

MĚSTO A VODA



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Praha – pól růstu ČR



Město a voda

Fotografie na titulní straně:

Povrchová retenční nádrž zadržující vodu ze střech kancelářské budovy Delta v Praze-Michli

Srážková voda nemusí ani v husté zástavbě mizet do kanalizace. V bezprostřední blízkosti budovy Delta jsou do parkové zeleně začleněny neobvyklé vodní nádrže, které zlepšují mikroklima ve svém okolí, přispívají k biologické rozmanitosti a zvyšují estetickou hodnotu místa. Zlepšují dokonce i životní prostředí jiných vzdálených míst, protože zamezují přetížení jednotné kanalizace, které vede k odlehčování směsi srážkových a splaškových vod do vodních toků a tím ke znečištění vody a koryta (v tomto případě Botiče).

Autor fotografie: Martina Peláková

Vážení čtenáři,

žijeme v době, kdy se mění klimatické podmínky nejen v České republice, ale také na celé Zemi. Poslední roky ukázaly, jaká je setrvačnost celého přírodního systému a koloběhu vody a jaké dopady změny mohou mít nejen na vodní hospodářství. Na posun počátku vegetačního období, výrazné zvýšení teplot a nerovnoměrnou distribuci srážkových úhrnů upozorňuje odborná veřejnost již více než 20 let. Cílem publikace *Město a voda* je seznámit širokou veřejnost se základními aspekty výskytu a pohybu vody na Zemi ve volné přírodě a ve městech. A právě na města (reprezentovaná Prahou) a urbanizovaná území zde klademe velkou pozornost. V publikaci naleznete odpovědi na celou řadu otázek: Jak se změnila teplota a srážkové úhrny? Jaký vliv má rozrůstající městská krajina na kvantitu a kvalitu vody? Jak funguje kanalizace? Jak se mění vodní režim v důsledku zástavby? Jak zadržet srážkovou vodu a následně využít? Jaké jsou možnosti lokální recyklace vody? a mnoho dalších. Publikace obsahuje kromě textů také grafickou statistiku a jednoduchá schémata pro snadnější pochopení jednotlivých jevů. Publikace je dostupná zdarma v tištěné formě u autorského týmu ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka a v elektronické formě na webových stránkách heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni. Věříme, že Vám publikace pomůže prohloubit si své znalosti a odpovědět si na dílčí otázky, ale také budeme rádi, když Vás mnoho dalších otázek napadne. Publikace je součástí třídílné série, která obsahuje tyto tituly: *Město a voda*, *Podzemní voda ve městě* a *Adaptace města na povodně a sucho*.

Autorský tým

Poděkování:

Publikace byla spolufinancována Evropskou unií z Evropských strukturálních a investičních fondů.

Název programu: Operační program Praha – pól růstu ČR

Název projektu: Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy

Registrační číslo projektu: CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_040/0000380

Řešitel projektu: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce

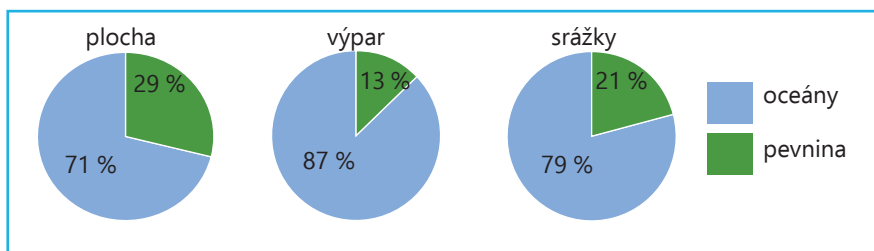
OBSAH

1. HYDROLOGICKÝ CYKLUS	6
2. KLIMATICKÁ ZMĚNA.....	8
3. URBANIZACE KRAJINY	10
4. MIKROKLIMA MĚSTA.....	12
5. MĚSTSKÁ PŮDA	14
6. PODZEMNÍ VODA.....	16
7. JAKOST PŘÍRODNÍCH VOD	18
8. ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ VODY.....	20
9. DOPADY ZEMĚDĚLSTVÍ NA JAKOST VODY	22
10. VLIV URBANIZACE NA VODU V PRAZE.....	24
11. ODDÍLNÁ A JEDNOTNÁ KANALIZACE.....	26
12. VLIV URBANIZACE NA REŽIM ODTOKU	28
13. VYUŽITÍ SRÁŽKOVÝCH VOD VE MĚSTECH	30
14. RECYKLACE VODY V DOMÁCNOSTECH	32
15. OPATŘENÍ V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ.....	34
16. OPATŘENÍ VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ.....	36
17. VODNÍ NÁDRŽE	38
18. MONITORING V HYDROLOGII.....	40
19. INFORMAČNÍ A KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE	42
20. VODA V PRAZE	44

1. HYDROLOGICKÝ CYKLUS

Vodu na Zemi uvádí do pohybu sluneční energie a gravitace. Díky slunečnímu záření dochází k výparu a sublimaci. Většina vodní páry vzniká nad oceány, odkud je vzdušnými proudy transportována dále, při ochlazení kondenzuje a ve formě srážek padá zpět do oceánu (malý vodní cyklus). Menší část se dostává i nad pevninu, kde přibírá vodní páru z pevniny a při jejím ochlazení, např. vzestupem na návětrné straně hor, kondenzuje a padá na povrch díky zemské přitažlivosti. Gravitace dopravuje vodu i po zemském povrchu a pod povrchem. Srážky spadlé na zem se vypaří, odtečou do potoků, řek a moří nebo zůstanou dočasně na Zemi v bezodtokých oblastech, ve sněhu, ledu či v kolektorech podzemních vod.

V menší míře se vodní pára z pevniny přesouvá nad oceán, kde kondenzuje a padá do oceánu.



Poměry velikostí ploch a složek hydrologické bilance mezi oceány a pevninou

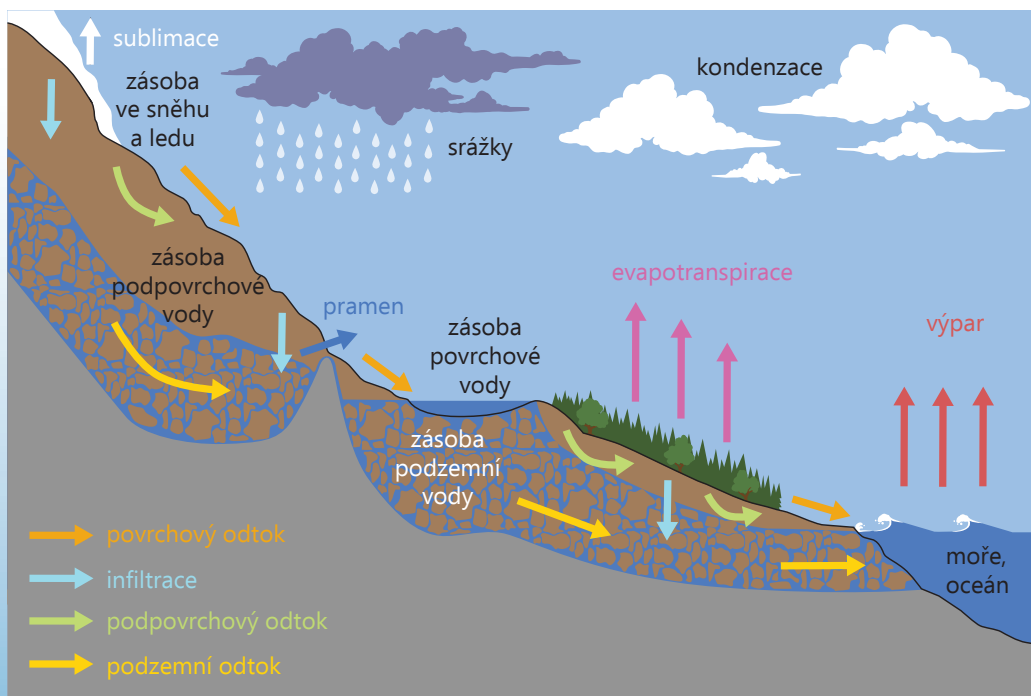


Schéma hydrologického cyklu

Jak se počítá hydrologická bilance?

Hydrologická bilance určitého povodí se dá vyjádřit rovnicí:

$$\text{SRÁŽKY} = \text{EVAPOTRANSPIRACE} + \text{POVRCHOVÝ ODTOK} + \text{PODPOVRCHOVÝ ODTOK} + \text{PODZEMNÍ ODTOK} \pm \text{ZMĚNA ZÁSOB VODY}$$

SRÁŽKY ve formě deště, sněhu, krup, rosy, jinovatky, námrazy apod. jsou jediným vstupem do hydrologické bilance.

EVAPOTRANSPIRACE zahrnuje evaporaci (výpar z vodní hladiny, půdy a povrchu vlhkých rostlin) a transpiraci rostlin.

- **POTENCIÁLNÍ EVAPOTRANSPIRACE** je maximálně možná, vyjadřuje schopnost vzdušného prostředí odnímat vodu z povrchu – odpovídá přibližně výparu z volné vodní hladiny nebo evapotranspiraci z trávníku s optimální vlhkostí.
- **SKUTEČNÁ EVAPOTRANSPIRACE** závisí na množství vody, které je k dispozici. Ze suché, holé nebo silně zastavěné krajiny se vypařuje velmi málo vody.

POVRCHOVÝ ODTOK nastává ve dvou situacích – pokud je svrchní půdní profil nasycen nebo pokud intenzita srážek překračuje rychlost vsakování. Do vodního toku se dostane rychle, v řádu minut až hodin.

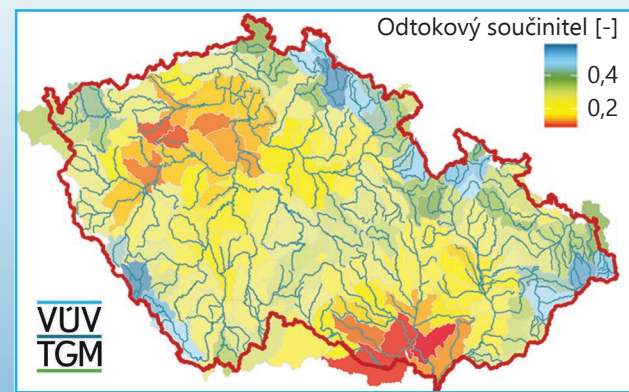
HYPODERMICKÝ (PODPOVRCHOVÝ) ODTOK probíhá ve svrchní vrstvě půdy a podloží bez kontaktu s hladinou podzemní vody. Do vodního toku se dostane během několika dnů po dešti.

ZÁKLADNÍ (PODZEMNÍ) ODTOK je vyvěrání ze zásob podzemní vody v podobě pramenů nebo skrytě pod hladinou do vodních toků a nádrží. Ve vodním toku se projevuje během týdnů až měsíců po dešti.

ZÁSOBA VODY se nachází v kolektorech podzemní vody, v půdě, v mokřadech, ve vodních nádržích nebo ve sněhu a ledu, zpravidla na dočasnou dobu.

Hydrologická bilance v České republice

Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek v ČR je 680 mm, skutečná evapotranspirace je 490 mm, celkový odtok je 190 mm, tj. pouze 28 % srážek. Poměr odtoku a srážek vyjadřuje odtokový součinitel. Zatímco srážky a odtok jsou na území ČR značně nerovnoměrné, skutečná evapotranspirace je na horách i v nížinách podobná, protože na horách je dostatek vody, ale nízké teploty, naopak v nížinách jsou teploty vysoké, ale srážky malé.



Evapotranspirace převyšuje odtok na většině území ČR

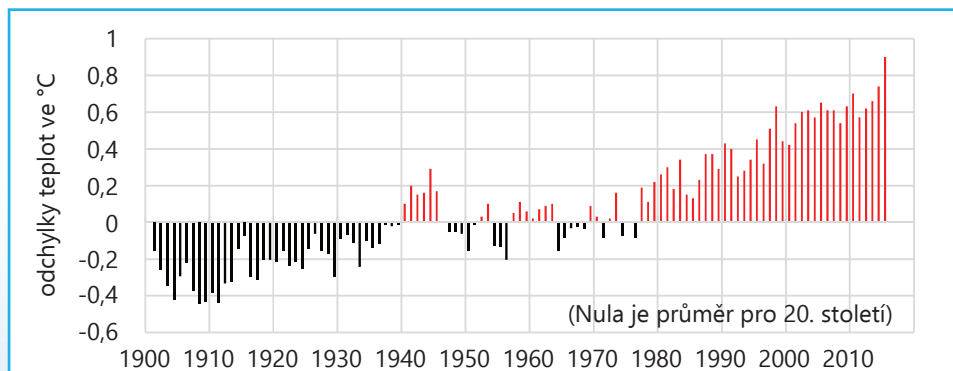
2. KLIMATICKÁ ZMĚNA

Klima je výsledkem všeobecné cirkulace atmosféry, která je ovlivněna slunečním zářením, otáčením Země kolem své osy, náklonem zemské osy, oběžnou dráhou Země kolem Slunce, rozmístěním kontinentů a horských masivů, mořskými proudy, albedem zemského povrchu, sopečnou činností a v posledních staletích i lidskou činností.

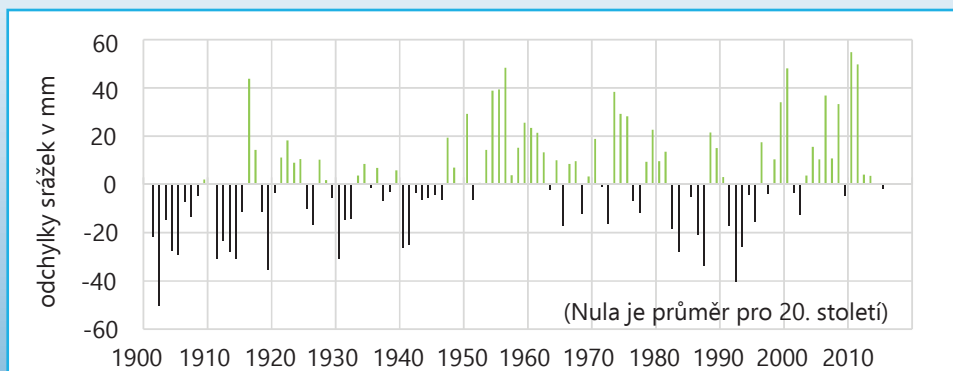
Významný vliv na klima na Zemi má tzv. skleníkový efekt. V atmosféře jsou obsaženy plyny jako vodní pára, oxid uhličitý, metan, oxid dusný, freony, ozon a další, které propouštějí krátkovlnné záření Slunce k Zemi, ale pohlcují dlouhovlnné záření zemského povrchu, a zahřívají tak spodní část atmosféry a zemský povrch. Skleníkový efekt zvyšuje teplotu na Zemi o 33 °C, bez něj by byl celý zemský povrch zmrzlý.

Jak se změnila teplota a srážky?

Teplota na Zemi se v minulosti měnila mnohokrát. Po skončení dob ledových, v období holocénu (posledních 11 700 let), kdy se lidé věnují zemědělství, je již globální průměrná roční teplota poměrně ustálená, pohybuje se v rozpětí asi 4 °C. Poměrně stabilní a teplé klima v holocénu umožnilo rozvoj lidské civilizace.



