

# Filtrace s proměnnou filtrační rychlostí

*Ing. Pavel Adler, CSc., Ing. Oldřich Darmovzal, Ing. Miroslav Tomek*  
Voding Hranice, s.r.o.

---

## Úvod

Filtrace vody za účelem její úpravy je proces, který je analogií procesů běžně se vyskytujících v přírodě a který je převeden do podmínek zařízení úpravy vody.

V úpravárenství pitných vod je filtrace vždy hlavním úpravárenským procesem, který je v řadě případů upraven vod jediným článkem úpravy. V jiných případech je filtrace vody doplněna řadou dalších úpravárenských procesů, které filtraci předcházejí nebo ji následně doplňují. Bezpochyby je možno deklarovat, že filtrace je v procesu úpravy vody jen stěží nahraditelná.

Poznatky o filtraci dosáhly významné úrovně a rovněž tak je možno se vyjádřit o způsobech a druzích filtrace. Rovněž technické prostředky, které umožňují provedení filtrace, jsou dnes natolik rozmanité, že jakékoliv rozhodování o návrhu filtrace je možno opřít o řadu již známých poznatků a technologií. Naopak, takto rozšířené poznání může být někdy i matoucí a zavádějící. Je přirozenou snahou oprostit se od encyklopedických poznatků a teoretické poznání uvést reality praktického využití.

V následujícím se chceme věnovat specifickému druhu filtrace vody, kterou je filtrace s proměnnou (klesající) filtrační rychlostí.

Vedle stručného seznámení s obecnou problematikou se chceme zmínit o prvních provozních zkušenostech se zavedením tohoto druhu filtrace na nově rekonstruované ÚV Hosov (Jihlava).

## Filtrace s proměnnou filtrační rychlostí

Tento způsob filtrace není nový, uplatňoval se již u pomalé filtrace. Zatímco u klasické filtrace se udržuje konstantní zdánlivá filtrační rychlost, tj. stejný průtok filtrem, u uvedeného způsobu se tato rychlost s dobou provozu filtru snižuje. To je dáno tím, že se písková vrstva zanáší a tak roste její odpor. Aby se dosáhlo stálé zdánlivé rychlosti je nutno na odtoku z filtrů u klasického provedení filtrace snižovat odpor, který vzniká zanášením filtrů, pomocí odtokové regulační klapky (celkový odpor je roven součtu tlakové ztráty vznikající ve filtračním loži a ztráty v regulační klapce). Při konstantní hladině vody nad filtračním ložem je množství vody, která protéká filtračním ložem, konstantní. Při tomto druhu filtrace se zmenšuje průtočný profil ve vrstvě filtračního lože (zanášejí se mezery mezi zrny filtračního lože, probíhá kolmatace) a tím narůstá skutečná rychlost proudění vody ve vrstvě filtračního lože. Od určité filtrační rychlosti již k dalšímu zanášení filtrační vrstvy nedochází a naopak dochází k vyplavování již zachycených filtračních částic do filtrátu. Toto může mít za následek zejména u některých specifických vod (např. humínové vody s nízkou alkalitou) zkrácení filtračního cyklu a to mnohdy na neúnosnou míru. Proto byly hledány způsoby filtrace, při kterých je možno prodloužit filtrační cyklus při zachování požadované kvality filtrátu.

Příprava kvalitních vložek jak při koagulační filtraci tak i při následné filtraci je nezbytná u obou způsobů filtrace.

Jednou z cest řešení popsaného problému je zavedení filtrace s proměnnou (klesající) filtrační rychlostí. Tento způsob filtrace vody byl prověřován v USA již koncem padesátých let.

Principem tohoto způsobu filtrace je postupné snižování zdánlivé filtrační rychlosti v závislosti na rostoucí tlakové ztrátě na filtru. Jestliže se průtočný profil při zanášení filtrační vrstvy snižuje, musí se snižovat průtok vody přes filtr tak, aby se skutečná filtrační rychlost, tj. rychlost proudění vody v mezerách filtrační vrstvy nevyšla nad kritickou hodnotu, kdy se již částice ve filtru přestávají zachycovat a zachycené částice se strhávají zpět do vody. Tato rychlost proudění by měla být během celého filtračního cyklu prakticky stejná, na rozdíl od filtrace s konstantní zdánlivou filtrační rychlostí, tj. s konstantním průtokem vody přes filtr.

