do neznámé podzemní prostory. Následně byl objeven celý systém vodních štol, dlouho zapomenutých a v některých případech překvapivě stále používaných. K historii budování a využívání těchto děl v regionu bylo dosud získáno jen málo listinných dokladů. Je pravděpodobné, že k ražbě štol mohly být využity znalosti horníků z okolních důlních revírů. Hlubinný způsob dobývání rud je v regionu doložen od 14. století.



Obr. 34. Výskyty kanátů v česko-bavorském pomezí podle Klauberta (1967).

V 60. letech minulého století zdokumentoval Klaubert (1967) asi tisíc metrů vodosběrných štol na východě Smrčin a v Halštrovských horách (Obr. 34). Jejich průměrná nadmořská výška je zde asi 650 m. Štoly označované jako kanáty jsou vyraženy v různých horninách, v granitech, kvarcitech, rulách, svorech, fylitech i bazaltech. Stejně jako ostatní kanáty mají úsek na sběr vody („well room“; Lightfood, osobní sdělení 2018), a úsek na její vedení („spring water tunnel“; Lightfood, osobní sdělení 2018). Voda je obvykle svedena do nádrže, odkud je odebírána do domu nebo do stáje. Zbytek jde přepadem do jímky a dále do rybníka. Autor uvádí tento způsob jímání vody ve vesnicích Plössberg, Spielberg, Fassmannsreuth, Mühlbach, Reichenbach a Wildenau.

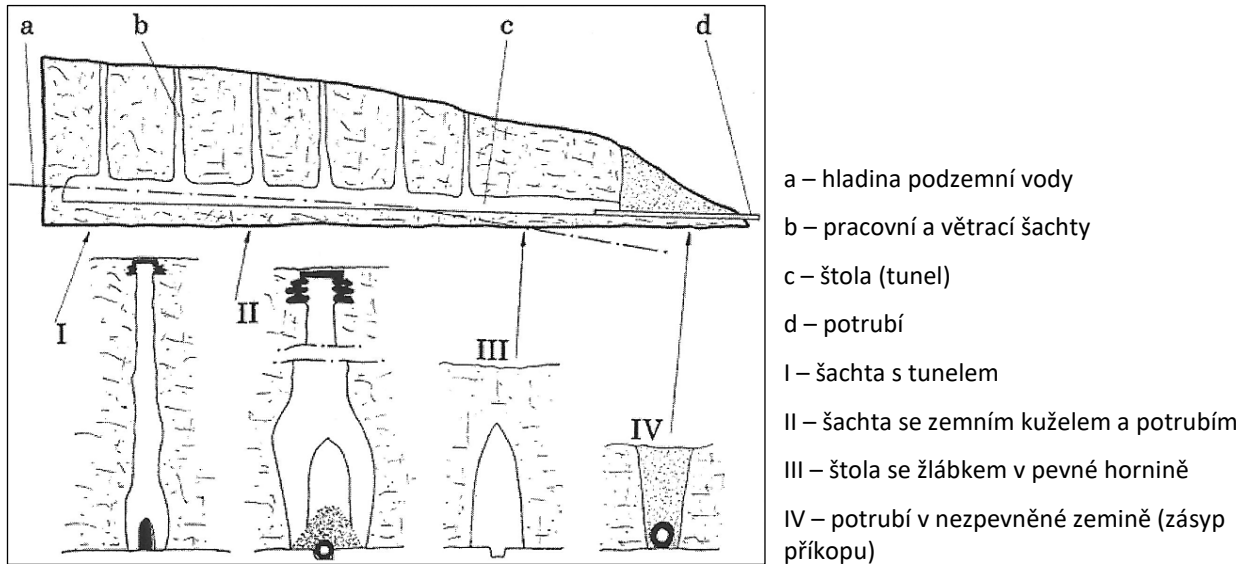


Obr. 35. Schéma zásobování vodou z vodní štoly v česko-bavorském pomezí (Klaubert 1967).

Klaubert rozlišuje v česko-bavorském pomezí kanáty se šachtami a bez nich, a kanáty se zemními hrázemi a bez nich. Řez kanátu se šachtami je znázorněn na Obr. 36. Při jeho stavbě se nejdříve určilo místo mateřské šachty. Po jejím vyhloubení byly hloubeny další šachty ve stejné vzdálenosti od sebe a byla zahájena ražba štoly. V místě vyústění se napřed vykopala příkop (IV), který po naražení skály pokračoval štolou (III) propojující jednotlivé šachty. Dno štoly vedlo v ideálním případě ze dvou třetin pod hladinou podzemní vody.

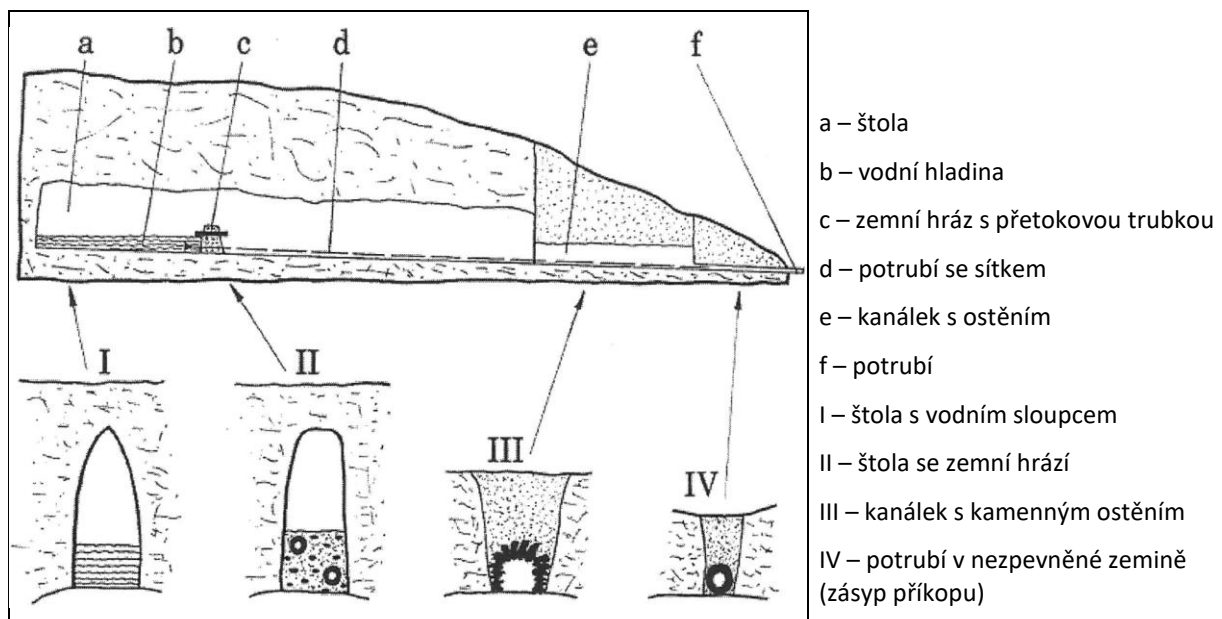
Průměrná výška štol je 1,6 m s výjimkou žuly, kde byla ražba obtížnější. Šířka se pohybuje od 0,5 do 0,7 m, opět v závislosti na pevnosti horniny. Ve dně štoly je často kanálek se žlabem nebo potrubím ze dřeva, železa nebo kameniny, který umožňuje plynulý odtok a zamezuje průsakům do okolní horniny. Ve většině tunelů je výška vodní hladiny 0,2 - 0,6 m. Pozoruhodné jsou četné výklenky pro osvětlení, umístěné hlavně v ohybech štol. V těchto výklencích jsou stále zbytky lojových svíček a lampiček.