Kolísání průměrných ročních teplot na Zemi 1901–2015 (zdroj dat: NOAA)



Kolísání ročních srážek na Zemi 1901–2015 (zdroj dat: NOAA)

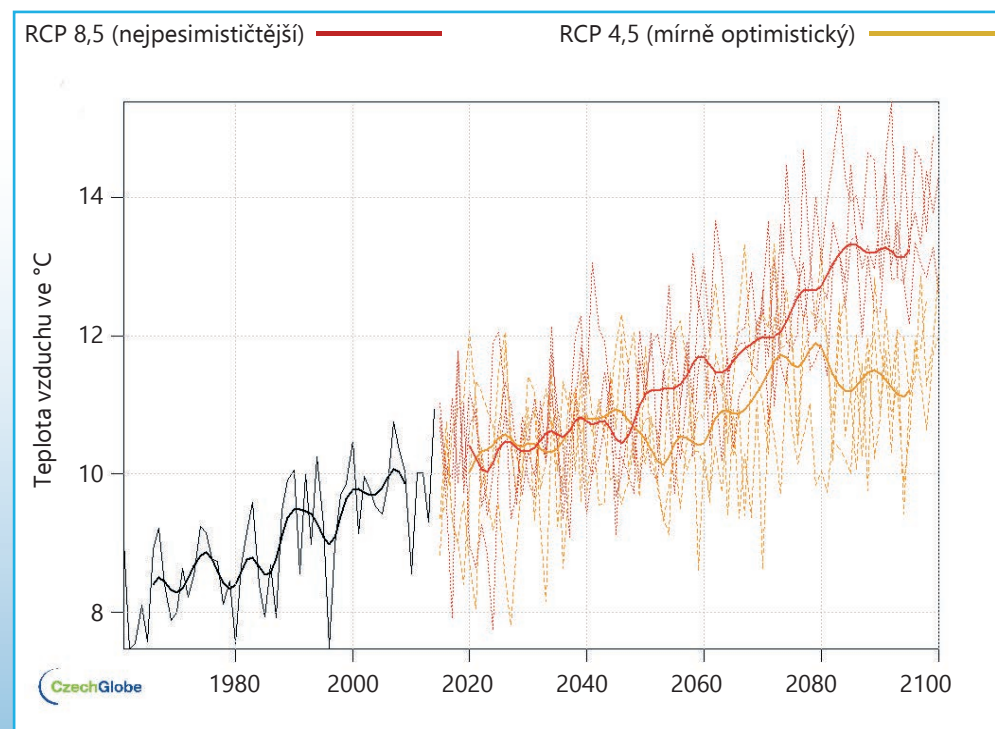
V posledních 50 letech je zřetelný vzestupný trend u teplot ve světě, kde se globální průměrná roční teplota zvýšila ze 14 °C na téměř 15 °C, i v ČR, kde se zvýšila ze 7 °C na 9 °C. Průměrný roční úhrn srážek na Zemi je 990 mm a v posledním století neukazuje žádný významný trend. V ČR je dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek 680 mm a také u něj není prokazatelný trend. Vyšší teplota má za následek větší výpar (zejména z oceánů) a větší množství vodní páry obsažené ve vzduchu. Teplejší vzduch pojme více vodní páry, takže celkových srážek na Zemi nepřibývá, ale absolutní vlhkost vzduchu se zvyšuje. Následkem mohou být silnější přívalové srážky.

Za nejpravděpodobnější příčinu pozorovaného oteplování v posledních desetiletích je považováno zvyšující se množství skleníkových plynů v atmosféře v důsledku lidské činnosti, zejména spalování fosilních paliv. Obsah skleníkových plynů strmě roste a v současnosti dosahuje nejvyšších hodnot za posledních 800 000 let.

Scénáře množství skleníkových plynů

Podle scénářů vývoje produkce skleníkových plynů se pomocí globálních klimatických modelů odhadují budoucí teploty, srážky a další meteorologické prvky.

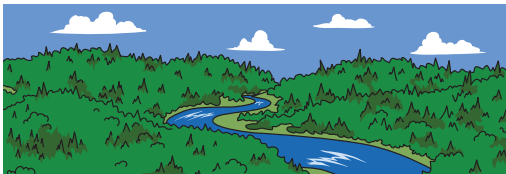
Scénáře SRES (Special Report on Emission Scenarios) z roku 2000 kombinují různé varianty vývoje počtu obyvatel na Zemi a používaných technologií (materiálová náročnost, úsporné technologie, fosilní a nefosilní zdroje energie). Existuje i mnoho dalších scénářů vývoje emisí, a tak se od roku 2014 používají čtyři reprezentativní směry vývoje koncentrací skleníkových plynů v atmosféře nazývané RCP (Representative Concentration Pathway). Jsou označeny čísly, která vyjadřují, o kolik více tepla zadrží atmosféra v roce 2100 díky přibylým skleníkovým plynům (ve watttech na metr čtvereční).



Průměrná roční teplota v Praze a její vývoj dle výstupů modelů EURO-CORDEX

3. URBANIZACE KRAJINY

Urbanizace je proces osvojování přírodního prostředí člověkem. Produktem urbanizace jsou SÍDLA a KULTURNÍ KRAJINA. V dnešní době jsou nová sídla zakládána zřídka, proto se spíše setkáváme se suburbanizací – rozšiřováním předměstí a zvyšováním koncentrace obyvatelstva na úkor venkovského osídlení.

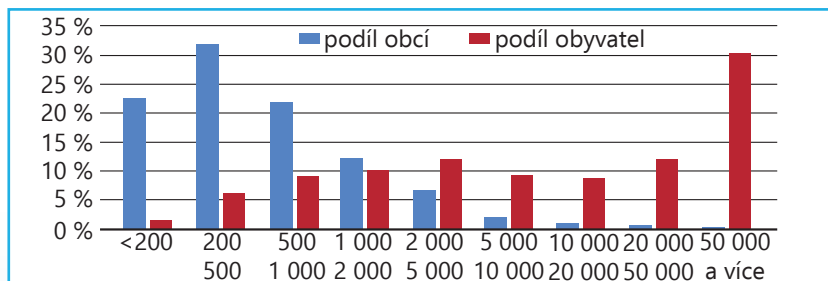


Neovlivněná přírodní krajina



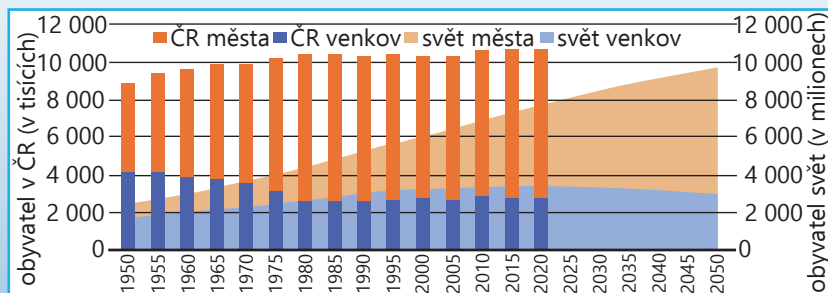
Urbanizovaná městská krajina

Sídla lze rozlišit na venkovská a městská. Pojem město není ve světě jednotný. V ČR se dle počtu obyvatel za města označují obce nad 3 000 obyvatel nebo s historickým statutem města. Od vesnice se liší mj. vysokou hustotou osídlení, demografickou, sociální nebo profesní strukturou obyvatel (nižší zaměstnanost v zemědělství, vyšší ve službách).



Rozložení obyvatelstva ČR dle četnosti populace obcí (zdroj: ČSÚ)

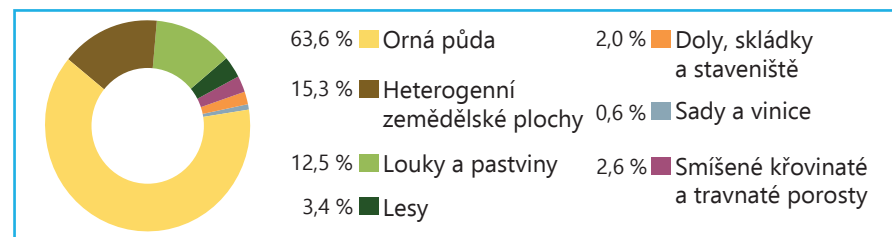
Více než polovina světové populace žije ve městech a tento podíl neustále roste. Předpokládá se, že v roce 2030 dosáhne až 60 %. Rozlohou přitom města pokrývají jen 2,5 % zemské souše. V ČR žije ve městech přibližně 70 % obyvatelstva a tento podíl se v posledních letech přes velké lokální rozdíly v průměru nemění.



Historický a predikovaný počet obyvatel žijících ve městech a na venkově ve světě a na území ČR (zdroj: <https://ourworldindata.org>)

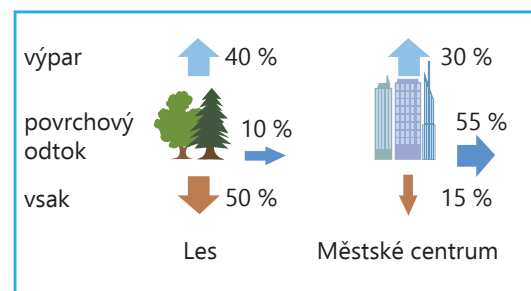
Administrativní rozloha měst zabírá 20 % území ČR, jejich zastavěná plocha pak zhruba 4 %. Urbanizované plochy všech sídel zabíraly v roce 2018 celkem 5 100 km² (od r. 2000 nárůst o více než 400 km²), což představuje 6,5 % rozlohy státu.

Nejviditelnějším projevem suburbanizace je tzv. URBAN SPRAWL – nekoncepční prostorová expanze jádrového města do okolní přírodní a venkovské krajiny. Vzniká nepropojená mozaika rezidenčních a komerčních areálů. Téměř dvě třetiny nově urbanizovaných ploch od roku 2000 vzniklo na úkor orné půdy, více než čtvrtina pak na dalších zemědělských plochách a loukách.



Podíl tříd krajinného pokryvu zabraných urbanizací v období 2000–2018 (zdroj: CORINE)

Urbanizace má silný dopad na vodní režim území. V přirozených podmínkách se většina vody ze srážek vsákne nebo odpaří, jen malá část přímo odtéká. Rozšiřování nepropustných povrchů vede k převaze povrchového odtoku a řadě souvisejících problémů.

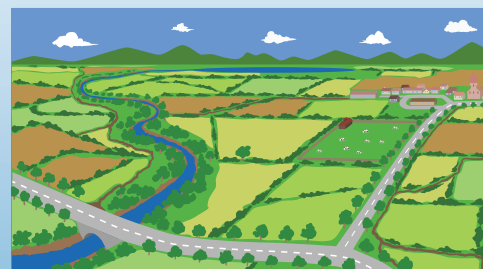


Rozdělení dlouhodobého úhrnu srážek na prvky vodní bilance

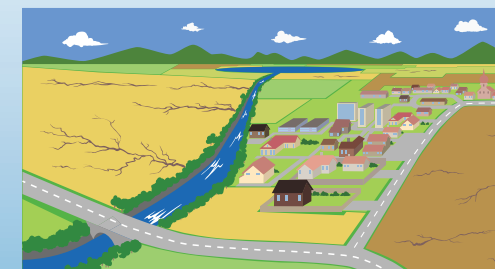
- Snížený výpar a nižší dostupnost vláhy pro městskou zeleň zhoršuje mikroklima města, vzduch je sušší a teplejší, zvyšuje se prašnost.
- Snižuje se dotace do podzemních vod, městské toky vysychají.
- Zvýšený povrchový odtok přetěžuje městskou kanalizaci, způsobuje častější záplavy v okolí městských vodních toků, jejich degradaci erozí, nátržemi, odplavením organismů či přetížením látkovým znečištěním.

Míru urbanizace krajiny mimo sídla nelze popsat jen souhrnnými čísly. Například podíl lesů je nyní nejvyšší od konce 19. století, přesto je dnešní krajina méně rozmanitá a všechny její složky utrpěly vlivem urbanizace značné škody.

Pod tlakem intenzivního zemědělství vymizela z krajiny mnohá biocentra v podobě mezí, remízků, stromořadí a mokřadů. Vodní toky byly napřiměny a zahloubeny, orná půda odvodněna melioracemi. To vedlo k celkovému úbytku vody v krajině a vyšší náchylnosti vůči erozi, povodním i suchu.



Mírně urbanizovaná venkovská krajina

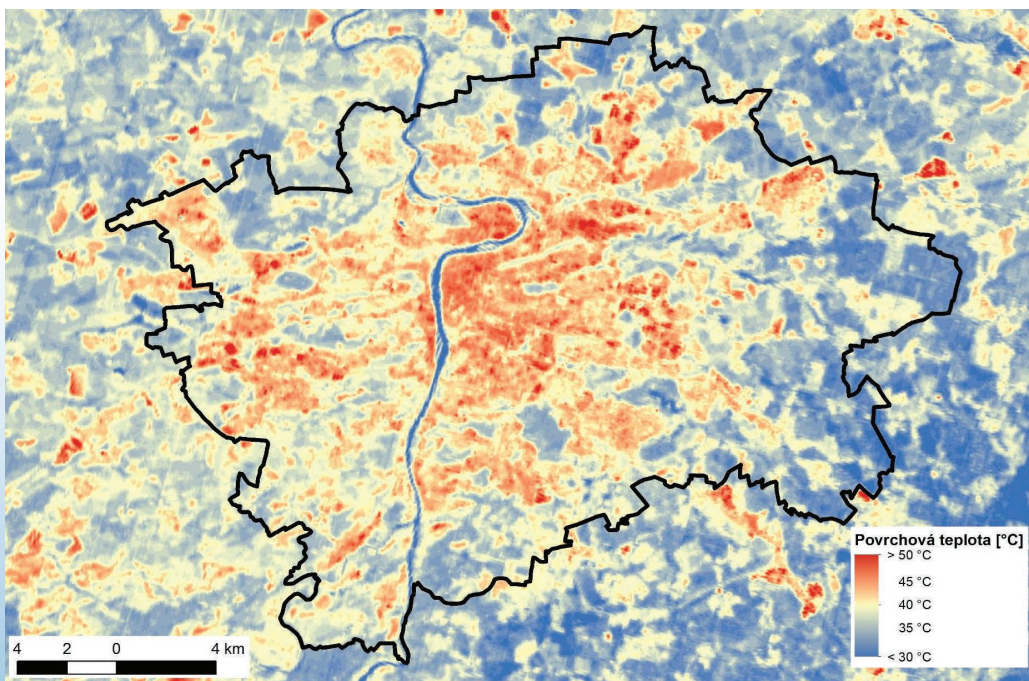


Silně urbanizovaná venkovská krajina

4. MIKROKLIMA MĚSTA

Klima města se liší od okolního klimatu především teplotou. Tepelný ostrov města je důsledkem dvou věcí. Jednak využití slunečního záření je odlišné. Pokud ve městě značnou část povrchů tvoří asfalt, beton, kámen, pálená hlína nebo plech, které sluneční energii absorbují, zahřívají se a sálají teplo do okolí, teplota vzduchu roste. Naproti tomu vodní plochy jsou schopné odrážet sluneční záření a odnímají z okolí teplo na ohřátí vody a výpar. Plochy zeleně spotřebují energii ze Slunce při fotosyntéze a transpiraci. Rostliny chladí své tělo tím, že nasávají kořeny vodu ze země a vydávají vodu listy, čímž chladí i své okolí. Druhou příčinou tepelného ostrova města je druhotné teplo vznikající únikem z budov (tepelné ztráty konstrukcí budov, větráním, klimatizace), z motorových vozidel a průmyslové výroby.

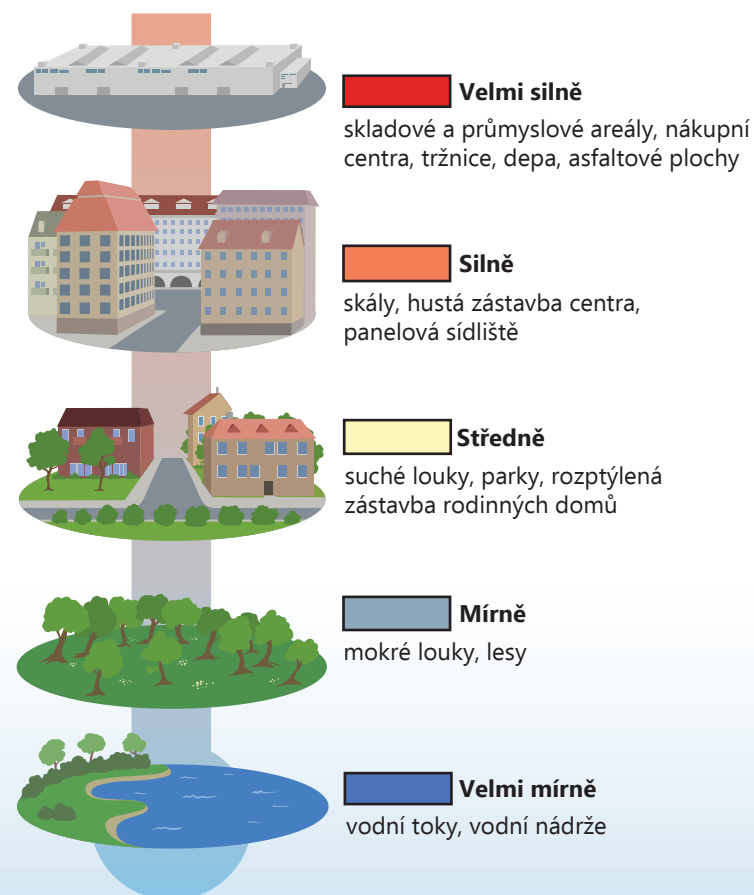
Proto se v současnosti města zaměřují na budování modrozelené infrastruktury. Ideálně by mělo být co nejvíce ploch ve městě porostlých zelení (mimo jiné vegetační střechy) nebo pokrytých vodou. Silniční doprava by měla být omezena, nebo alespoň vedena pod povrchem. U nových budov se věnuje pozornost tepelným izolacím a systému větrání (rekuperace tepla). Snaha používat ve stavebnictví povrchy schopné odrážet sluneční záření je zatím ojedinělá.