Ústí šachet jsou nasucho obezděna kamenem a překryta těžkou kamennou deskou. Směrem do hloubky se šachty zpravidla rozšiřují z cca 0,6 m až na 1-2 m u dna. Ve stěnách bývají vyražené stupně pro nohy kopáčů (Klaubert 1967).



Obr. 36. Podélné a příčné řezy kanátem se šachtami (Klaubert 1967).

Existují také vodosběrné štoly bez šachet, při ústí s kanálkem a dřevěným potrubím. V Selbu tyto jednoduché sběrače vody zcela vyschly v důsledku snížení hladiny podzemní vody. Kanálky vyzděné nasucho břidlicí nebo žulovými deskami jsou široké asi 0,5 m a vysoké 0,6 m, výška se mírně zvyšuje v místě, kde kanál vyústuje do štoly. Potrubí bylo původně vyrobeno z vydlabaných borových kmenů o délce 2-6 m, s průběžným kanálkem cca 8 cm. Později bylo trouchnivějící dřevěné potrubí nahrazeno trubkami z pozinkovaného železa nebo kameniny. Obr. 37 ukazuje kanát se zemní hrází postavenou před úvodním úsekem se zvětralou propustnou horninou.

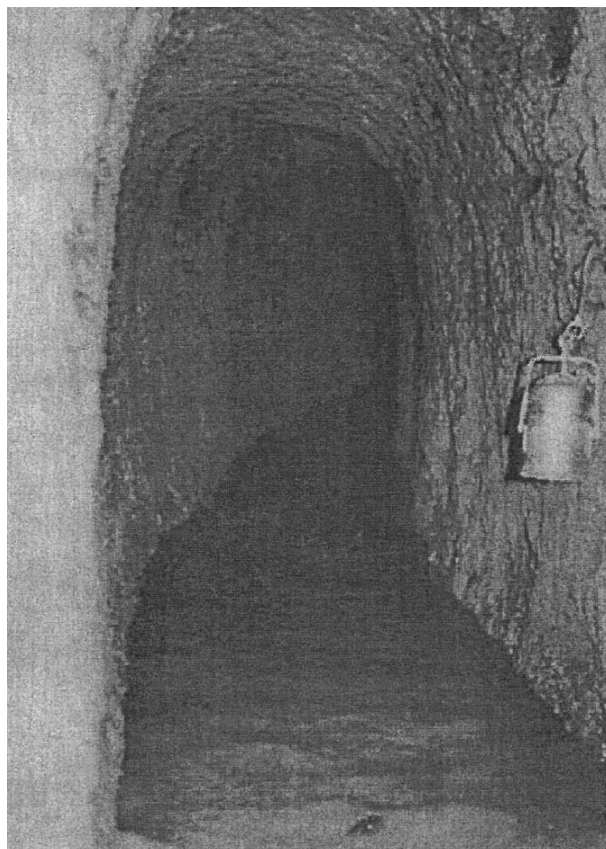
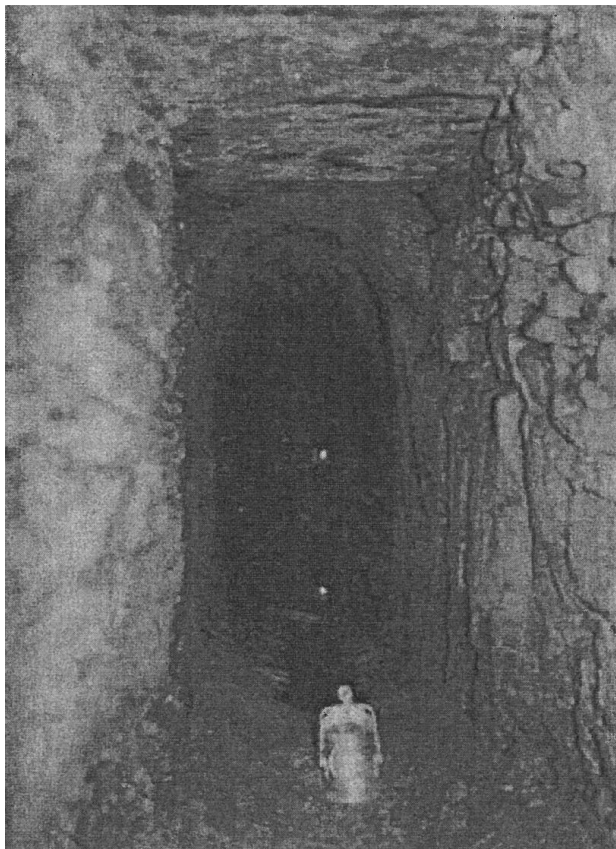


Obr. 37. Podélné a příčné řezy kanátem bez šachet a se zemní hrází (Klaubert 1967).



#### 4.1 Vodosběrné štoly v oblasti Selbu

V oblasti Selbu uvádí Klaubert (1967) řadu podzemních chodeb odpovídajících svým charakterem kanátům. Nejdůležitější z nich jsou uvedeny v následující tabulce. Zmiňuje i dalších pět, které nebyly prozkoumány. Jeden z nich je v Mühlbachu a čtyři v obci Fassmannsreuth nedaleko českých hranic. Dva z kanátů ve Fassmannsreuthu ještě v Klaubertově době zásobovaly pitnou vodou zemědělské podniky, zbylé dva byly zničeny při stavebních pracích, ale štoly se prý zachovaly.



Obr. 38. Vodosběrné štoly v okolí Selbu podle Klauberta (1967). Vlevo: Štola s kamennou vyzdívkou, Oberweissenbach. Vpravo: Funkční vodní štola, Wildenau.



Obr. 39. Vstup do kanátu u Wildenau – ústí je kryto těžkou kamennou deskou (Klaubert 1967).

Tabulka 2. Kanáty v okolí Selbu dokumentované Klaubertem (1967).