Povrchová teplota na území Prahy a v jejím okolí dne 20. 6. 2017 (z dat družice LANDSAT-8) © GISDAT (Na stanici Praha-Libuš byla v tento den naměřena maximální teplota vzduchu 33 °C.)

Jednu výhodu však městská krajina v období horkých vln má. Budovy poskytují stín podobně jako stromy, a tím omezují přehřívání povrchů i lidí. To ovšem neplatí u budov, které mají velkoplošné střechy a postrádají výškovou členitost jako například nádražní haly, sklady, depa a nákupní centra.

Jak se zahřívají jednotlivé povrchy?



U polí je zahřívání závislé na stavu porostu. Holá půda se zahřívá velmi silně. Naopak hustý vzrostlý porost s dostatkem vody se zahřívá jen mírně.

Pro chlazení měst je klíčové zastoupení vody a vegetace. A vegetace potřebuje vodu.

5. MĚSTSKÁ PŮDA

Městské půdy jsou pod silným antropogenním vlivem a tomu také odpovídají jejich vlastnosti, které mají nesporný vliv nejen na infiltraci vody, na vodní kapacitu půdní vrstvy, ale například i na to, jakým způsobem vegetace operuje s půdní vláhou.

Zatímco půda mimo urbanizované území podléhá určitému vývoji, který dává za vznik přirozenému vrstvení půdy, které je zpravidla uzpůsobeno k efektivní propagaci vody půdním horizontem, půda v urbanizovaném území má řadu vlastností, zejména negativních, vyvstávajících z lidské činnosti. Díky tomu, co se s půdou v urbanizovaném území děje, má půda velkou jak horizontální, tak vertikální variabilitu, často bývá velmi zhutněná, s čímž souvisí i omezená možnost proudění vody a provzdušnění, což má za následek snížení aktivity půdní bioty a pohybu živin. Často se na takové půdě vytváří neprostupná kůra, která tyto negativní jevy ještě více prohlubuje. Vzniká tak „mrtvá“ půda s malou schopností infiltrace, malou retenční a akumulací kapacitou.

Vlastnosti městské půdy

Fyzikální a chemické vlastnosti půd ve městech jsou charakteristické vysokou variabilitou v závislosti na jejím využití. Typicky je svrchní horizont narušen a promíchán mechanickou manipulací a ovlivněn technickými zásahy, které mají vliv na následující procesy:

● INFILTRACE

V urbanizovaných povodích často dochází k zhutnění svrchní vrstvy zeminy, a tudíž ke zmenšení velikosti volných pórů, respektive ke snížení infiltrační schopnosti. Infiltraci poté úplně brání zpevněné plochy (asfaltové komunikace, zastavěné plochy apod.), ze kterých je voda odváděna do kanalizace a do půdního profilu se vůbec nedostává.

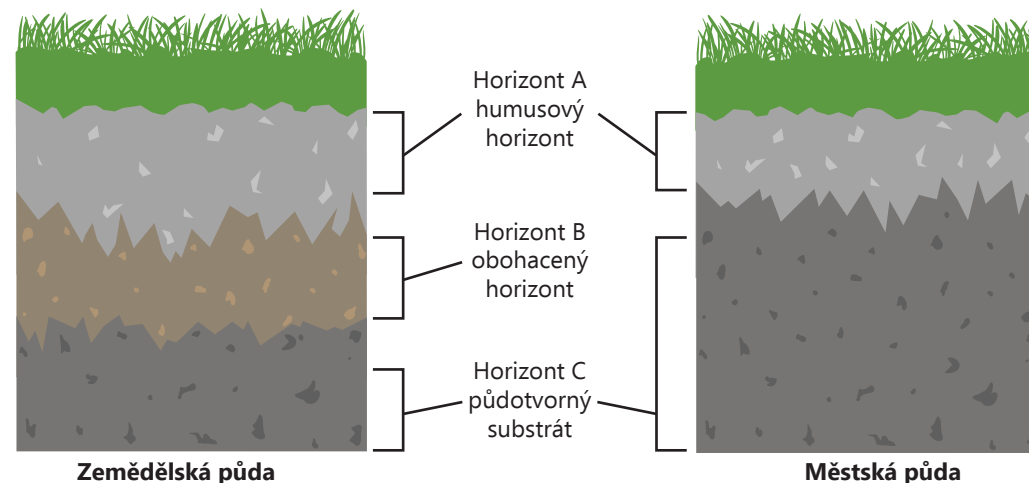
● RETENCE

Retenci vody v půdě v hydrologii se rozumí přirozené dočasné zadržení vody v půdním profilu. Hlavní složkou definující retenční schopnosti půdy je humusová složka, které je zpravidla v městských půdách nedostatek. Negativní vliv na retenci mají také drenážní systémy a jiné druhy odvodnění, které urychlují odtok vody z půdy pryč.

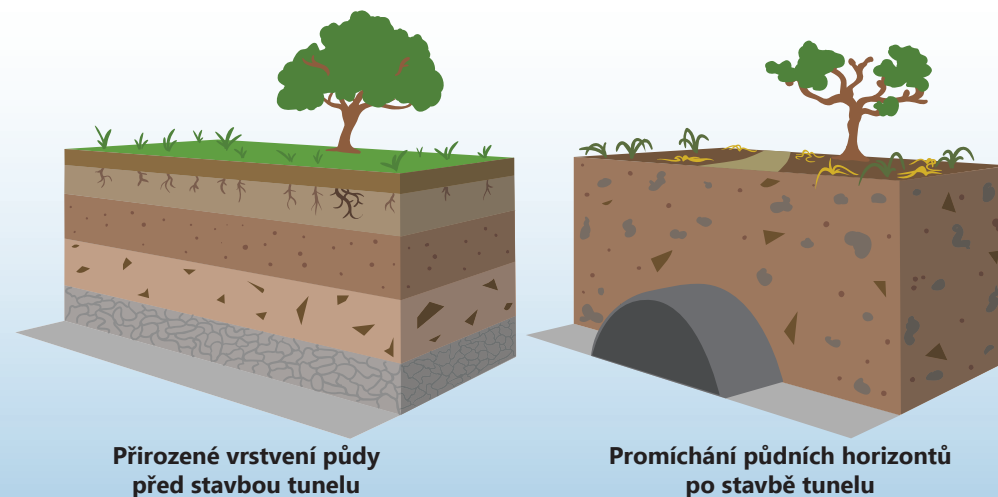
● CHEMISMUS A ZNEČIŠTĚNÍ VODY V PŮDĚ

Pro městské půdy je typický nepřirozený chemismus vzhledem k obsahu cizorodých látek. Kontaminanty, jako jsou těžké kovy, soli a jiné látky, se do půdní vody dostávají při povrchovém odtoku nebo vyplavováním při prosakování vody půdním profilem. Zvýšený obsah solí a vápníku je příčinou všeobecně vyšší hodnoty pH. Chemicky nepřirozené prostředí je nepřívětivé pro půdní organismy.

Typické zvrstvení půdního profilu



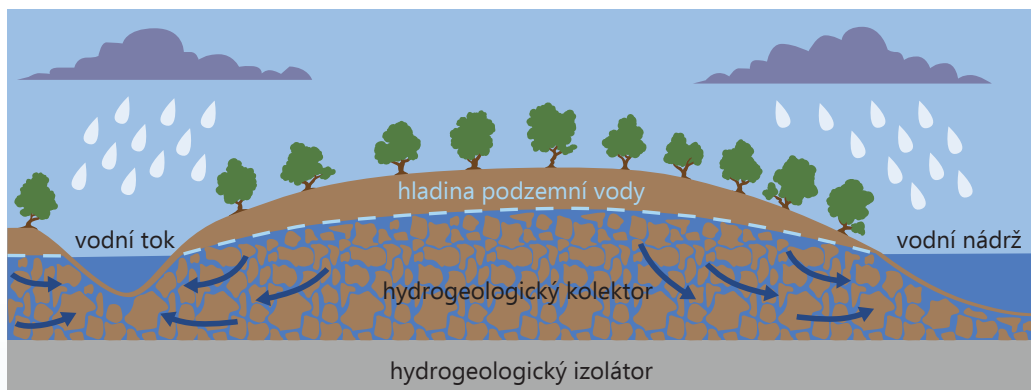
Extrémní případ narušení půdy, nebo spíše její likvidace, nastává v případech hloubených tunelů, kdy jsou veškeré vrstvy půdy odstraněny a po stavbě tunelu je jáma zasypána. V takových podmínkách je půda nefunkční a rostliny na ní trpí, zejména v suchých obdobích.



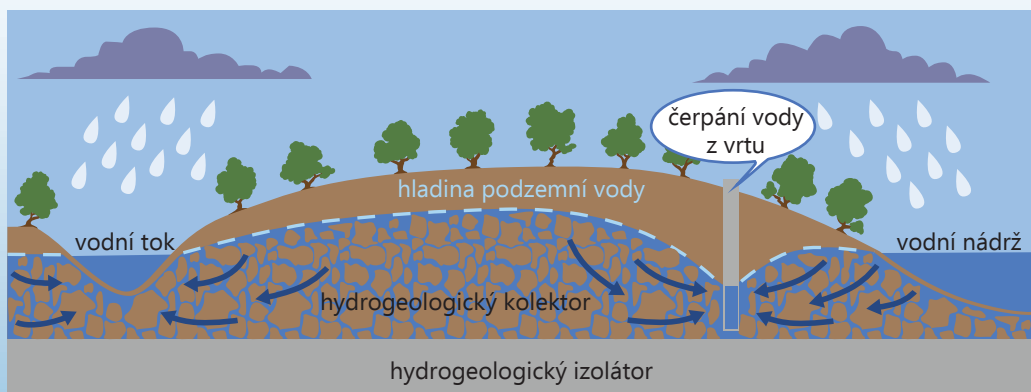
6. PODZEMNÍ VODA

Voda pod zemským povrchem nacházející se v plně nasycených puklinách a pórech horninového prostředí se nazývá podzemní voda. Do podzemí se dostává především plošným vsakováním v období dešťových srážek a v období tání sněhu. Srážková voda nejdříve prochází půdní vrstvou, kde je část vody zadržena a využívána rostlinami nebo odtéká pomocí přirozené či umělé drenáže do vodních toků, přebytek se vsakuje hlouběji a po dosažení hladiny podzemní vody se stává vodou podzemní. Do pohybu se podzemní voda dostává účinkem vnějších sil (zejména gravitace). Vyvěrání podzemní vody na zemský povrch má podobu pramenů nebo skrytých vývěrů do vodních toků a nádrží. Prostřednictvím studní nebo vrtů odebírá podzemní vodu člověk.

Část průtoku ve vodních tocích, který je tvořen vývěry podzemní vody, se nazývá základní odtok. Ten tvoří průměrně 25 až 80 % odtoku, ale v období sucha je to až 100 %. Menší základní odtok je např. z povodí tvořených jílovcem, břidlicí nebo žulou, větší z povodí tvořených pískovcem.



Vsakování, proudění a vyvěrání podzemní vody

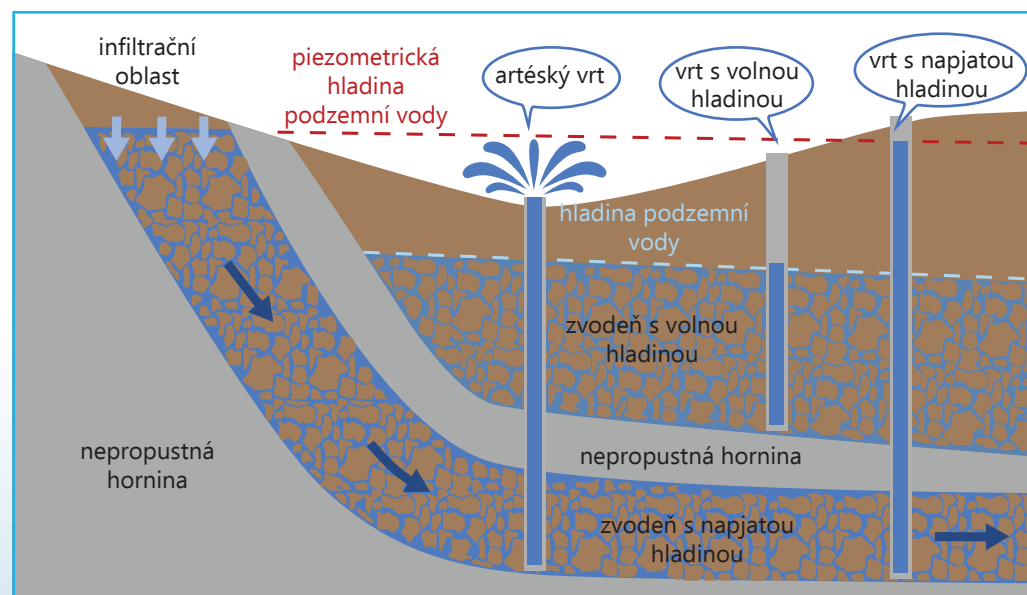


Vliv čerpání podzemní vody na proudění a hladinu podzemní vody

Kvalita podzemní vody

Chemický typ podzemní vody závisí na chemickém složení atmosférických srážek v místě infiltrace, horninovém prostředí a době zdržení v něm, činnosti organismů atd. Do přirozeného složení podzemní vody zasahuje svou činností také člověk. Antropogenní znečištění postupuje horninovým prostředím různě rychle. Zranitelnost podzemních vod znečištěním závisí na typu zvodnění, charakteru oběhu podzemních vod a na schopnosti horninového tělesa propouštět vodu. Obecně jsou dobře propustné mělké kvartérní kolektory (údolní nivy) zranitelnější, protože v prostředí písků a štěrků se znečištění šíří rychle. Naproti tomu v rozsáhlých kolektorech s hlubokým oběhem podzemní vody, vyjma oblastí jejich infiltrace, je zranitelnost nízká, zejména v případě krytí méně propustným nadložím (prachovce, jílovce, jíly). Sanace mělkých struktur je naopak snadněji proveditelná na rozdíl od odstraňování kontaminace proniklé do struktur s hlubokým oběhem (např. sanace po chemické těžbě uranu ve Stráži pod Ralskem).

Podzemní voda je přirozeným zdrojem kvalitní pitné vody, která často nevyžaduje žádnou či jen minimální úpravu. Přibližně polovina pitné vody v ČR pochází z podzemních zdrojů.



Vrty ve zvodni s volnou hladinou a ve zvodni s napjatou hladinou

Hydrogeologické pojmy:

Hydrogeologický kolektor – propustná hornina umožňující shromažďovat vodu

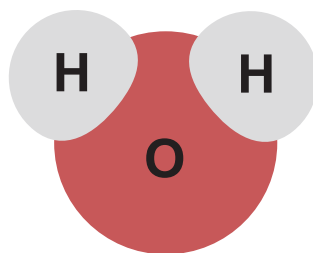
Hydrogeologický izolátor – nepropustná hornina

Zvědeň – spojitě těleso vody nacházející se v hydrogeologickém kolektoru

7. JAKOST PŘÍRODNÍCH VOD

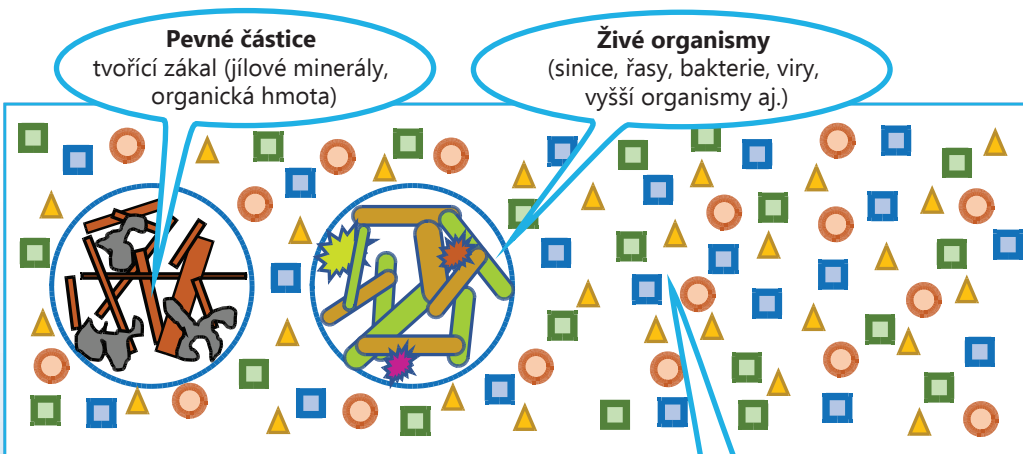
Chemicky čistá voda je sloučenina s chemickým vzorcem H_2O . Skládá se ze dvou stabilních izotopů vodíku 1H a 2H (deuterium) v poměru 5000 : 1 a ze tří stabilních izotopů kyslíku ^{16}O , ^{17}O a ^{18}O v poměru 3150 : 5 : 1.