Poř.	Místo	Doba vzniku	Odhad. délka	Počet šachet	Poznámky
1	Selb, Roter Bühl	neznámá	55 m	0	suchý, zanesený pískem, kamenný kanál 25 m vyložený žulovými deskami; vývod (cca 55 m) borovicovým potrubím; zničen 1964, obnoven 1965
2	Selb, Jahnstrasse	1873-1880	340 m	7	funkční; hlavní a postranní štoly; hloubka mateřské studny 7,5 m; napojen na městskou kanalizaci do Selbského potoka; existují plány a dokumentace
3	Selb, Körnerstrasse	cca 1790	125 m	3	funkční; hloubka mateřské šachty 12 m; železnou rourou zásobuje nádrž (bazén); ve dně štoly keramické potrubí
4	Selb, Ludwistrasse	neznámá	33,5 m	0	suchý; propojen se sklepy
5	Selb, August-Bebel-Strasse	před 1868	6,25 m	0	pozůstatky kanátu, propojené se sklepy; postaven obchodníkem Christophem Krippnerem
6	Selb, Hohenberger Strasse	neznámá	17 m	0	suché pozůstatky kanátu, propojené se sklepy; ve sklepě dvě studny 9 a 12 m
7	Selb, Marienstrasse	neznámá	5,6 m	0	pozůstatky kanátu, propojené se sklepy
8	Oberweissenbach	neznámá	80 m	0	funkční; průsaky v syrkých vrstvách u ústí; kamenný kanálek ze svoru; zbytky dřevěného potrubí; zásoboval vodou farmu postavenou v roce 1815
9	Plössberg	neznámá	67,9 m	0	funkční; zemní hráz ve štole; železné potrubí do vodní nádrže (bazénu) a dále do chodby domu, kde je ruční pumpa; přítok 5 litrů za minutu
10	Längenau	cca 1850	15,9 m	1	funkční; štola s cihlovým stropem; nedatovaný dokument
11	Wildenau	1840	125 m	2	funkční; jedna šachta zavalená, stále zásobuje vodou dva statky; datováno dle informací usedlíků
12	Reichenbach	1927	70 m	1	funkční; železná roura vede do kuchyně domu; ve štole je keramické potrubí; přítok cca 5 litrů za minutu; postaven statkáři Hansem a Adolfem Summererovými
13	Lauterbach	neznámá	120 m	0	funkční; voda čerpána do výše položené nádrže; vedlejší nádrže pro kuchyň a stáje; přetok do vodního bazénu a rybníku; schéma na Obr. 35
14	Spielbeg	neznámá	55 m	1	funkční; zásobuje vodou 300 let starý statek

## 4.2 Vodosběrné štoly na Ašsku

### Studie H. Klauberta (1967)

Klaubertovy (1967) údaje o kanátech na českém území vycházejí z informací vysídlených německých starousedlíků. Po druhé světové válce se Ašsko ocitlo v nepřístupné pohraniční zóně a velká část zemědělských usedlostí byla srovnána se zemí. Došlo k narušení veškeré kulturně-hospodářské kontinuity, která vlivem následné komunistické diktatury už nebyla navázána. Tradiční způsob hospodaření v krajině upadl v zapomnění.

Klaubertem získané informace jsou uvedeny v následující tabulce. Autor dále zmiňuje dalších šest kanátů - jeden v býv. Mähringu sz. od Krásné, dva ve Štítarech (býv. Schildern) a tři ve Smrčině (býv. Elfhausen) u Podhradí. Konkrétní informace se mu však již nepodařilo zjistit.

Celkem tak Klaubert (1967) uvádí na Ašsku 17 kanátových objektů.

Tabulka 3. Kanáty na Ašsku dokumentované Klaubertem (1967).

Poř.	Místo	Doba vzniku	Odhad. délka	Počet šachet	Poznámky
1	Aš	neznámá	50 m	1	štola se světlíkem na jihozápadním svahu Háje
2	býv. Gottmannsgrün severně od Pomezí	neznámá	200 m	0	býv. Thomův dům; štola ražena Italy
3	Újezd (býv. Mähring) sz. od Krásné	neznámá	130 m	1	býv. Korndörferův statek podle <a href="http://www.thonbrunn.cz">www.thonbrunn.cz</a> byl Egon Körndorfer vlastníkem Újezdského mlýna č. p. 6 – je možné, že jde o týž objekt
4	Újezd (býv. Mähring) sz. od Krásné	neznámá	115 m	0	býv. Oertelův statek
5	Újezd (býv. Mähring) sz. od Krásné	neznámá	40 m	1	býv. Wölfelův statek
6	Újezd (býv. Mähring) sz. od Krásné	neznámá	75 m	0	býv. Benkerův statek
7	Újezd (býv. Mähring) sz. od Krásné	cca 1750	50 m	1	býv. Zähův statek
8	Újezd (býv. Mähring) sz. od Krásné	1700-1725	800 m	2	býv. Poppův statek; štola ražena v roce 1907
9	Štítary (býv. Schildern)	cca 1750	255 m	0	býv. Michaelův statek; štola ražena Italy
10	Kamenná (býv. Steinpöhl/Steinböhl)	cca 1817	90 m	1	býv. Wölfelův statek; štola ražena starým mužem během hladomoru, aby získal peníze na tabák
11	Kamenná (býv. Steinpöhl/Steinböhl)	1820-1838	60 m	1	býv. Riedelův statek

**Studie B. Karbana a kol. (2008-2012)**

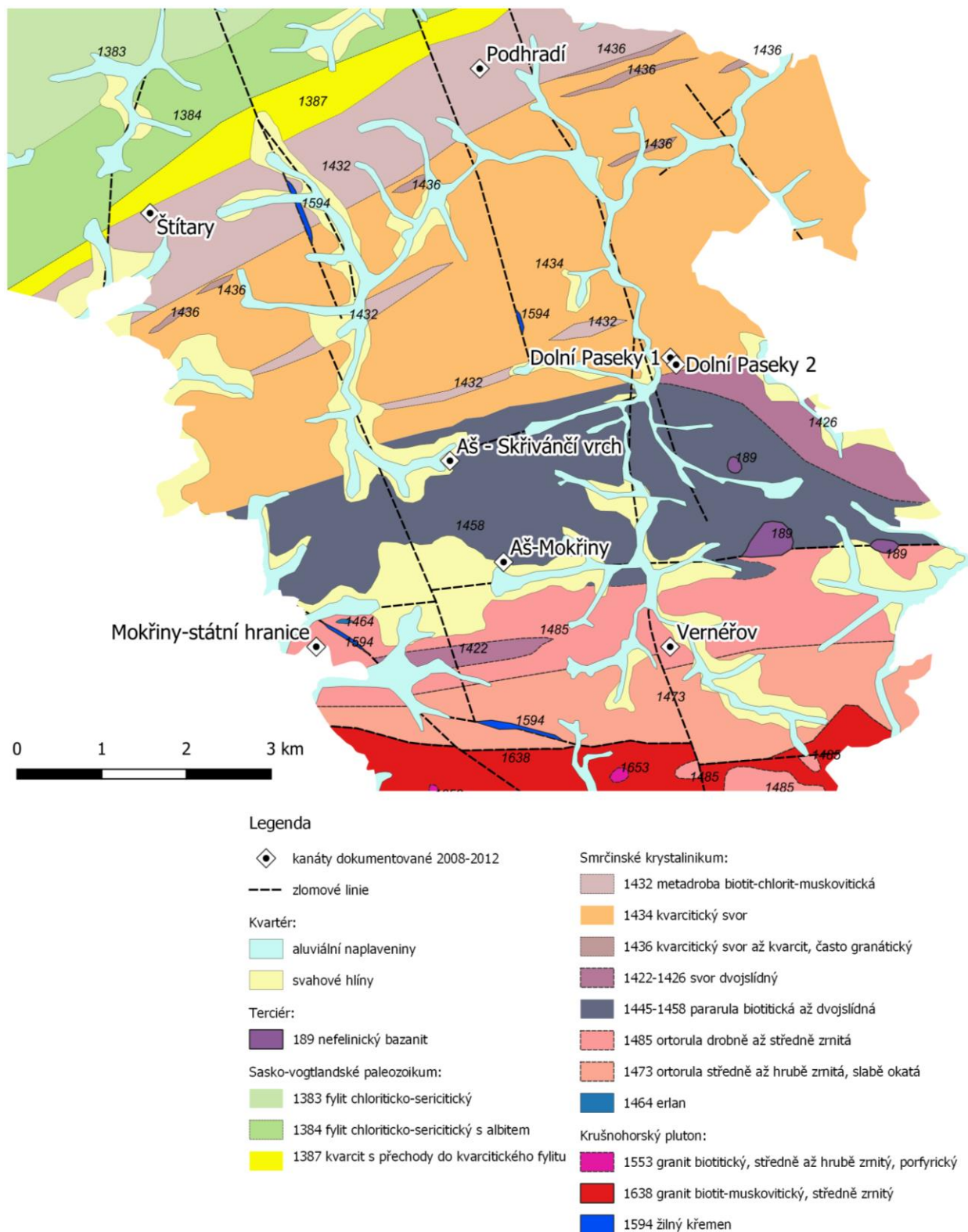
Od poloviny devadesátých let minulého století se průzkumem horizontálních vodních štol na Ašsku zabývali odborní pracovníci ašského muzea a následně od počátku 21. století skupina amatérských badatelů. Podrobněji byla dokumentována vodní díla v Mokřínách, na Skřivánčím vrchu v Aši, v Dolních Pasekách a v Podhradí. Výsledky průzkumu zveřejněné na stránkách [www.thonbrunn.cz](http://www.thonbrunn.cz) jsou uvedeny v příloze této zprávy.

Studované území je budováno horninovými jednotkami sasko-durynské zóny (saxothuringika), které v geologické mapě tvoří pruhy o směru JZ-SV až Z-V. Zhruba severně od linie Štítary-Podhradí to jsou fylity a kvarcitické fylity, slabě metamorfované hlubokomořské sedimenty frauenbašské série sasko-vogtlandského krystalinika. Jižněji se vyskytující metadrobny, svory, pararuly a ortoruly jsou silněji tlakově a teplotně přeměněné horniny, řazené ke smrčinskému krystaliniku. Zcela na jihu vystupují na povrch granity krušnohorského plutonu. Tektonické linie mají převažující směr SSZ-JJV, místy jsou na nich tělesa žilného křemene. Východně od Aš je dokumentováno několik těles neovulkanických čedičových hornin, konkrétně jde o nefelinické bazanity. Kvartérní uloženiny o vyšších mocnostech jsou v geologické mapě (Obr. 40) představovány svahovými hlínami a naplaveninami vodních toků.

Dokumentované vodosběrné štoly byly raženy v zóně přípovrchového zvětrávání hornin, která je díky průlinové propustnosti dobrým kolektorem pro mělký oběh podzemních vod. Kvartérní pokryv je podle mapových podkladů Kovandy a kol. (1960) zastoupen písčítými hlínami a hlinitými písky o mocnosti 0,5-4 m, v této zóně bývají štoly zpevněny cihlovou nebo kamennou klenbou, popř. je strop překryt kamennými nebo betonovými deskami. Je možné, že některé tyto štoly měly také meliorační funkci za účelem odvodnění zamokřených pozemků.

Tabulka 4. *Vodosběrné štoly na Ašsku dokumentované Karbanem a kol. v letech 2008-2012.*

Poř.	Název	Celková délka	Katastrální území	Kvartérní pokryv	Skalní hornina
1	Aš-Skřivánčí vrch	175 m + boční štoly	Aš	písčité hlíny 2-4 m	pararula
2	Aš-Mokřiny	78 m	Mokřiny	písčité hlíny 2-4 m	pararula
3	Mokřiny-státní hranice	neznámá	Aš	písčité hlíny 2-4 m	pararula
4	Verněřov	cca 22 m	Verněřov	písčité hlíny 2-4 m	ortorula
5	Dolní Paseky 1	cca 24 m	Dolní Paseky	hlinité písky 0,5-2 m	kvarcitický svor
6	Dolní Paseky 2	neudána	Dolní Paseky	hlinité písky 0,5-2 m	kvarcitický svor
7	Podhradí	neudána	Podhradí u Aše	hlinité písky 0,5-2 m	metadroba
8	Štítary	185 m	Štítary u Krásné	písčité hlíny 2-4 m	metadroba/kvarcit



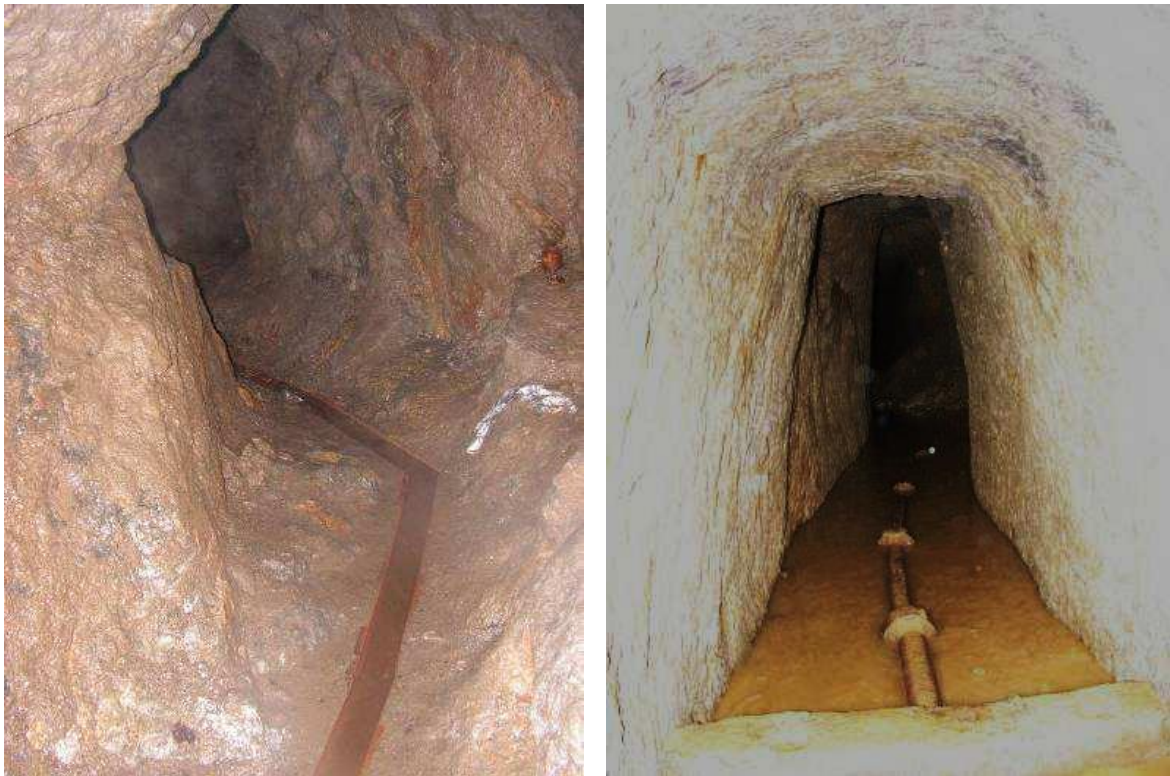
Obr. 40. Geologická mapa území s vodosběrnými štolami dokumentovanými skupinou Z. Karbana v letech 2008-2012. Geologie podle <https://mapy.geology.cz>.