Voda v přírodě není chemicky čistá, je to komplikovaná směs mnoha látek. Znalost složení vody je důležitá jak pro člověka (použití vody jako pitné), tak pro organismy, které na vodě závisí. V urbanizovaném prostředí je přírodní voda většinou negativně ovlivněna člověkem (znečištění).



Molekula vody H_2O

Jaké je složení přírodních vod? Co všechno ve vodách najdeme?

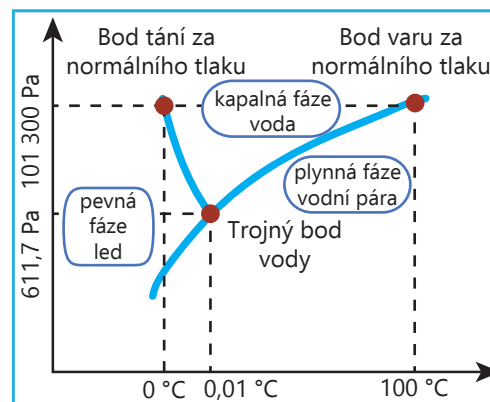


Rozpuštěné látky:

- Hlavní anionty: hydrogenuhličitan HCO_3^- , sírany SO_4^{2-} , chloridy Cl^-
- Hlavní kationty: vápník (Ca^{2+}), hořčík (Mg^{2+}) a sodík (Na^+)
- Rozpuštěné plyny: kyslík, dusík, oxid uhlíčitý, sulfan, radon, metan aj.
- ▲ Vedlejší látky: SiO_2 , kovy (Fe, Mn, Al, Cu, As, Zn, Se,...), organické látky

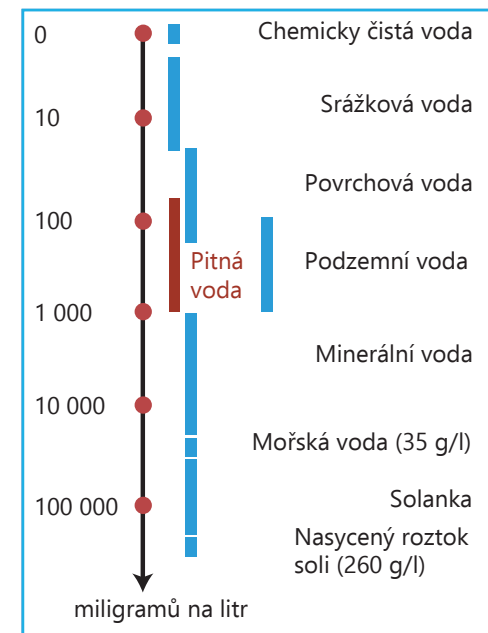
Hlavní anionty a kationty tvoří obvykle 90–95 % složení přírodních vod. Pomocí převládajících hlavních iontů se stanovuje chemický typ vody, např. Ca-Mg- HCO_3 . Podle chemického typu se klasifikují především podzemní a minerální vody.

Tvrdost vody závisí především na množství vápníku a hořčíku rozpuštěných ve vodě. Zahříváním vypadáva z tvrdé vody tzv. kotelní kámen (většinou uhličitan vápenatý a hořečnatý), který poškozuje bojler, pračky, myčky, varné konvice.



Zjednodušený fázový diagram vody

Voda se vyskytuje ve skupenství plynném (pára), kapalném nebo pevném (led) v závislosti na teplotě a tlaku. Trojný bod určuje, při jakém tlaku a teplotě mohou existovat všechny tři fáze současně (611,7 Pa a 0,01 °C).



Rozpuštěné látky v přírodních vodách

Různé druhy přírodních vod se liší i podle celkové mineralizace, tedy podle koncentrace rozpuštěných pevných látek.

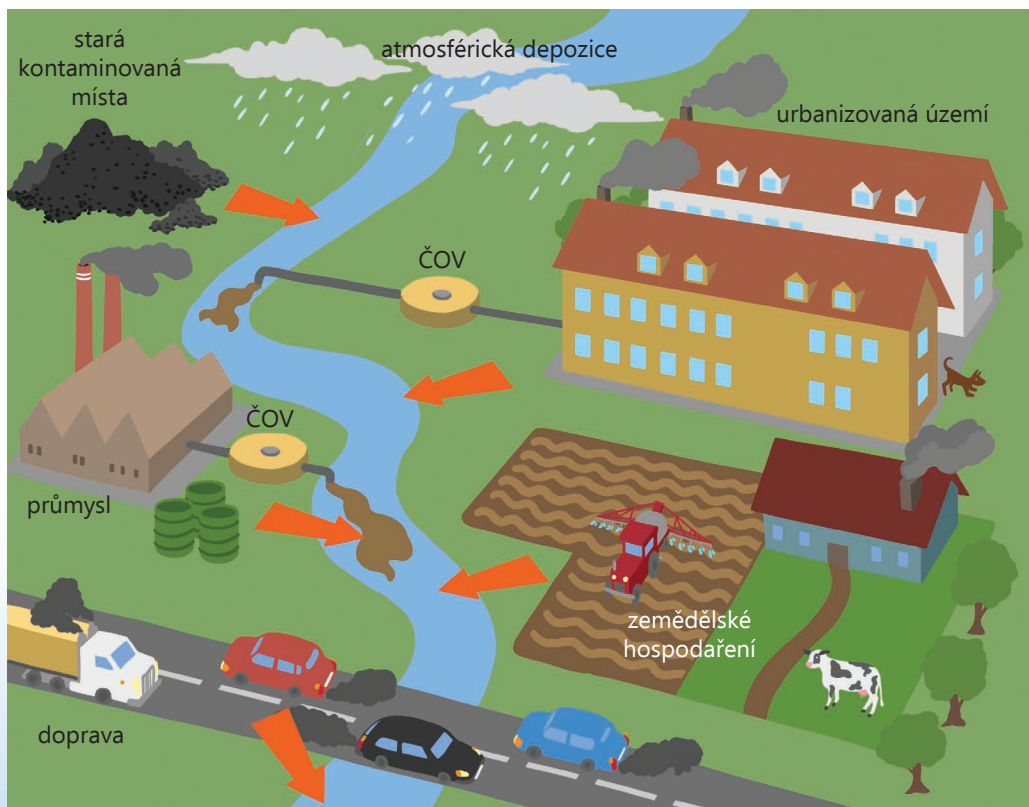
Pitná voda musí podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. splňovat tyto hygienické požadavky:

- Biologická nezávadnost (bez bakterií, virů a dalších organismů)
- Vyhovující chemické složení
- Dobré sensorické vlastnosti (zákal, barva, pach, chuť)

Vodárna sleduje jakost pitné vody ve stanovených intervalech v celkem 65 ukazatelích, další kontrolní rozbory zajišťuje stát prostřednictvím hygienické služby. Hlavní město Praha je zásobováno pitnou vodou ze dvou hlavních zdrojů: z vodní nádrže Švihov na řece Želivce (cca 70 % spotřeby), a z vodárny Káraný na řece Jizeře (30 % spotřeby). Obě vodárny poskytují pražským obyvatelům kvalitní vodu splňující všechny hygienické požadavky.

8. ZDROJE ZNEČIŠTĚNÍ VODY

Působením lidské činnosti může docházet v různé míře ke znečištění povrchových a podzemních vod. Zdroje znečištění se dělí na bodové a plošné. Bodové zdroje zahrnují vypouštění odpadních vod, úniky látek z průmyslu a dopravy, nebo i znečištění ze (starých) kontaminovaných míst (třeba skládek, průmyslových podniků nebo těžebních prostorů). Plošné zdroje znečištění představují důsledky hnojení a užívání pesticidů v zemědělství a spad znečišťujících látek z ovzduší (atmosférická depozice).



Zdroje znečištění vody

Co vodu znečišťuje?

● MIKROORGANISMY

Výzkum městských pramenů a toků ukázal, že nejběžnější v jejich vodách je kontaminace mikrobiologická (mj. fekální bakterie). Ta je způsobena jak úniky z kanalizací, tak třeba i intenzivním venčením psů. Bakterie, jako např. *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* nebo enterokoky, způsobují infekční onemocnění.

● ŽIVINY

Velmi běžnou kontaminací jsou sloučeniny dusíku a fosforu. Pocházejí z komunálních odpadních vod a ze zemědělství. Mimo jiné způsobují růst sinic a řas, které omezují možnost koupání v přírodních koupalištích, protože způsobují zažívací, kožní a respirační obtíže, případně i jaterní problémy nebo rakovinu. Vodní organismy včetně ryb navíc poškozují nebo zabíjejí v důsledku spotřebování kyslíku ve vodě.

● OKYSELENÍ

Acidifikace vod je způsobena zejména vymýváním anorganických znečišťujících látek z ovzduší. Ty se do městského vzduchu dostávají jak z vytápění (oxid siřičitý), tak z intenzivní dopravy (oxidy dusíku). Ze vzduchu se dostávají zpět na zem spadem nebo spolu se srážkami. V kyselých vodách pak dochází k uhynutí ryb a dalších živočichů a rostlin.

● ZASOLENÍ

K nadměrnému zatížení vod solemi může docházet například vnosem chloridů buď z odpadních vod, nebo i tak běžnou činností, jako je zimní údržba vozovek a chodníků solením či intenzivní venčení domácích mazlíčků.

● ŠKODLIVÉ ORGANICKÉ LÁTKY A TOXICKÉ KOVY

Ještě výraznější následky mohou mít úniky průmyslových odpadních vod, dopravní havárie a výluhy ze (starých) kontaminovaných míst. Tyto zdroje znečištění často obsahují celou škálu zejména škodlivých organických látek a toxické kovy, jakými jsou třeba rtuť, kadmium a olovo, které způsobují otravy.

● TEPELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ

Chladicí voda z elektráren a průmyslové výroby nebo z komunálních čistíren odpadních vod vypouštěná do vodních toků má vyšší teplotu než voda ve vodních tocích. Vyšší teplota vody znamená nižší obsah rozpuštěného kyslíku, rychlejší rozklad organických látek a také zvýšení toxicity některých chemických látek. To vše dopadá na vodní organismy, jejich druhovou skladbu, vitalitu a množství. Některé organismy se přemnožují (sinice, řasy), jiné naopak mizí (např. původní druhy ryb).

● ZÁKAL VODY

Přítomnost většího množství pevných částic vznášejících se ve vodě zhoršuje průhlednost vody. Zákal může být způsoben erozí půdy a také špatně čistěnými odpadními vodami např. ze stavebnictví. Zakalená voda ohrožuje vodní organismy – snižuje se fotosyntéza vodních rostlin, zanášá se žábry ryb, sediment mění charakter dna apod.

Dá se proti znečišťování vody bojovat?

V posledních desetiletích se klade důraz na předcházení znečištění vod a tím i lepší zdraví lidí a dalších organismů. Bylo například zakázáno používání některých toxických látek, odsířeny tepelné elektrárny, zlepšilo se nakládání s odpady, přechází se na šetrnější technologie výroby a vytápění, dochází k lepšímu čištění odpadních vod a jsou sanována stará kontaminovaná místa. V některých případech, mj. v zemědělství, se nám ale omezování znečištění vod daří jen omezeně. V případě znečištění toků, například zbytky léčiv z odpadních vod, jsme teprve na počátku omezování jejich vlivu.

9. DOPADY ZEMĚDĚLSTVÍ NA JAKOST VODY

Dusík je nezbytnou živinou napomáhající růstu rostlin a hospodářských plodin, ale jeho vysoké koncentrace škodí člověku i přírodě. Zemědělské využití dusičnanů je jedním z hlavních zdrojů znečištění ve vodách. V přírodě existuje přirozený koloběh dusíku: rostliny přijímají dusík z půdy a živočichové se živí rostlinami. Po jejich uhynutí dochází k rozkladu rostlin, a tím se dusík vrací zpět do půdy, kde jej přemění bakterie. Nadměrným hnojením se tento koloběh naruší a dochází k znečištění vod, eutrofizaci a skleníkovému efektu emisemi plynů. Jedná se o plošné znečištění, které je ovlivňováno klimatickými událostmi, přírodními poměry a způsobem využití území. Eliminace znečištění je možná změnou způsobu hospodaření.



Pro ochranu vod před zemědělským znečištěním jsou stanovena pravidla možnosti hnojení i uložení složiště hnoje v predepsané vzdálenosti od vodního toku

Ochrana vod před znečištěním dusičnany je řešena právními předpisy Evropské unie i českou legislativou.

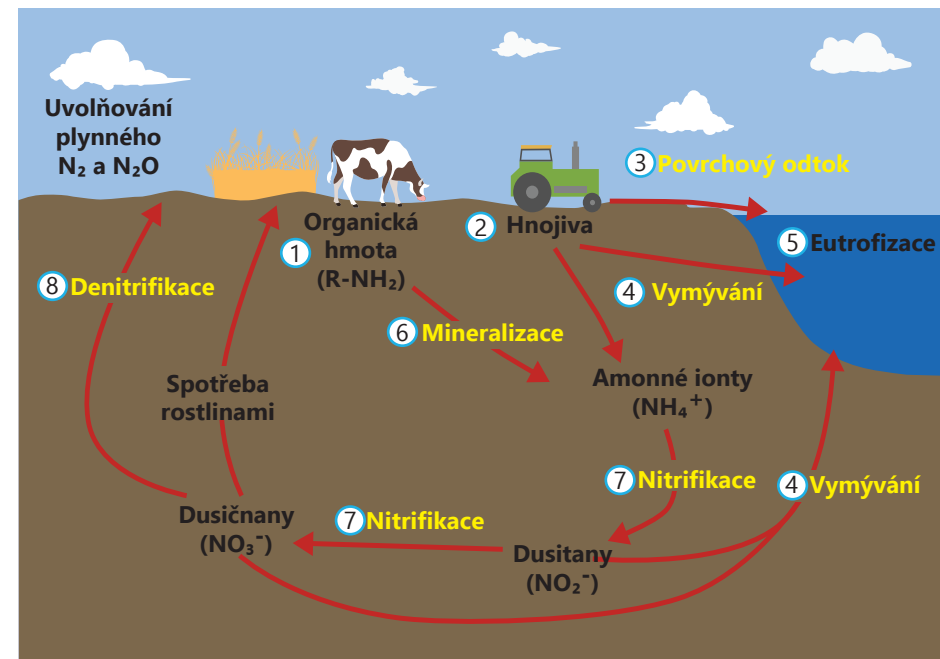
ZRANITELNÉ OBLASTI:

- Oblasti, kde se vyskytují vody znečištěné dusičnany ze zemědělských zdrojů.
- Oblasti, kde koncentrace dusičnanů ve vodách jsou 50 a více mg/l.
- Území, ve kterých v důsledku zemědělské činnosti dochází k eutrofizaci vod.

SOUBOR OPATŘENÍ, KTERÁ MAJÍ SNÍŽIT ZNEČIŠTĚNÍ VOD DUSIČNANY:

- Zákaz hnojení v zimním období.
- Stanovení maximálního limitu použití hnojiv ve výši 170 kg N/ha za rok.
- Stanovení minimální kapacity skladovacích prostor pro statková hnojiva.
- Stanovení využívání a obhospodařování půdy na svažitých pozemcích.
- Zavedení maximálních limitů hnojení k jednotlivým plodinám.

Koloběh dusíku v zemědělské krajině



① Hnojení polí organickou hmotou (hnůj).

② Hnojení umělými (minerálními) hnojivy.

Správná dávka hnojiv je spotřebována rostlinami na polích na jejich růst. Dusík, který nespotřebují rostliny na svůj růst, způsobuje znečištění vod:

③ Přímý splach do povrchových vod.

④ Průsak pod povrch terénu do půdní a podzemní vody a následné vymývání do povrchové vody.

⑤ EUTROFIZACE VOD je proces obohacování vod o živiny, zejména dusík a fosfor. Jejich původem jsou zemědělská hnojiva nebo splaškové odpadní vody. Nadbytkem živin dochází k přemnožení sinic, řas a dalších organismů. Po jejich odumření nastává rozklad organické hmoty, tvorba toxinů a nedostatek kyslíku ve vodě, což má dopad na ryby a další vodní organismy.