Obr. 41. Vlevo: Profil východní štolou Aš-Skřivánčí vrch (2012). Vpravo: Úvodní část štolý Podhradí s kamennou vyzdívkou (2009). Foto B. Karban, úplná dokumentace viz příloha.



Obr. 42. Dolní Paseky č. 1 (2009). Vlevo: Profil štolou. Vpravo: způsob jímání vody ze štolý. Foto B. Karban, úplná dokumentace viz příloha.



Obr. 43. Vlevo: Drenážní žlábek ve štolě Aš-Skřivánčí vrch (2012). Vpravo: Železné potrubí na dně štoly Aš-Mokřiny (2012). Foto B. Karban, úplná dokumentace viz příloha.

#### Studie D. R. Lightfoota (2019-)

V rámci studia kanátů po celém světě se vodosběrnými štolami v česko-německém pohraničí zabývá profesor Dale R. Lightfoot (Department of Geography, Oklahoma State University, Stillwater, USA). Prof. Lightfoot v říjnu 2018 osobně region navštívil a zahájil tak spolupráci s pracovníky Geoparku Dr. Andreasem Peterkem a Bc. Jiřím Loskotem, archivářem města Selb Dieterem Arzbergerem a kurátorkou národopisné sbírky Městského muzea v Aši Mgr. Janou Kočišovou. Při návštěvě získali regionální pracovníci důležité informace o funkci kanátů a jejich odlišnostech od vodních štol v pohraniční oblasti.

V řešeném regionu uvádí Lightfoot více než 150 infiltračních štol vybudovaných pro zásobování vodou, z toho 79 v Bavorsku, většinou v okolí Selbu a Rehau, a 73 v Čechách, většinou v okolí Aše. Výsledky studia by měly být publikovány v roce 2022 (Lightfoot, osobní sdělení 2021).

#### 4.3 Další objekty na území geoparku

Na území geoparku Egeria jsou známy další objekty, které se svým charakterem podobají vodosběrným štolám, neboť byly raženy obdobnou technikou. Dosud však nebyla provedena studie, která by umožnila rozlišit podzemní díla vodohospodářská od důlních. Často původně ražené průzkumné nebo odvodňovací štoly našly následné využití jako zdroje pitné a užitkové vody. Podobné příklady jsou známy i z novodobé historie. Například průzkumná štola Vykmanov ražená v 80. letech minulého století k ověření fluorit-barytového ložiska Kovářská v Ústeckém kraji je v současnosti využívána jako zdroj pitné vody pro obec Perštejn. V Perninku na území geoparku je vodojem umístěn na ústí historické štoly na cínovou rudu, v Horních Lubech je voda jímána ze štoly odvodňující doly na rumělkou.

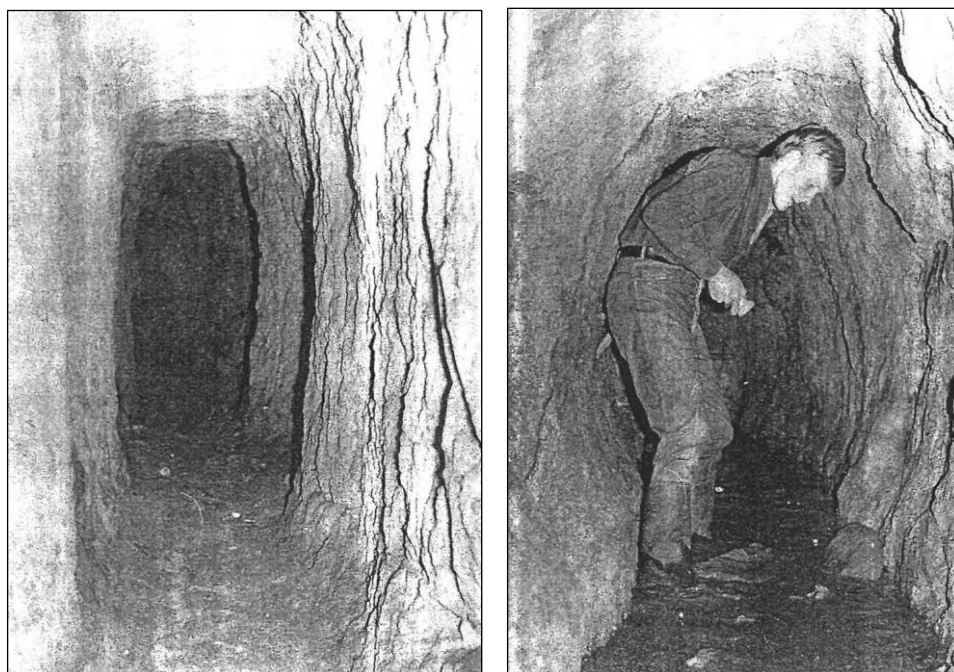
Za čistě vodohospodářská díla je možno považovat štoly ražené v místech, kde se žádné zrudnění nevyskytuje ani ho nelze očekávat. Ani to ale není jednoznačné, neboť občas byla těžařstva zakládána ze spekulativních důvodů.

Vodítkem může být jak podrobná dokumentace vlastního díla a pozůstatků po okolních povrchových objektech, i tak vlastivědné historické údaje vztahující se k danému místu. Lze usuzovat, že zatímco vodosběrné štoly sledovaly hlavně svrchní partie přípovrchového zvětrávání a bázi kvartérního pokryvu, štoly „hornické“ byly raženy hluboko do pevných hornin.

Příkladem objektu raženého z dosud zcela nejasného důvodu je níže popsáný objekt zvaný Štola Bílá paní (Föllerberghöhle).