Biogeochemické procesy ovlivňující koloběh dusíku (za spolupůsobení mikroorganismů):

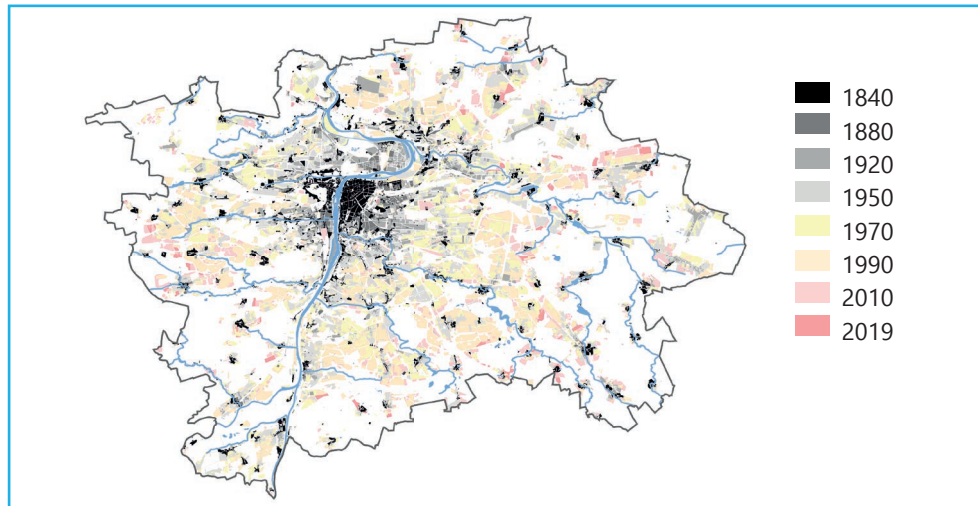
⑥ MINERALIZACE – rozklad organické hmoty na jednoduché anorganické sloučeniny amonné ionty NH_4^+ .

⑦ NITRIFIKACE – proces oxidace amonného dusíku NH_4^+ na dusitany NO_2^- a dusičnany NO_3^- – sloučeniny vhodné pro výživu vyšších rostlin.

⑧ DENITRIFIKACE – proces přeměny dusičnanů NO_3^- na plynný dusík N_2 , který uniká do atmosféry.

10. VLIV URBANIZACE NA VODU V PRAZE

Postupné osidlování území Prahy s sebou neslo i změny vodních poměrů. Již ve středověku stavby opevňovacích systémů, zahrnující valy, hradby a příkopy, změnily odtok podzemních i povrchových vod podobně jako tunely a mosty pro železnici, silnice a metro v pozdější době.

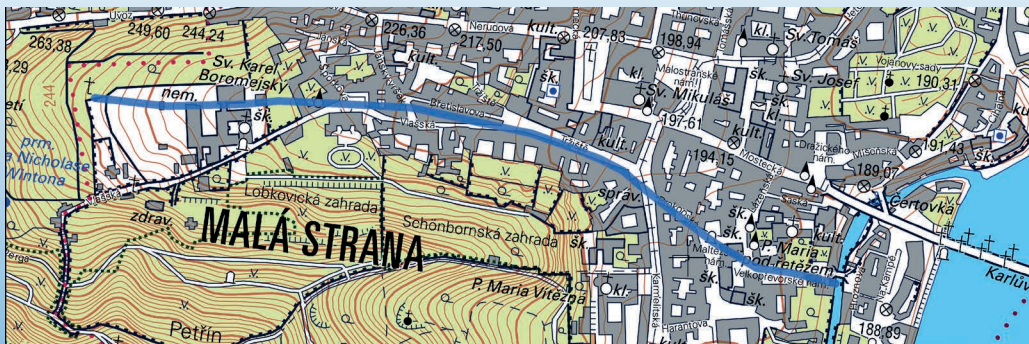


Vývoj zástavby na území dnešní Prahy v období 1840–2019

Změny hydrografické sítě

Zastavení povodí způsobilo zmenšení infiltračních ploch, což mělo za následek úbytek zdrojů vody pro potoky během suchých období. Některé prameny a potoky byly v minulosti svedeny do lokálních vodovodů nebo do kanalizace. Například prameny ze svahů Petřina byly využívány pro Strahovský klášter, prameny Brusnice zásobovaly vodou Pražský hrad. Tak zanikl např. Malostranský potok, Veleslavínský potok, potok v ulici Jeremenkova nebo potok v Kateřinské ulici.

Některé potoky jen zmizely z očí v potrubí pod úrovní ulice, protože obtěžovaly své okolí vyléváním ze břehů, podemláváním nebo znečištěním a zápachem zapříčiněným splašky, které do nich byly zaústěny nebo pro nedostatek místa. Zatrubnění nejvíce postihlo Radlický a Motolský potok.



Přibližná trasa zaniklého Malostranského potoka o délce 1 km

Proměny Vltavy

Tvar koryta Vltavy byl upravován pro různé hospodářské zájmy. Vznikaly jezy, mlýnské náhony, přístavy, vorové propusti atd. Asi nejrozsáhlejší změny přinesl projekt plného splavnění Vltavy pro lodní dopravu v konce 19. století. Některé ostrovy zanikly, části koryta byly zasypány a jinde zase vyhloubeny. Největší úpravy zasáhly oblast Holešovic, Karlína, Libně, Bubenče a Troji.

Prospěch Vltavy byl ale vyvážen důsledky častých povodní dosahujících někdy až na Staroměstské náměstí. Potřeba usměrnit povodně vedla k výstavbě vyvýšených zpevněných nábřeží v letech 1841 až 1913. Přístup k řece, přistávání a kotvení lodí pak zajišťovaly náplavky. Po povodni 1997 na Moravě byla protipovodňová ochrana doplněna a zvýšena systémem protipovodňových zdí, valů, mobilních stěn a dalších prvků. Od roku 1954 je průtok Vltavy za suchých období nadlepšován na 40 m³/s soustavou nádrží Vltavské kaskády, která je rovněž schopna ochránit Prahu před menšími povodněmi (do 20leté vody). Díky těmto nádržím Vltava v Praze v zimě již nezamrzá.



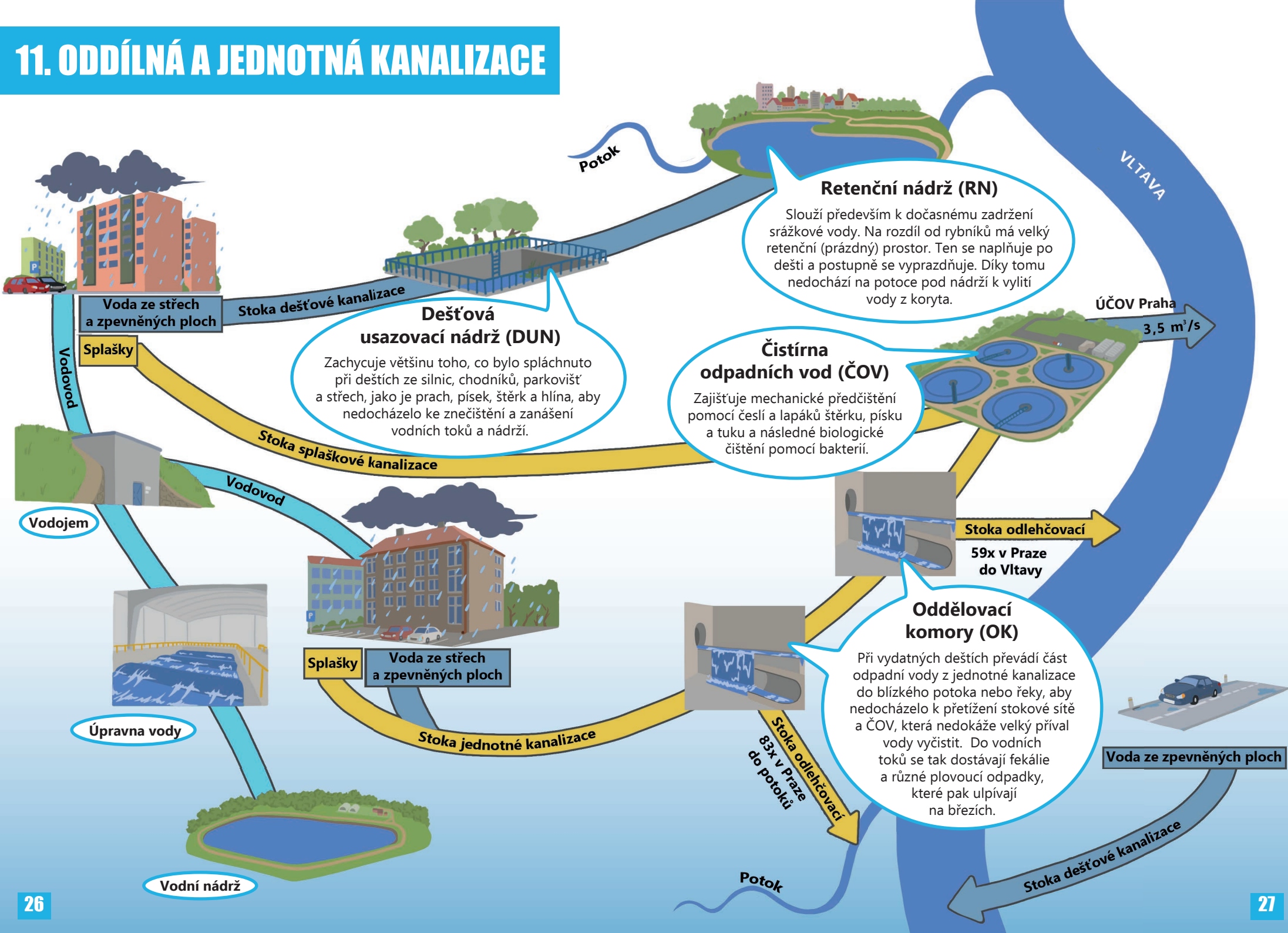
Regulace Vltavy na přelomu 19. a 20. století určila její dnešní podobu

Rozvoj vodohospodářské infrastruktury

Hlavním zdrojem pitné vody byly od počátků osídlení až do 19. století místní prameny a Vltava. Stále vyšší poptávka po kvalitní pitné vodě vedla k výstavbě vodárny v Káraném, která od roku 1914 zásobuje Prahu infiltrovanou vodou z Jizery. Po zvětšení území Prahy byla v roce 1929 vybudována nová vodárna v Podolí. V současné době je nejvýznamnějším zdrojem pitné vody pro Prahu úpravná vody Želivka, ze které je Praha zásobována od roku 1972.

Stoková síť se buduje od roku 1787 a zpočátku ústila do Vltavy. Od roku 1906 byly odpadní vody v Praze odváděny na čistírnu odpadních vod v Bubenči. Dalším zlomem bylo vybudování Ústřední čistírny odpadních vod v roce 1966 a zároveň výstavba oddílné kanalizace pro novou sídlištní zástavbu, která odděluje srážkové vody od vod splaškových.

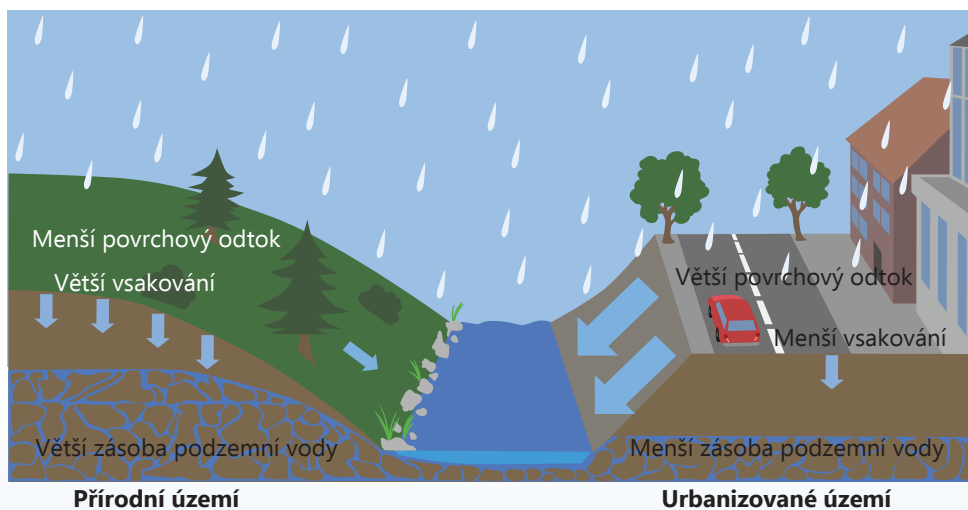
11. ODDÍLNÁ A JEDNOTNÁ KANALIZACE



12. VLIV URBANIZACE NA REŽIM ODTOKU

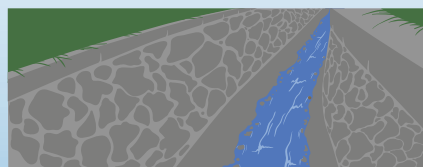
V přírodní krajině je odtok srážek zpomalen a redukován díky vysoké míře infiltrace, retence v půdě, vegetaci, která zadržuje srážky, říčním meandrům, jež prodlužují čas odtoku a drsnosti koryta. V dlouhodobém měřítku je celkový odtok také menší, protože voda je odebírána rostlinami při transpiraci, z půdy a vodních ploch se voda vypařuje.

Hustě zastavěná území zahrnují velké plochy zpevněného povrchu. Povrchový odtok převládá, protože z ulic, střech a jiných zpevněných povrchů odtéká voda okamžitě do kanalizace, která také urychluje odtok. Koryta vodních toků jsou často napřímená a opevněná. Většina srážek odeče krátce po dešti, přesto je celkový odtok větší než v přírodní krajině.



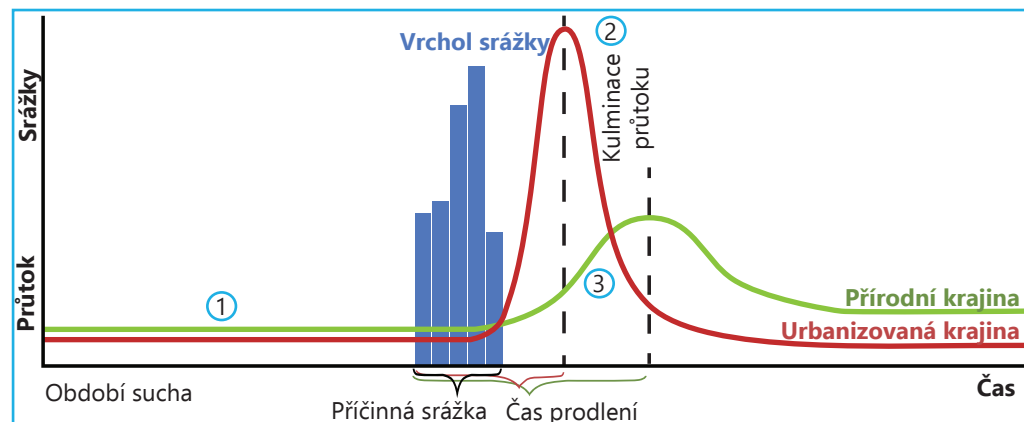
V urbanizovaném území je obvykle méně podzemní vody, protože velká část srážek odtéká po povrchu. Kromě toho jsou podzemní zvodně narušeny podzemními stavbami, jako jsou metro a jiné tunely, zářezy komunikací, inženýrské sítě s propustným obsypem apod. V silně urbanizovaném území drobné vodní toky často zanikají, protože přicházejí o své zdroje. Někdy jsou také malé vodní toky a prameny zaústěny do kanalizace. V minulosti docházelo k zatrubnění potoků a zároveň do nich byla zaústěna dešťová kanalizace, staly se tak spíše součástí kanalizačního systému.

I vodní toky v otevřených korytech jsou využívány pro odvod dešťové vody. Aby nedocházelo při silných deštích k vyhlížení potoků ze břehů a vymílání koryt, staví se ve městech retenční nádrže a kapacitní opevněná koryta.



Kapacitní opevněné koryto

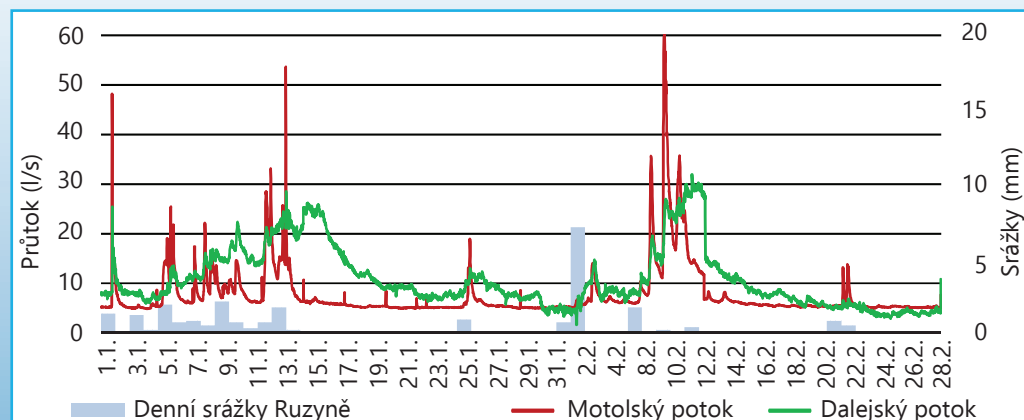
V současnosti se přístup k odvádění vody mění. Trendem je vsakování a zadržování srážkové vody v místě spadu. Omezením povrchového odtoku je možné zmenšit povodně i zmírnit sucho.



Hydrogram průtokové vlny

- 1 V bezdeštném období dochází k poklesu průtoků v korytech řek a potoků. Přirozený odtok je tvořen pouze podzemní vodou. V přírodní krajině a v krajině s méně zastavěným povrchem jsou zásoby podzemní vody větší než ve srovnatelné urbanizované krajině.
- 2 Vodní toky v urbanizovaných povodích reagují na srážky rychlým vzestupem průtoků a rychlým poklesem na původní stav. Kulminační průtok dosahuje vysokých hodnot. V přírodní krajině nastává kulminační průtok se zpožděním, pozvolna odeznívá a je menší.
- 3 Objem průtokové vlny bývá v urbanizovaných povodích větší, a to kvůli malé infiltraci a retenci srážek.

Na ukázkou byly vybrány dva levostranné přítoky Vltavy v Praze, které pramení poblíž hranice Prahy. Motolský potok pramení na úpatí cenomanských pískovců, ve kterých se dobře akumulují srážkové vody, což mu zaručuje stabilní průtok po celý rok. Plocha jeho přirozeného povodí po měrný profil je jen 1,5 km². Jsou do něj ale zaústěny dešťové stoky z rozsáhlých průmyslových a nákupních areálů na Zličíně, které způsobují rychlé vzestupy průtoků po deštích nebo tání sněhu. Dalejský potok pramení ve spráších v Chrástanech v létě často téměř vysychá. Měrný profil je umístěn v Řeporyjích. Zástavba tvoří pouze asi 20 % jeho povodí s plochou 7,5 km², část jeho povodí je odvodněna dešťovou kanalizací do Motolského potoka. Zbytek povodí je převážně zemědělsky využíván jako orná půda. Kulminační průtoky nedosahují tak vysokých hodnot jako u Motolského potoka a poklesové čáry průtoků jsou pozvolnější.



Hydrogramy pro období leden až únor 2019, srážky dešťové a sněhové

13. VYUŽITÍ SRÁŽKOVÝCH VOD VE MĚSTECH

Předchozí generace se zabývaly odvodňováním pozemků a „likvidací dešťových vod“. V současném suchém a teplém období si vody více vážíme a zadržujeme ji, ať už v různých typech nádrží, nebo přírodních podzemních rezervoárech – kolektorech. Prozaickým impulsem pro analýzu možností, jak naložit s dešťovou vodou, bývá však nedostatečná kapacita kanalizačních stok nebo čistíren odpadních vod. Již mnoho let platí několik právních předpisů (vyhláška č. 501/2006 Sb., vyhláška č. 268/2009 Sb., nařízení č. 10/2016 Sb. hl. m. Prahy), které stanovují u nových staveb pořadí, jak nakládat se srážkovými vodami. Vsakování dešťových vod je preferováno před vypouštěním do dešťové kanalizace, případně jednotné kanalizace.

Jaké máme možnosti, když chceme bojovat se suchem, horkem, povodněmi a znečištěním vod zároveň?

Vsakování vody

POVRCHOVÉ je nejpřirozenější způsob využití srážkové vody. Ve městech je třeba mu trochu pomoci – svést vodu ze střech a zpevněných ploch do ploch zeleně, terénních prohlubní nebo nádrží s propustným dnem, nahradit zpevněné plochy propustnou dlažbou či pórobetonem. Voda se při průchodu půdním profilem čistí, nedochází tak ke znečištění podzemních vod. Vsakování je možné podpořit přidáním štěrku nebo písku.

V obou případech vhodné řešení určíme na základě geologického průzkumu.

PODZEMNÍ není úplně přirozené. Je třeba vyhloubit jámu, odvézt část výkopku. Do jámy se mohou umístit: plastové perforované bloky nebo tunely, betonová nebo plastová šachta či štěrku. Vše se zasype zeminou. Do takto vzniklých podzemních dutin se potrubím přivede srážková voda. Před vstupem do vsakovacího prvku je nutné vodu předčistit. Nežádoucím efektem může být vysoušení nadloží, protože vsakovací prvek působí jako drenáž.

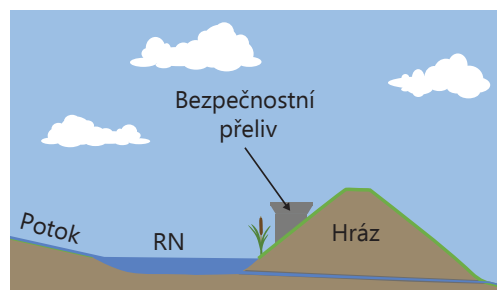


Povrchové a podzemní vsakování srážkové vody

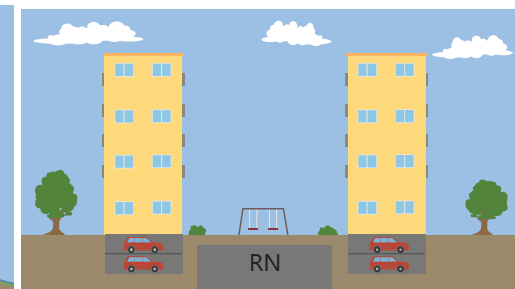
Dočasné zadržení vody

POVRCHOVÉ RETENČNÍ NÁDRŽE na vodních tocích mohou být suché (lidově zvané poldry) nebo se stálou hladinou. Slouží k ochraně území pod nimi před povodněmi. Další menší nádrže blíže u zdrojů dešťové vody mohou chránit též kanalizaci před přetížením (viz podzemní retenční nádrže). Jejich druhotným účinkem je zlepšování mikroklimatu, spolu s doprovodnou vegetací dotváří krajinu a jsou využívány k rekreaci.

Oba typy chrání před povodněmi a před odlehčením splašků do vodních toků. Po deštích nadlepšují průtoky ve vodních tocích po dobu maximálně několika dní.



Povrchová retenční nádrž



Podzemní retenční nádrž

Shromažďování vody

POVRCHOVÉ AKUMULAČNÍ NÁDRŽE zadržují vodu za účelem jejího dalšího využití (chov ryb, rekreace, nadlepšení průtoky, zlepšení mikroklimatu a biodiverzity). Většinou mají zdroj vody pro doplňování během bezdeštného období, nejčastěji vodní tok. Retenční prostor bývá malý, jejich protipovodňový účinek je slabý.

Využití obou typů: zalévání, mytí aut, úklid, praní, splachování, požární voda

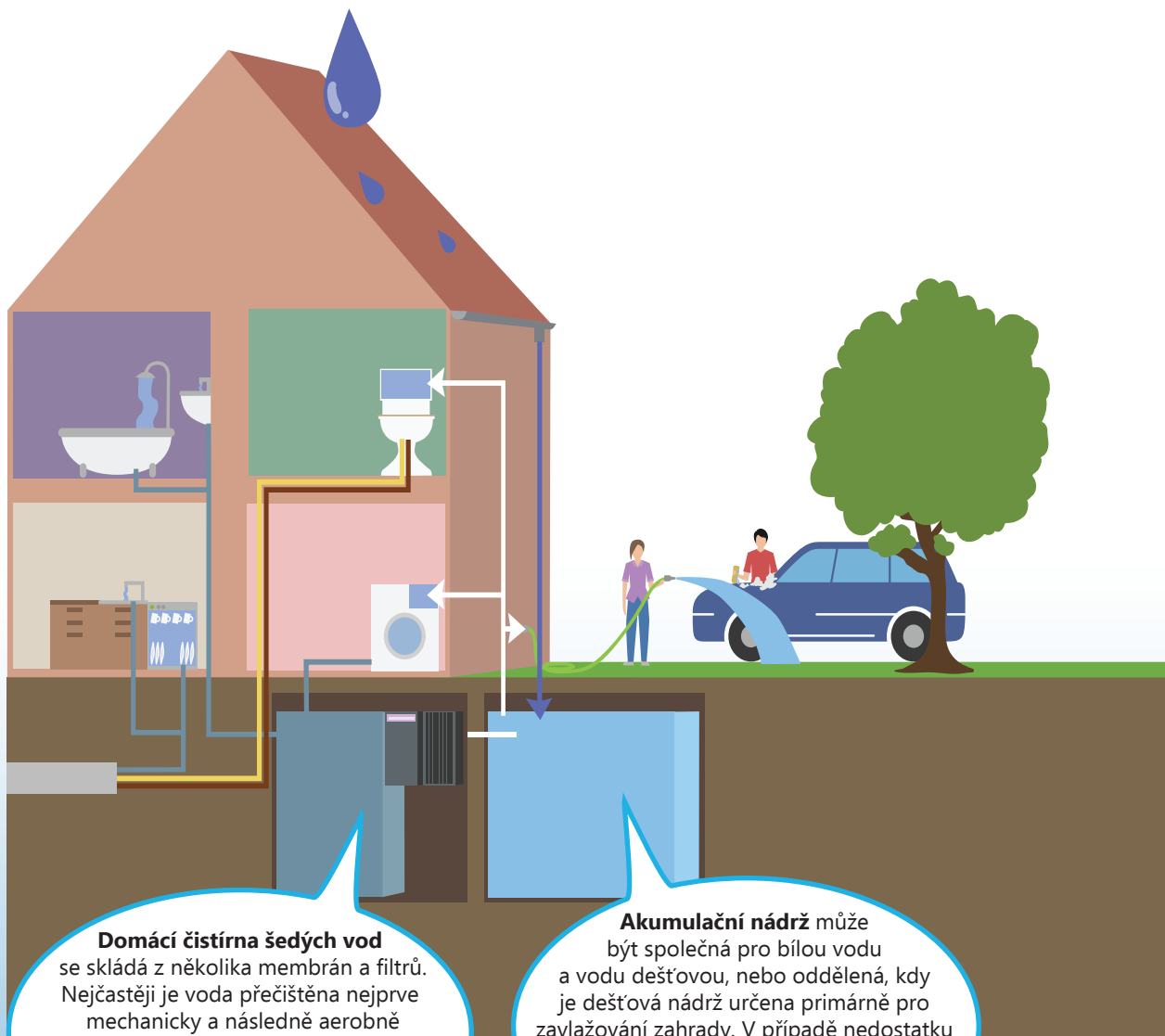
PODZEMNÍ AKUMULAČNÍ NÁDRŽE mají rovněž zásobní funkci. Jejich výhodou oproti povrchovým nádržím je, že neztrácejí vodu výparem z vodní hladiny, voda se v nich nepřehřívá a netrpí nadměrným růstem řas a sinic. Naopak postrádají živé organismy, nedotvářejí krajinu a neslouží k rekreaci.

Vegetační střechy

V husté městské zástavbě jsou střechy často jedinou možností, kde realizovat opatření k zadržení srážkové vody a snížení odtoku, která zároveň zlepšují mikroklima a plní celou řadu ekologických funkcí. Proto je v některých městech již povinné u určitých nových staveb budovat zelené střechy.



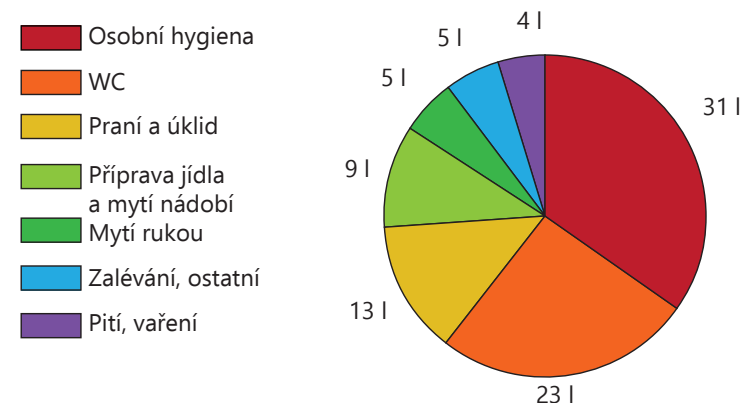
14. RECYKLACE VODY V DOMÁCNOSTECH



Domácí čistírna šedých vod se skládá z několika membrán a filtrů. Nejčastěji je voda přečištěna nejprve mechanicky a následně aerobně biologickým způsobem – nečistoty jsou rozloženy díky mikroorganismům živým kyslíkem. Může však také zahrnovat čištění pomocí UV záření aj.

Akumulační nádrž může být společná pro bílou vodu a vodu dešťovou, nebo oddělená, kdy je dešťová nádrž určena primárně pro zavlažování zahrady. V případě nedostatku nahrazuje dešťová voda využití bílé vody v domácnosti. Při přebytku vody v nádrži je voda vypouštěna přepadem do kanalizace.

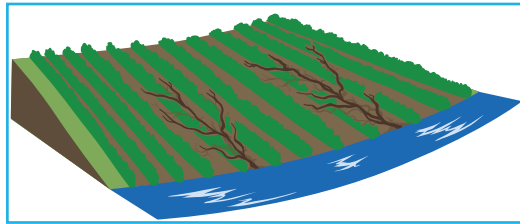
Spotřeba vody v domácnostech (osoba/den)



Dešťová voda	Dešťová voda je ideální náhradou pitné vody pro zavlažování zahrady i pro splachování toalet či praní prádla a mytí podlah či aut. K úpravě vody obvykle stačí mechanické přečištění.
Žlutá voda	Žlutá voda, tedy moč, se skládá z roztoku metabolických odpadů. Obsahuje močovinu a další organické látky a soli, např. chlorid sodný.
Hnědá voda	Hnědými vodami se rozumějí fekálie, které obsahují především uhlík. Dále dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík a železo.
Černá voda	Klasickým odváděním odpadních vod z toalet – tzn. hnědých a žlutých vod současně – získáváme vody černé.
Šedá voda	Šedou vodou nazýváme splaškové odpadní vody, které odtékají z umyvadel, van, sprch, praček apod. a neobsahují fekálie ani moč. Šedou vodu je možné po úpravě využívat jako vodu provozní (tzv. bílou vodu). Nejvýznamnější znečištění šedých vod způsobují detergenty z pracích prášků, šamponů, mýdel, zubních past a podobně. Proto je vhodné používat ekologicky šetrné a odbouratelné detergenty. Voda z dřezů a myček nádobí obsahuje velké množství organického materiálu, především tuk, jež je těžko odbouratelný a zanáší filtry čistírny, proto se obvykle odvádí do kanalizace.
Bílá voda	Šedou vodu je možné po recyklaci a úpravě využívat jako provozní – bílou vodu, která je vhodná pro splachování záchodů, praní prádla, vytírání podlah, mytí aut a zalévání zeleně (pokud používáme biologicky odbouratelné mycí prostředky).

15. OPATŘENÍ V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ

Zatímco orná půda v rozlehlých a plochých nížinách je vlivem nižších srážek a vyšších teplot více vysušená a náchylná k větrné erozi, orná půda ve vysočinách trpí více vodní erozí díky větším sklonům pozemků a vyšším srážkám. Další příčiny eroze tkví ve způsobu hospodaření. Jak větrnou, tak vodní erozi podporují rozlehlé nepřerušené lány s holou půdou. Vodní erozi navíc zesiluje obdělávání napříč vrstevnicemi. Opatření na zemědělské půdě mají za cíl zmenšit povrchový odtok, více vody vsáknout a zabránit erozi. Zároveň chrání okolní pozemky před lokálními povodněmi, vodní toky a nádrže před zanášením nebo vymíláním.



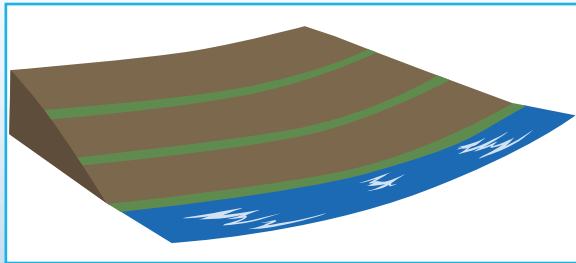
Rýhová eroze

Jak zpomalit odtok a zabránit vodní erozi?

Čím delší a strmější je svah, tím více opatření bude zapotřebí. Ve směru po spádnicí nesmí délka nepřerušovaného svahu přesáhnout určitou mez (v závislosti na sklonu, druhu půdy a srážkách), aby se více vody vsáкло a z plošného povrchového odtoku se nestal soustředěný povrchový odtok s devastujícími účinky.