#### Tatrovice - Štola Bílá paní (Föllerberghöhle)

Ve své práci o kanátech v okolí Selbu a Aše se Klaubert (1967) zmiňuje o tzv. Föllerberghöhle, 300 m dlouhé štole s postranní rozrážkou na úpatí Liščího kopce (Föllerberg, 616 m) nad Vřesovou (Doglasgrün). Podle Strunze a Redelbacha (1989) Klaubert toto místo spolu se svým asistentem Hammerschmidtem v roce 1967 navštívil a pořídil 22 černobílých fotografií. Zprávu o tom zveřejnil v červnovém výtisku *Elbogener Heimatbrief* z roku 1967. Zde uvádí výšku vstupního otvoru 60 cm a šířku 75 cm. Voda zadržaná ve štole vytékala potrubím a dále potůčkem do rybníka na tzv. Velké louce (Grosse Wiese) a odtud do Chodovského potoka (Strunz a Redelbach 1989).



Obr. 44. Föllerberghöhle na snímcích Helmuta Klauberta z roku 1967 (Strunz a Redelbach 1989).

V letech 2015-2016 bylo ústí štoly obnoveno Hornickým spolkem Solles Chodov. Podle informace na jeho webových stránkách ([www.solles.cz](http://www.solles.cz)) je štola pojmenovaná Bílá paní a interpretována jako průzkumné důlní dílo z 18. století, které sledovalo křemennou žílu, a později bylo využíváno jako sklep nebo zásobárna vody. Vstupní úsek procházející balvanitými sutěmi o délce asi 10 m je vyskládan z kamenů, strop je z kamenných překladů. V rozšíření po vstupu do žulového masivu je směrem k SV vyražena vedlejší chodba, považovaná za rozrážku po křemenné žíle. Má délku asi 6 m, je zatopená vodou a na jejím konci prosakuje pramen.



Hlavní štola, která je dlouhá necelých 30 metrů a probíhá obloukovitě k JZ. Maximální výška štoly je přibližně 170 cm, šířka 80 cm. Se štolou zřejmě souvisí jen několik metrů vzdálený tzv. Žabí pramen (<https://www.estudanky.eu/96-studanka-zabi-pramen>).

Obloukovitý půdorys štoly naznačuje, že spíše než sledování křemenné žíly bylo skutečně jejím hlavním cílem zachytit zvedeň v přípovrchově zvětralé žule.



Obr. 45. Rekonstrukce ústí štoly Bílá paní 2015-2016 ([www.solles.cz](http://www.solles.cz)).



Obr. 46. Stav lokality v březnu 2021 (Kubbykubajz na mapy.cz).





Obr. 47. Štola Bílá paní u Tatovic. Nahoře přístupová chodba s kamenným zdivem a překlady. Uprostřed boční chodba s průsaky podzemní vody. Dole Hlavní chodba (z videa [www.solles.cz](http://www.solles.cz) na [youtube.com](http://youtube.com)).

## 5 Závěry a doporučení

Podzemní horizontální vodohospodářská díla (vodní či vodosběrné štoly) jsou vyspělými civilizacemi budována od starověku. Do dnešní doby se jich řada zachovala a řada z nich je dosud plně funkční. Podle účelu je lze zhruba rozdělit na vodosběrné kanáty, přivádějící vodu z podzemních zvodní, a na akvadukty, které slouží k vedení vody jímané z povrchových vodotečí, pramenů a vodních nádrží, ze studní a zvodní jen výjimečně (Schram 2013).

Klasická technologie kanátů je rozšířena hlavně v oblastech charakteristických (např. <https://www.cleanriverstrust.co.uk/qanat/>, Angelakis et al. 2017):

- absencí větších říčních toků s celoročním průtokem dostatečným pro podporu zavlažování;
- existencí potenciálně úrodných oblastí v blízkosti hor bohatých na srážky;
- suchým klimatem s vysokým povrchovým odparem, kde dochází k vysokým ztrátám vody v povrchových kanálech a nádržích;
- velkou hloubkou zvodnělých vrstev v potenciálně úrodné oblasti, mimo dosah mělkých kopaných studní.

Je evidentní, že oblast česko-bavorského příhraničí nevyhovuje žádnému z těchto kritérií. Použití termínu *kanát* pro vodosběrné štoly v této oblasti je proto značně přenesené. Kromě klimatických podmínek neodpovídá zejména velikost těchto objektů, která je u klasických kanátů ve stovkách metrů až desítkách kilometrů oproti desítkám až stovkám metrů u štol v našem regionu. Termín kanát je proto nutno chápat spíše přeneseně jako druh technického řešení, tj. jako vodosběrnou podzemní štolu, většinou se svislými šachtami (světlíky).

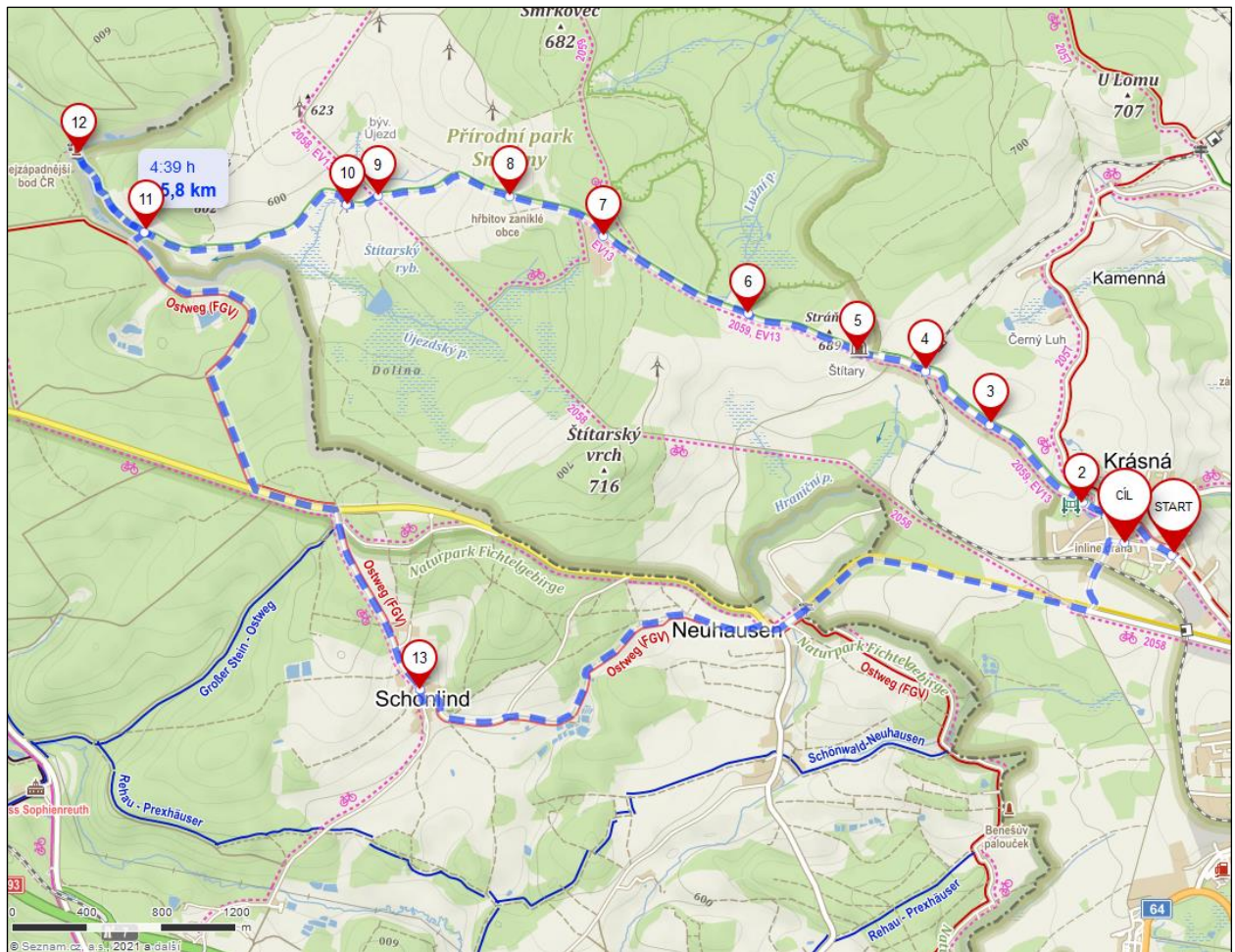
V česko-bavorském příhraničí byly těmito zařízeními jímaný podzemní vody z přípovrchové zóny zvýšené propustnosti hornin smrčinského krystalinika, která je zde hlavním kolektorem regionálního významu. Podzemní voda zde proudí ve smíšeném průlinovém a puklinovém prostředí, směrem do hloubky výhradně v puklinovém. Mocnost zvodněné zóny se pohybuje od

několika málo metrů až několika desítek metrů. Propustnost zvodněné vrstvy závisí na petrografickém složení, morfologické pozici a intenzitě tektonického postižení hornin (Olmer et al. 1990).

Hlavním důvodem finančně poměrně náročného budování vodosběrných štol byla jejich velká vydatnost, postačující v optimálním případě pro zásobování lidí, domácího zvířectva i zemědělských pozemků, a zejména gravitační akumulace vody do nádrží (bazénů) bez nutnosti jejího čerpání. Možnou doplňkovou funkcí těchto staveb mohlo v některých případech být i odvodnění zamokřených pozemků. Voda v jímacích štolách byla uchráněna před působením povrchových procesů, sezónními výkyvy teplot a srážek (s výjimkou extrémně suchých období) nebo znečištěním (včetně záměrné otravy kopaných studní mršinami; Peterek, osobní sdělení 2021). Vložení hrází do štol zajišťovalo dostupnost většího množství vody při splnění vyhovujících hygienických podmínek.

Téma kanátů a vodosběrných štol je natolik zajímavé, že by bylo vhodné mu věnovat veřejnou publicitu. Navrhnout lze mimo jiné následující aktivity:

- workshop kombinovanou prezenční a online formou, nejlépe s mezinárodní účastí (bavorská část geoparku, Městské muzeum Aš, prof. Lightfoot, zájmové skupiny z Dolního Bavorska/Horních Rakous, příp. další);
- uspořádání přednášky věnované aktuálního stavu znalostí;
- umístění příspěvku na webových stránkách a sociálních sítích geoparku;
- umístění informačních prvků v terénu, dle možností informační tabule nebo QR-kódy; příkladem může být návrh naučné stezky na Obr. 48 nebo rozšíření informační tabule u Štoly Bílá paní;
- příp. i další po diskusi s partnery geoparku.



Obr. 48. Možná trasa přeshraniční naučné stezky „Z Krásné na konec republiky“: 1 – Start obecní úřad, 2 - Dětský lanový park, 3 - Stáj Štítary, 4 – Železnice, 5 – Historický zeleninový sklep, 6 – NPP Bystřina-Lužní potok, 7 – Rota, 8 – Hřbitov Újezd, 9 – Signálka, 10 - Památník obětem 1. a 2. světové války, 11 - Most Evropy, 12 - Nezápadnější bod České republiky, 13 – trasa po německé straně dle návrhu Geopark Bayern-Böhmen.

## 7 Literatura

Uvedené reference jsou přístupné na příslušných webových stránkách nebo jsou k dispozici v digitálním archivu autora.

Abbasnejad A., Abbasnejad B., Derakhshani R., Sarapardeh A. H. (2016): Qanat hazard in Iranian urban areas: explanation and remedies. – *Environ. Earth Sci.* 75, 1306, 14 pp.

Al-Ghafri A., Inoue T., Nagasawa T. (2003): Daudi Aflaj: the Qanats of Oman. Conference paper. - *Proceedings of the Third Symposium on Xinjiang, Uyghor, China*, 29-36.

Angelakis A. N., Chiotis E., Eslamian S., Weingartner H. Eds. (2017): *Underground aqueducts handbook*. CRC Press. 522 s.

Beaumont P., Bonine M. E., McLachlan K. S., McLachlan A. (1989): *Qanat, kariz, and khattara: traditional water systems in the Middle East and North Africa*. - Middle East & North African Studies Press, London.

Bičík I. (1971): *Kanáty v Íránu*. 1. vyd. Academia Praha.

ČSN 75 5115 (2010): *Jímání podzemní vody*. Česká technická norma.

Dahmen A. (2015): Major hydraulic systems in Algeria. In: *Proceedings of the IWA Workshop on Evolution of Qanat and Relevant Hydraulic Technologies*, Yazd, Iran, 141–154.

English P. W. (1968): The Origin and Spread of Qanats in the Old World. - *Proceedings of the American Philosophical Society* 112, 3, 170-181.

Guliyev A.G. (2014): Reports on Ecological Aspects. *Politex*, Baku, Azerbaijan, p. 179. Cit. in Angelakis et al. (2017).

Heinrich H. & Arzberger, D. (2009): *Unterirdisches Selb. Röhrwasser, Felsenkeller und Kanate*. Selber Hefte 21, 369 s., Selb.

*Iransafar* (2019): Persian Qanat, an Iranian invention. Dostupné online z <https://www.iransafar.co/articles/item/120-persian-qanat>.

Klaubert H. (1967): Qanats in an Area of Bavaria-Bohemia. *Geographical Review* 57, 2, 203–212. Taylor & Francis, Ltd.

Kovanda J. et al. (1960): Zpráva o mapování základových půd na části listu generální mapy 1 : 100 000 M-33-61- Cheb, se zřetelem na listy speciálních map 1 : 25 000 M-33-61-A-a (Újezd), M-33-61-A-b (Hranice), M-33-61-A-c (Štítarský Vrch), M-33-61-A-d (Aš), M-33-61-D-a (Fr. Lázně) a M-33-61-D-b (Tršnice). – ÚÚG Praha (GF P012770).