Uspořádání pěstebních ploch

- TVAR SVAŽITÉHO POZEMKU upravit tak, aby delší strana kopírovala vrstevnici a bylo umožněno vrstevnicové obdělávání.
- PÁSOVÉ STŘÍDÁNÍ PLODIN ohrožených erozí (kukuřice, řepa, brambory, slunečnice) s méně ohroženými (pšenice, ječmen, žito, oves, jeteloviny). Pásy vedou ideálně podél vrstevnic.
- ZASAKOVACÍ PÁSY o šířce minimálně 20 m vedou podél vrstevnic a jsou tvořeny trávou, keři či stromy. Vodní toky a nádrže jsou zasakovacími pásky chráněny před zanášením smyvem půdy.
- ZATRAVNĚNÍ je doporučeno při sklonu přesahujícím 20 %.
- ZALESNĚNÍ je doporučeno při sklonu přesahujícím 30 %.



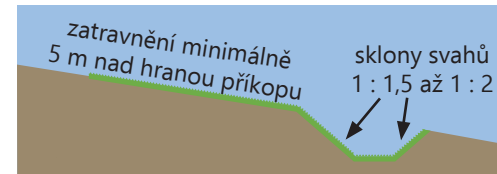
Zasakovací pásky přerušují povrchový odtok

Způsob obdělávání

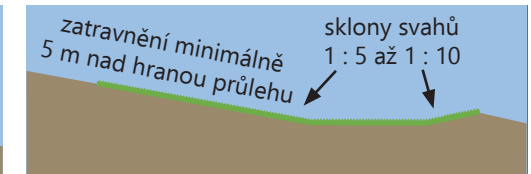
- VRSTEVNICOVÝ SMĚR obdělávání nebo výsadby omezuje povrchový odtok.
- MULČOVÁNÍ, PONECHÁNÍ POSKLIZŇOVÝCH ZBYTKŮ nebo VÝSEV DO OCHRANNÉ PLODINY zajistí zakrytí půdy, ochrání ji před smyvem a zmenší povrchový odtok.
- HRÁZKOVÁNÍ NEBO DŮLKOVÁNÍ při pěstování brambor zadrží dešťovou vodu v malých prohlubních mezi řádky i na vrcholech hrůbků.

Úpravy terénu

- ZÁCHYTNÉ PŘÍKOPY slouží k zachycení povrchového odtoku. Voda se zadrží a postupně vsákne nebo vypaří, přebytek odečte do svodného příkopu nebo průlehu a poté do vodního toku nebo nádrže. Vedou po vrstevnici, s mírným odklonem (podélný sklon max. 1 %). Mají lichoběžníkový, trojúhelníkový nebo parabolický profil a hloubku do 1 m.
- ZÁCHYTNÉ PRŮLEHY jsou obdobou záchytných příkopů, ale mají mírnější sklon svahů, jsou tedy podstatně širší a umožňují přejezd zemědělské techniky.



Záchytný příkop



Záchytný průleh

- PROTIEROZNÍ HRÁZKY mají stejnou funkci jako příkopy a průlehy. Budují se například na úpatích mírných svahů jako ochrana níže ležících sídel. Jejich výška nepřesahuje 1 m.
- PROTIEROZNÍ MEZE jsou tvořeny příkopem nebo průlehem a hrázkou osázenou dřevinami. Výhodou je využití výkopku na místě.

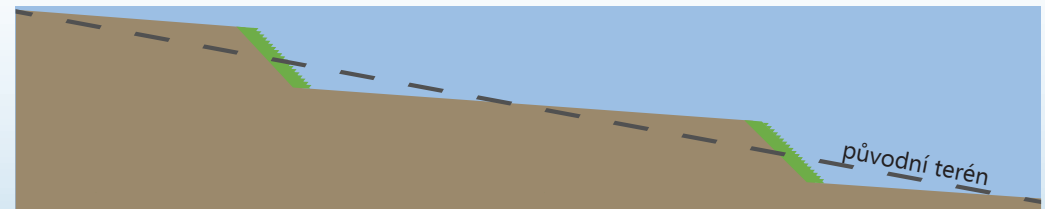


Protierozní hráзка



Protierozní mez

- TERASY se doporučují při sklonu větším než 15 %, pokud jsou vyčerpány ostatní možnosti. Půdní profil musí mít dostatečnou hloubku (minimálně 1 m).



Terasování svahu

- STABILIZACE DRÁHY SOUSTŘEDĚNÉHO ODTOKU zatravněním nebo kamenivem zabraňuje vytvoření erozních rýh, zpomaluje odtok a podporuje vsakování.
- PŘEHRÁZKY přerušují dráhy soustředěného povrchového odtoku. Jsou známy hlavně z hrazení bystřín, v zemědělské krajině bývají nižší (zemní hrázky, gabiony apod.).
- PROTIEROZNÍ NÁDRŽE mají funkci retenční (zachycují povodňové průtoky, část mohou vsáknout) a sedimentační (zachycují splaveniny z polí).

Většina opatření vyžaduje změny v uspořádání a tvaru pozemků. Komplexní řešení je možné realizovat v rámci procesu POZEMKOVÝCH ÚPRAV.

16. OPATŘENÍ VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ

Lidská populace se vzhledem ke své velikosti a nárokům nemůže spoléhat pouze na přirozené zásoby vody v krajině. Přírodní zdroje jsou navíc často znečištěné lidskou činností. Lidská sídla vybudovaná v nivách potoků a řek jsou ohrožována povodněmi. Řešením všech těchto problémů se zabývají vodohospodáři.

V hustě obydlených oblastech je potřeba vody zajišťována nejčastěji vodními nádržemi, které jsou plněny v době jejího nadbytku (v podmínkách ČR jsou největší průtoky v měsících březnu a dubnu). Je to udržitelný způsob na rozdíl od neuváženého nebo nadměrného čerpání podzemních vod. Voda je využívána pro zásobování obyvatelstva, průmysl, zemědělství, energetiku nebo plavbu.

V ČR není v současnosti problémem vodního hospodářství rostoucí populace jako v jiných částech světa, ale spíše klimatická změna. Oteplování s sebou nese větší výpar, což má za následek menší průtoky v řekách. Extrémní výkyvy počasí jako sucho a povodně narážejí na limity dosud vybudovaných vodohospodářských staveb. Stávající systémy jsou proto posilovány následujícími opatřeními.

Jak vodohospodáři bojují s klimatickou změnou?

Vodohospodářská opatření

- Výstavba vodních nádrží (využití vodárenské, závlahové, průmyslové, energetické, protipovodňové, usazovací, protipožární, nadlepšování průtoků)
- Umělá infiltrace (např. v Káraném je provozována již od roku 1968)

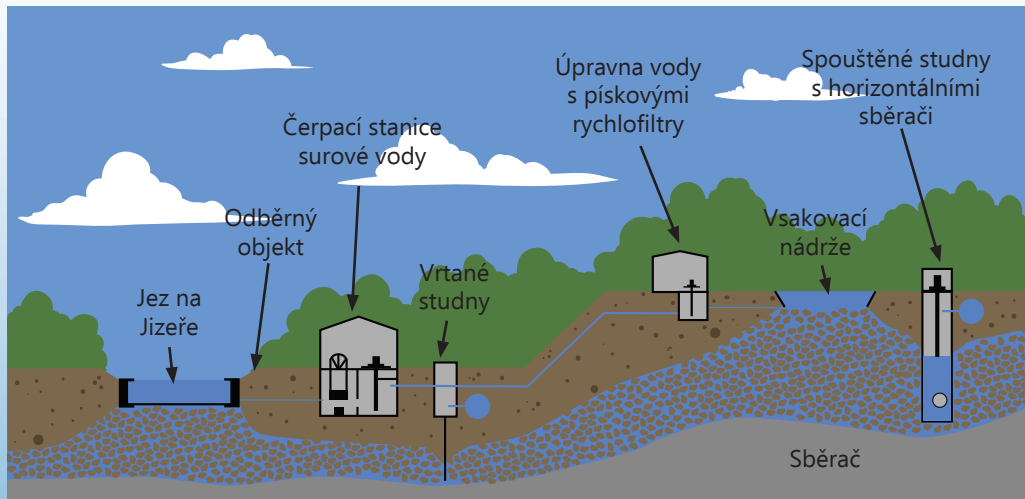
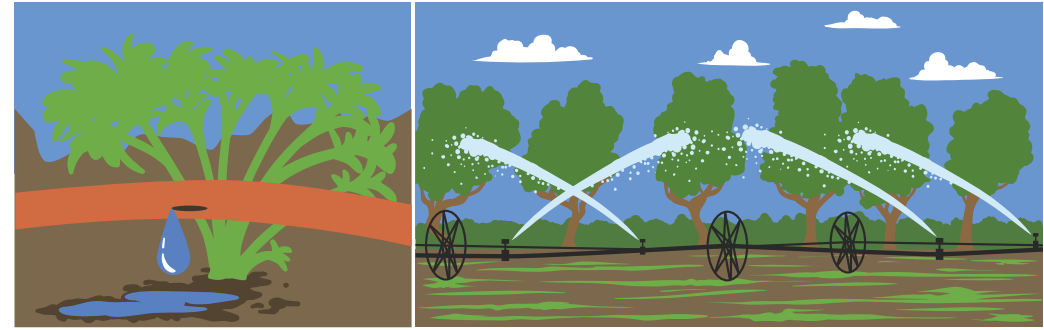


Schéma umělé infiltrace v Káraném

- Zvýšení integrace vodohospodářských soustav (společné řízení několika vodních děl – např. Vltavská kaskáda)
- Propojování vodárenských soustav a připojování skupinových a lokálních vodovodů do vodárenských soustav
- Modernizace kanalizace (stokové sítě a čistíren odpadních vod)
- Modernizace a rozvoj závlah

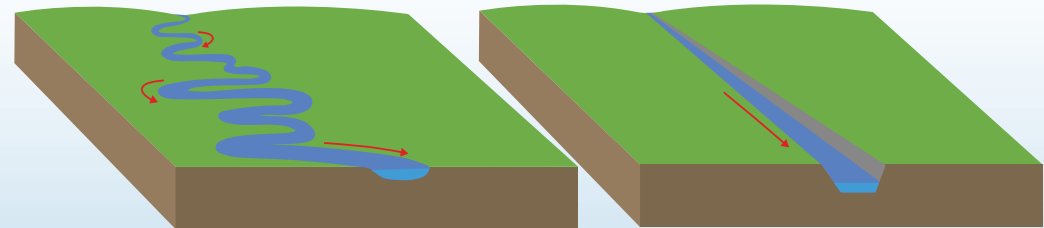


Kapkové závlahy dokáží ušetřit velké množství vody, jež se vypaří při využití postřikovačů

Kromě technických opatření se realizují také přírodě blízká opatření pro zadržení vody v krajině, proti povodním a proti erozi.

Přírodě blízká opatření

- Revitalizace vodních toků a niv (odstranění opevnění břehů a dna, méně zahloubené koryto, menší kapacita koryta, umožnění rozlivů do nezastavěných niv, prodloužení trasy toku, členitost břehů a dna, střídání úseků různých podélných sklonů)



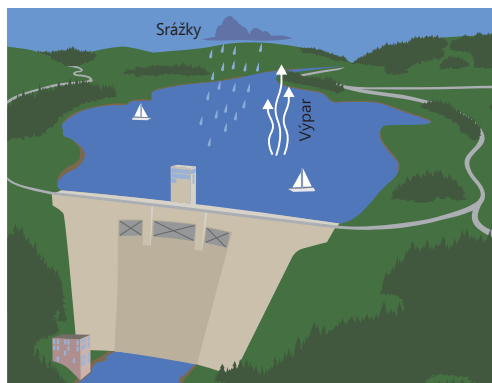
Přirozený vodní tok nezpůsobuje nadměrné odvodnění nivy a zpomaluje odtok

- Výstavba suchých nádrží, které zadržují vodu jen při povodních, jinak mohou být plochy zátopy zemědělsky nebo rekreačně využívány
- Hrazení bystřin a strží (např. přehrážky omezující erozi, zachycující splaveniny a tlumící povodně)
- Obnova mokřadů (např. zrušením odvodňovacího systému je možné vytvořit podmáčenou louku, která pozitivně ovlivní mikroklima ve svém okolí)
- Důsledná ochrana zdrojů vod (např. infiltrační oblasti)

17. VODNÍ NÁDRŽE

Umělé vodní nádrže vznikají nejčastěji vybudováním hrází na vodních tocích a umožňují efektivní hospodaření s vodou. Hráze sypané jsou obvykle vybudované z místních materiálů a jsou opatřeny těsněním. Vyšší přehrady se budovaly od konce 19. století z kamenného zdiva a od poloviny 20. století téměř výhradně z betonu. Nádrže jsou většinou víceúčelové a fungují současně jako zásobárna vody a ochrana před povodněmi. Zásobu vody můžeme využít pro výrobu pitné vody, nadlepení průtoků ve vodních tocích v obdobích sucha, výrobu elektrické energie, průmysl a závlahy v zemědělství. V neposlední řadě jsou nádrže oblíbeným místem pro rekreaci. K zachycení povodní slouží vymezené retenční prostory. Pokud je povodeň předpovězena v dostatečném časovém předstihu, je prázdněn i zásobní prostor pro její zachycení.

Nádrže mají samozřejmě kromě výhod také nevýhody. Hráze tvoří na toku migrační překážky pro vodní živočichy. Je měněn režim průtoků v závislosti na manipulacích vodního díla. Jiný je často také teplotní režim, jelikož z hlubokých nádrží se spodní výpustí odtéká studená voda v létě, a naopak teplejší voda v zimě, což je způsobeno stabilní teplotou 4 °C u dna.



Vodní nádrž s betonovou hrází

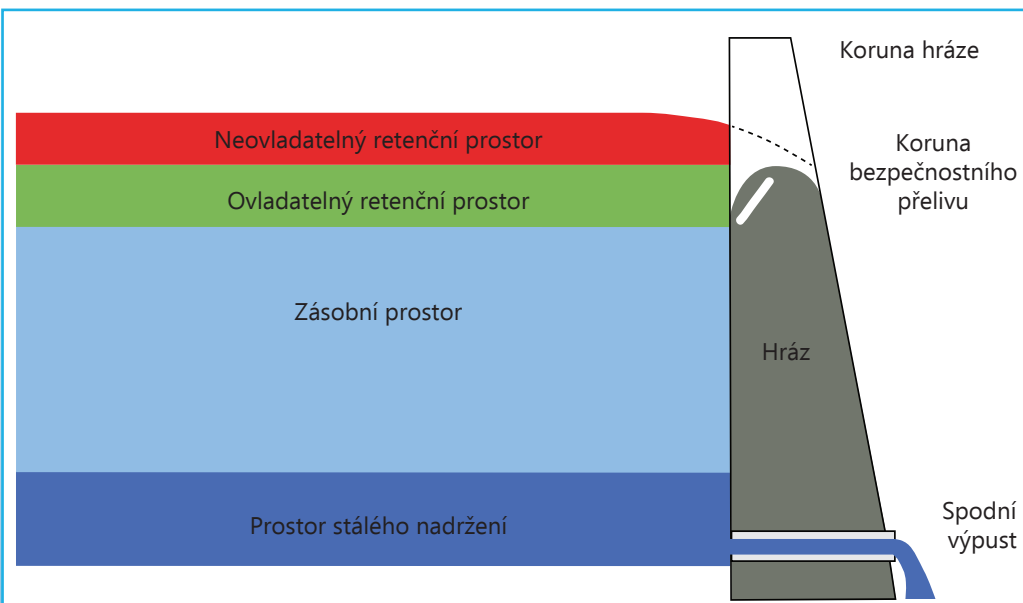


Schéma rozdělení prostorů v nádrži

Malé vodní nádrže

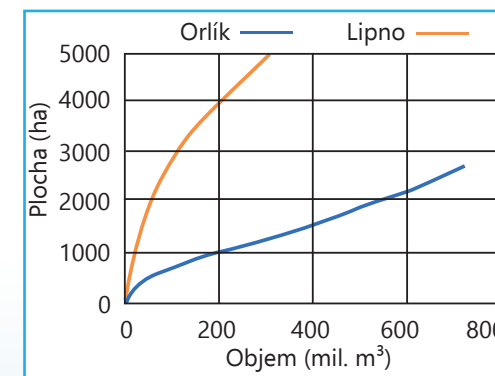
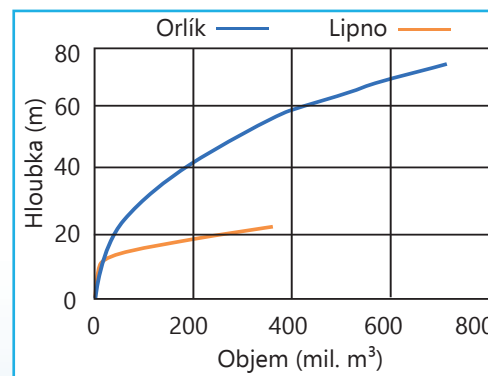
Většina malých vodních nádrží v ČR jsou historické rybníky se sypanou zemní hrází. V současnosti se staví malé vodní nádrže zejména za podpory dotačních programů na zadržování vody v krajině. Jejich hlavním účelem nemůže být intenzivní chov ryb, ale spíše akumulace vody pro nadlejšování průtoků, pro zvýšení hladiny podzemní vody a pro odběry (závlahy, hašení požárů); zmenšení povodňových průtoků; zlepšování kvality vody nebo podpora biodiverzity. Navrhování malých vodních nádrží se řídí normou ČSN 75 2410, kde je stanoven jejich maximální objem 2 mil. m³ a maximální hloubka 9 m.

Významné vodní nádrže

Jsou definovány objemem minimálně 1 mil. m³ a zároveň hrází vyšší než 15 m, jedná se tedy o přehradní nádrže. V ČR existuje 165 významných vodních nádrží, které dohromady zadržují 3,36 miliardy m³ vody a zabírají 300 km² plochy.

Nádrž s největším objemem: Orlík (objem 716,5 mil. m³, plocha 2 733 ha)

Nádrž s největší rozlohou: Lipno (objem 309,5 mil. m³, plocha 4 870 ha)

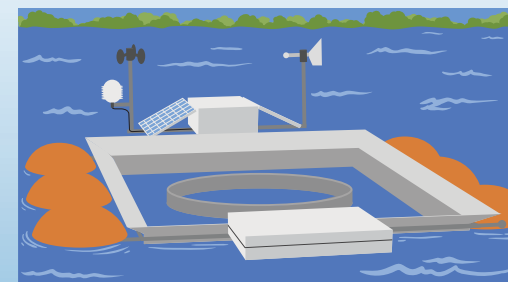


Porovnání charakteristik hluboké nádrže Orlík a relativně mělké nádrže Lipno

Ztráta vody výparem z vodní hladiny

Ročně se vypaří z nádrže Orlík zhruba 600 mm (přičemž roční srážky na plochu nádrže jsou jen 550 mm), to dělá ztrátu cca 16 mil. m³ vody, což je 0,6 % objemu vody, která do ní za rok přiteče. Nádrž Lipno, která leží ve vyšší nadmořské výšce, má roční výpar menší (cca 550 mm) a srážky větší (850 mm). Díky podstatně větší ploše ale vypaří více vody, asi 27 mil. m³, a to činí již docela významných 6 % z objemu vody, který ročně do nádrže přiteče.

Výpar z vodní hladiny se měří výparoměrem, kde se pomocí tlakového čidla sleduje úbytek vody v kruhové nádobě.



Plovoucí výparoměr

18. MONITORING V HYDROLOGII

Hydrologie se zabývá studiem výskytu a pohybu vody na Zemi. Jelikož je voda v pohybu stále, je pro možnost správného odvození hydrologické bilance zapotřebí monitorovat jednotlivé jevy, které více či méně s hydrologickým cyklem souvisejí. Pohyb vody je závislý zejména na počasí, proto je klíčový monitoring meteorologických veličin, jako jsou teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, srážkové úhrny (dešťové i sněhové) a další. Srážky ovlivňují kvantitu vody v povodí, teplota vzduchu určuje skupenství vody (led, sníh, voda, vodní páry), současně počasí ovlivňuje např. výpar vody. Meteorologické veličiny jsou měřeny meteorologickými stanicemi, pozorovací sítí na území ČR provozuje Český hydrometeorologický ústav.

Monitoring povrchových vodních toků

Stavy hladin vodních toků zaznamenávali lidé již od pradávna. Značky hladin moudře zanechávali příštím generacím zejména po povodních nebo suchu (hladové kameny). Na konci 19. století začali vodní stavy přepočítávat na průtoky, což jim umožnilo lépe kvantifikovat a porovnávat množství vody v tocích. Jednou z metod, jak stanovit průtok, je zjistit rychlost proudící vody. Lze to výpočtem nebo měřením, například hydrometrováním.

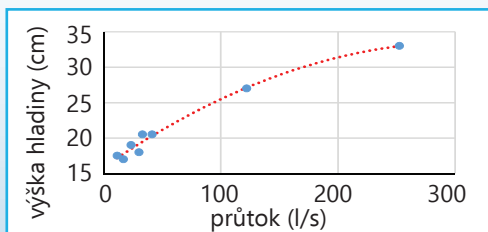
Pomocí hydrometrické vrtule se měří bodové rychlosti v profilu toku, z nich se vypočítá průměrná rychlost. Součinem rychlosti a průtočné plochy získáme průtok.

Mezi vodním stavem a průtokem vodního toku v určitém profilu existuje vztah, který se vyjadřuje měrnou křivkou průtoku (konsumpční křivkou). Pokud změříme několikrát průtok při různých stavech hladiny, vytvoříme empirickou konsumpční křivku a můžeme již dále zaznamenávat pouze výšku hladiny a průtok si v pohodlí dopočítat podle křivky.

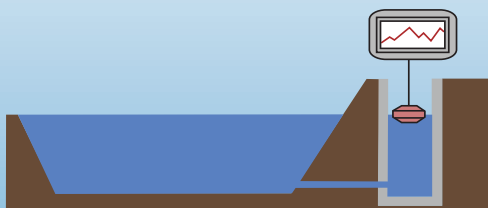
Záznamy výšek hladin zajišťuje celá síť vodoměrných stanic neboli limnigrafů. V dnešní době se dozvídáme informace o průtocích díky dálkovým přenosům dat a automatickým výpočtům okamžitě, což významně pomáhá hlásné a předpovědní službě, která má za úkol varovat před povodněmi.



Hydrometrování



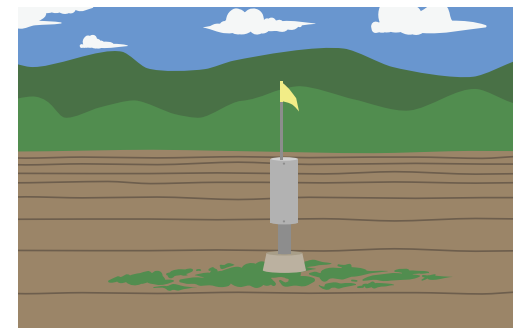
Příklad konsumpční křivky



Plovákový limnigraf

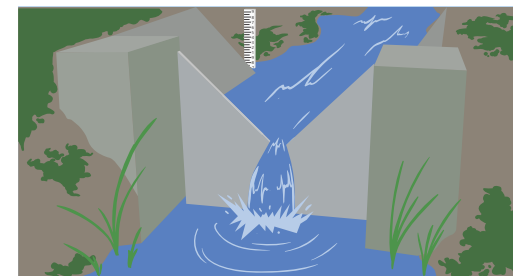
Monitoring podzemních vod

Stav zásob podzemních vod se zjišťuje ve vrtech, případně studních, kde se měří výška hladiny podzemní vody. Pro ruční měření slouží pásmo s elektrokontaktním hladinoměrem nebo akustickým hladinoměrem (např. Rangovou píšťalou), které se spustí do vrtu a signalizují dosažení hladiny. Pro kontinuální sledování se používají automatické registrační přístroje zaznamenávající tlak vody, který se přepočítává na výšku hladiny. Starším typem registračních přístrojů jsou plovákové hladinoměry. Tlakové i plovákové hladinoměry se používají i pro záznam hladin povrchových vod.



Monitorovací vrt

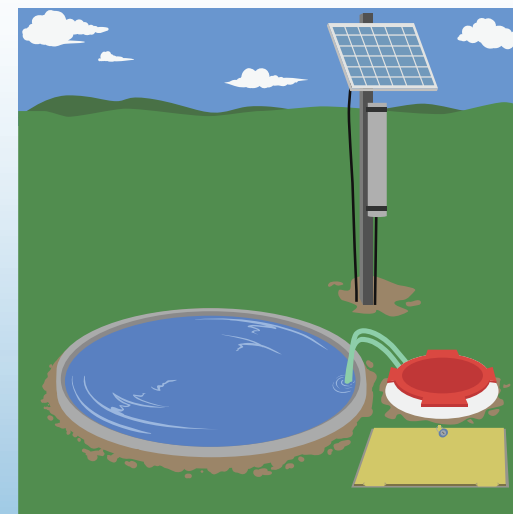
Druhou možností je sledování vydatnosti pramenů, kde se využívá zpravidla měrných přelivů (např. Thomsonův přeliv), což je také jedna z metod pozorování povrchových vod. Pro standardní měrné přelivy jsou měrné křivky průtoků známy. Stačí znát výšku hladiny nad přelivem a podle rovnice vypočítat průtok.



Thomsonův přeliv

Monitoring výparu

Evapotranspirace, zahrnující vypařování vody z rostlin, z půdy a vodních ploch, je zásadní složkou hydrologického cyklu a nabývá ještě většího významu s probíhajícím oteplováním. Výpar z půdy a rostlin je obtížně měřitelný a získává se obvykle výpočtem. Výpar z vodní hladiny lze měřit celkem snadno pomocí výparoměru, což je nádoba, ve které se sleduje výška hladiny. Přesnějším přístrojem je plovoucí výparoměr, který lépe simuluje skutečné podmínky vodní plochy. Ztráta vody výparem z vodních nádrží je ve vodním hospodářství čím dál významnější díky rostoucí teplotě vzduchu a vody. Dalšími činiteli ovlivňujícími výpar jsou vítr, vlhkost vzduchu, tlak vzduchu a sluneční záření. Výpar z vodní hladiny může dosáhnout v našich podmínkách až 900 mm ročně, což je více než průměrný roční úhrn srážek.



Výparoměr

19. INFORMAČNÍ A KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE

Stejně jako ve všech odvětvích, tak i ve vodním hospodářství informační a komunikační technologie (IKT) v posledních desetiletích zaujímají důležitou roli. IKT jsou technologie, které uživatelům umožňují přístup, ukládání, přenos, zpracování a manipulaci s informacemi. Stav IKT systémů, díky rychlému vývoji, nyní umožňuje podrobně zkoumat hydrodynamické procesy ve spojení se složitostí geometrie kontinentálního a mořského prostředí.

Kontrola a sběr dat – SCADA

Velice důležitou součástí IKT jsou technologie kontroly a získávání dat SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). SCADA zahrnuje (ale není omezena na) softwarové balíky, které mohou být začleněny do systému hardwaru a softwaru pro zlepšení bezpečnosti a účinnosti provozu procesů získávání dat. Hlavní funkce SCADA systémů jsou získávání dat prostřednictvím senzorů, přenos získaných dat mezi množstvím vzdálených webů, prezentace dat prostřednictvím centrálního hostitelského počítače a řízení dat na operátorském terminálu nebo pracovních stanicích. Jedná se o nejběžnější metodu, která se v současnosti používá i například v rámci systémů, jako jsou distribuce pitné vody a systémy sběru odpadních vod.

Na důležitosti SCADA systémy nabývají zejména v krizových okamžicích, jako jsou povodně nebo sucho, kdy je nutnost mít k dispozici vždy co nejaktuálnější data.

Sběr dat na meteorologické stanici

Zpracování dat

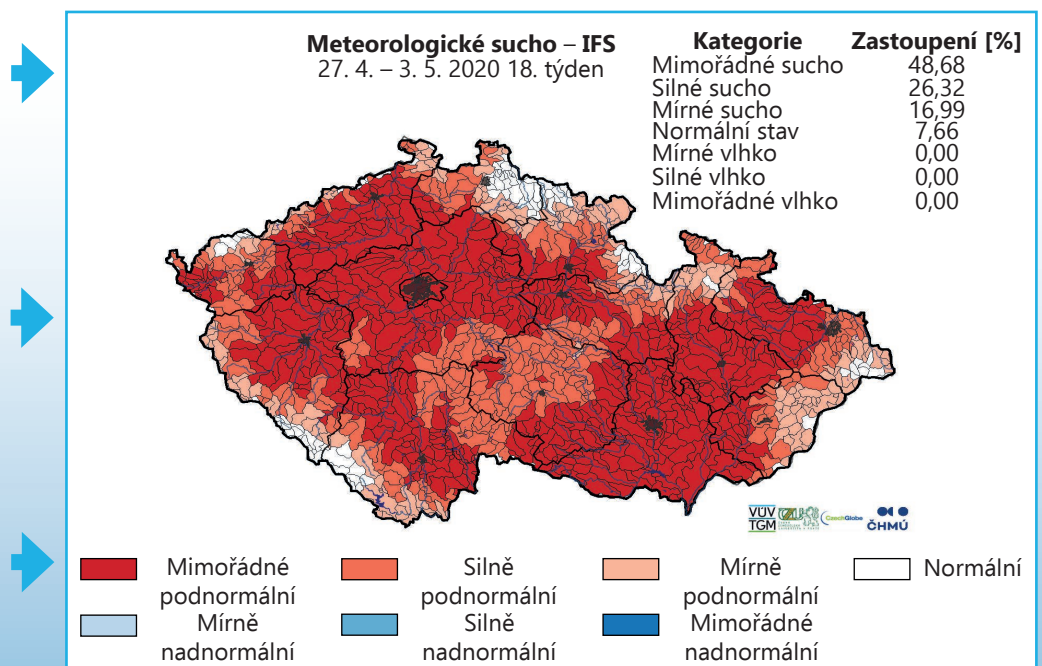
Geografický informační systém (GIS)

GIS je účinným nástrojem pro ukládání, správu a zobrazování prostorových dat, s nimiž se často setkáváme při řízení vodních zdrojů. Pomocí GIS se v rámci vodního hospodářství řeší zejména následující oblasti:

- Ukládání a správa geo-prostorových dat
- Řízení zásobování pitnou vodou
- Modelování podzemních vod
- Správa kanalizačního systému
- Analýza kvality vody
- Předpovědní povodňová služba

Vodní hospodářství v urbanizovaných zónách

Vodní hospodářství v městských oblastech jde nad rámec dodávky pitné vody nebo sběru a čištění odpadních vod. Roste zájem o využívání IKT, což má za následek velké množství nových aplikací, které poskytují přístup k obrovskému množství informací generovaných SCADA systémy, což výrazně usnadňuje provoz, úkony údržby a řízení v souvislosti s účinným a udržitelným rozvojem měst. V této souvislosti je vodní hospodářství obzvláště důležité, zejména když vezmeme v úvahu obrovský růst poptávky v posledních letech v rozvinutých oblastech. Správné používání IKT používaných v městském vodohospodářství umožňuje shromažďování údajů, aby bylo možné v reálném čase vědět o nabídce a poptávce a dát tyto informace do rukou manažerů, aby jim pomohly předvídat a řídit poptávku nebo přizpůsobit ceny na základě poptávky.











Výsledná aplikace HAMR, sloužící jako předpovědní služba sucha

20. VODA V PRAZE

Hydrologická bilance území Prahy (dlouhodobý průměr)

Srážky	530 mm/rok
Výpar a transpirace rostlin	460 mm/rok
Odtok vodními toky	70 mm/rok

	Vodní nádrže
	Hlavní vodní toky
	Suché nádrže
	Hranice Prahy
	Jednotná kanalizace
	Splašková kanalizace
	Dešťová kanalizace
	Záplavové území 100leté vody

Největší suché nádrže

Název nádrže	Retenční prostor (m ³)
Čihadla	681 835
Jinovice	115 560
Dobrá voda	75 000
Kopaninský	74 681
Tatra Zličín	44 520
Dolní	13 980

Vodní nádrže s největším retenčním prostorem

Název nádrže	Retenční prostor (m ³)
VD Hostivař	1 138 000
RN Libušská	133 585
VD Jiviny	102 000
RN Slatina	101 777
RN Asuán	66 280
rybník Šeberák	41 520
RN Milíčov	39 313

kanalizace – datový podklad © IPR Praha
 ostatní data – © Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Město a voda

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Praha 2020

Editor: Martina Peláková

Kolektiv autorů: Adam Beran, Josef Vojtěch Datel, Pavel Eckhardt,
Anna Hrabánková, Roman Kožín, Vojtěch Moravec, Magdalena
Nesládková, Martina Peláková, Hana Prchalová, Filip Strnad,
Luděk Strouhal, Petra Šuhájková, Adam Vizina, Radek Vlnas,
Martin Vokoun

Grafická úprava a ilustrace: Jan Vohlídal

Tisk: Repro Fetterle, s. r. o.

Počet stran: 48

Vydání první

Náklad: 1 000 výtisků

ISBN 978-80-87402-82-5

WWW.VUV.CZ



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Praha – pól růstu ČR