Kremer B. (2003): Neue Forschungen zum Qanat in Pölich/Mosel sowie eine archäologische Neuentdeckung im Trierer Stadtgebiet – Der Qanat bei St. Matthias. - Internationales Frontinus-Symposium 2003, Walferdange (Luxemburg), 2.-5.Okt. 2003, Walferdange, Luxemburg (= Schriftenreihe der Frontinus-Gesellschaft, H. 26), 127-142. Cit. in Weingartner (2007).

Kučera T. (2006): *Projekt VHO: Modul 1, Jímání a úprava vody*. Brno.

Lightfoot D. R. (1996): Moroccan khettara: Traditional irrigation and progressive desiccation. – *Geoforum*, 27, 2, 261-273.

- Lightfoot D. R. (1996): Syrian Qanat Romani: History, Ecology, Abandonment. - Journal of Arid Environments 33, 321-336.
- Lightfoot D. R. (1997): Qanats in the Levant: Hydraulic technology at the periphery of early empires. - Technology and Culture, 38, 2, 432-451.
- Lightfoot D. R. (2000): The Origin and Diffusion of Qanats in Arabia: New Evidence from the Northern and Southern Peninsula. - Geographical Journal, 166, 3, 215-226.
- Lightfoot D. R. (2009): Survey of Infiltration Karez in Northern Iraq: History and Current Status of Underground Aqueducts. A report prepared for UNESCO by Dale Lightfoot, Department of Geography, Oklahoma State University. Dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/242729587>.
- Lofrano G., Carotenuto M., Maffettone R., Todaro P., Sammataro S., Kalavrouziotis I. K. (2013): Water Collection and Distribution Systems in the Palermo Plain during the Middle Ages. - Water, 5, 1662-1676.
- mapy.geology.cz: /Administrativní jednotky, Hydrogeologické rajony. In: Hydrogeologické rajony [online]. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/hydro\\_rajony/](https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/). Geologická mapa 1 : 50 000. In: Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- Olmer M., Kessler J. et al. (1990): Hydrogeologické rajóny. - Práce a studie 176, Výzkumný ústav vodohospodářský Praha-Podbaba.
- Raghubans K. (2015): Qanat system at Bidar District in Karnataka, India. Hydro Nepal. - Journal of Water, Energy and Environment 17, 18–23.
- Schram W. D. (2013): Persian qanats and Roman aqueducts. A short explanation and a comparison. - Powerpointová prezentace <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Schram+W.+D.+%282013%29%3A+Persian+qanats+and+Roman+aqueducts>.
- Strunz A., Redelbach K. (1989): Die Föllnerberghöhle. - In: Pechgrün im Bezirk Elbogen - ein verschüttetes Dorf, 78-81. Selb/Struttgart.
- Šrámek O. (2017): Perské kanáty a klimatická změna. - Vesmír 2017/7, 96, 410.
- TAČR (2021): Regionální surovinová politika Karlovarského kraje. Modelový dokument zpracovaný v rámci projektu TITSMPO909 Metodika a tvorba standardů tvorby a periodické aktualizace regionálních surovinových koncepcí, modelové řešení dvou zvolených regionů. – MS ČGS a GET. MPO Praha.
- Taghavi-Jeloudar M., Han M., Davoudi M., Kim M. (2013): Review of Ancient Wisdom of Qanat, and Suggestions for Future Water Management. - Environmental Engineering Research 18, 2, 57-63.
- Tamuri J. (2007): Karez: Afghanistan's Traditional Irrigation System. - The Alternative Development Knowledge Network. Dostupné z <https://web.archive.org/web/20090307202938/http://www.adkn.org/EN/agriculture/article.asp?a=67>.
- thonbrunn (2021): Horizontální vodní štoly na Ašsku. Dostupné z [http://www.thonbrunn.cz/stranky/studny\\_cz.php](http://www.thonbrunn.cz/stranky/studny_cz.php).

- Todaro P., Todaro A., Sammatano A. (2006): Progetto per la valorizzazione e fruizione turistica del qanat Uscibene e della "camera di scirocco" di Villa Savagnone a Palermo (Italy). – Geologia dei Beni Culturali e Ambientali.
- Veselský J. (2018) Voda v kulturách starého Peru. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 60, 2, 49–53. Dostupné z <https://www.vtei.cz/2018/04/voda-v-kulturach-stareho-peru/>.
- VUT (2015): Vodohospodářské stavby. Modul 02. Zdravotně technické stavby. - Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně. 64 s.
- Weingartner H. (2007): Water supply by qanats. A contribution to water shortage in Mediterranean areas? - Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology Kos island, Greece, 5 – 7 September 2007, 1555-1561.
- Wilson A. I. (2008): Hydraulics engineering and water supply. - In Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World, ed. J. P. Oleson, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 285–318.
- Wulff H. E. (1968): The Qanats of Iran. - Scientific American 218, 94-105. Cit. in Taghavi-Jeloudar et al. (2013).

#### Internetové odkazy:

- |  |  |
|--|--|
| <a href="http://www.adkn.org">www.adkn.org</a>                                       | <a href="http://www.vtei.cz">www.vtei.cz</a>         |
| <a href="http://www.atlasobscura.com">www.atlasobscura.com</a>                       | <a href="http://www.youtube.com">www.youtube.com</a> |
| <a href="http://www.cleanriverstrust.co.uk">www.cleanriverstrust.co.uk</a>           |  |
| <a href="http://www.czwiki.cz">www.czwiki.cz</a>                                     |  |
| <a href="http://www.deccanheritagefoundation.uk">www.deccanheritagefoundation.uk</a> |  |
| <a href="http://www.dekapolis-aquaedukt.de">www.dekapolis-aquaedukt.de</a>           |  |
| <a href="http://www.estudanky.eu">www.estudanky.eu</a>                               |  |
| <a href="http://www.geology.cz">www.geology.cz</a>                                   |  |
| <a href="http://www.google.com">www.google.com</a>                                   |  |
| <a href="http://www.heis.vuv.cz">www.heis.vuv.cz</a>                                 |  |
| <a href="http://www.hlubinnevrtty.cz">www.hlubinnevrtty.cz</a>                       |  |
| <a href="http://www.chinatoday.com.cn">www.chinatoday.com.cn</a>                     |  |
| <a href="http://www.iransafar.co">www.iransafar.co</a>                               |  |
| <a href="http://www.persiaadvisor.travel">www.persiaadvisor.travel</a>               |  |
| <a href="http://www.pospisil-ro.cz">www.pospisil-ro.cz</a>                           |  |
| <a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a>                       |  |
| <a href="http://www.romanaqueducts.info">www.romanaqueducts.info</a>                 |  |
| <a href="http://www.solles.cz">www.solles.cz</a>                                     |  |
| <a href="http://www.vodarenstvi.cz">www.vodarenstvi.cz</a>                           |  |



## Příloha

# Výsledky průzkumu horizontálních vodních štol u Aše (převzato z [www.thonbrunn.cz](http://www.thonbrunn.cz))

## Obsah

1. Aš-Skřivánčí vrch
2. Aš-Mokřiny
3. Mokřiny - státní hranice
4. Verněřov
5. Dolní Paseky 1 a 2
6. Podhradí
7. Štítary