Problematikou aplikace filtrace s proměnnou filtrační rychlostí v našich podmínkách se zabýval Ing. P. Dolejš, který na dané téma publikoval několik prací. Výsledkem jeho činnosti a činnosti kolektivu projektantů HDP Praha bylo zavedení tohoto způsobu filtrace na ÚV Meziboří, kde se tento způsob filtrace dle dostupných informací osvědčil. Je proto oprávněná snaha uplatnit tuto filtraci i na jiných lokalitách se snahou systém dále zdokonalit.

V režimu filtrace s proměnnou filtrační rychlostí jsou filtry spojitě nádoby, takže hladiny na jednotlivých filtrech jsou na stejné úrovni. To vyžaduje, aby filtry pracovaly buď na bázi zatopených žlabů nebo na bázi zatopených přírodních děrovaných trub. Je samozřejmostí, že na filtry může přitékat jen tolik vody, kolik může všemi filtry jako celkem protéct. Hladina vody na filtrech musí být níže, než je hladina v předřazeném úpravárenském stupni, tj. v sedimentaci nebo flokulaci, přitom však výše, než jsou hrany rozdělovacího přírodního žlabu ve filtrech nebo kanálu, rozvádějícího vodu na jednotlivé filtry (hladiny na filtrech jsou tak stejné), ale logicky současně níže, než jsou hrany žlabů pro odtok prací vody. Tuto hladinu musí udržovat vhodné zařízení, ať jsou to hradítka na odtoku z filtrů nebo lépe regulační klapka na společném potrubí filtrované vody. Měření hladiny je obdobné jak u filtrů s konstantní filtrační rychlostí, ale s tím rozdílem, že čidla pro snímání hladiny není třeba osazovat na každém jednotlivém filtru, ale postačí jejich osazení pouze na dvou libovolně zvolených filtrech. Takto navržené zdvojení snímání hladiny vody ve filtrech je logické, neboť v případě praní filtru s osazeným snímáním hladiny by vypadlo snímání hladiny jako takové. Je nezbytné, aby alespoň jedno snímání hladiny vody ve filtrech bylo ve funkci. Druhou odlišností obou způsobů filtrace je měření tlakové ztráty na filtrech. Poněvadž na odtoku z jednotlivých filtrů nejsou regulační klapky, ale pouze klapky uzavírací, je pod pískovou vrstvou u všech filtrů v principu stejný tlak. Toto umožňuje již zmíněnou regulaci hladiny vody na filtrech jednou regulační klapkou.

Tlakovou ztrátu nelze použít pro signalizaci potřeby praní filtrů. Je proto nutné pro rozhodování o potřebě praní filtrů využít dalších ukazatelů jako jsou např. množství protečené vody přes filtr, podkročení minimálního kritického průtoku přes filtr, průnik suspendovaných látek (zákal), průnik koagulantu (Fe, Al), průnik organismů přes filtr, případně doba provozu filtru. To na druhé straně vyžaduje osazení dalších nezbytných snímání hodnot u jednotlivých filtrů (např. měření průtoku vody, měření zákalu).

U středních a velkých úpraven vod je filtrace řešena ve více filtračních jednotkách, většinou jejich počet přesahuje 2 - 3 jednotky. Při tomto rozdělení vody je

zřejmé, že u typu filtrace s proměnnou filtrační rychlostí bude zatížení jednotlivých filtračních jednotek rozdílné v závislosti od míry zanesení filtru. Největší zatížení bude u filtru, který má nejkratší dobu od posledního praní.

Při praní jednoho filtru se zvýší zatížení ostatních filtrů. Je třeba dbát na to, aby průtok vody přes nejvíce zatížený filtr nedosáhl takové hodnoty, kdy již dochází ke strhávání zachycených suspendovaných látek do filtrované vody. Je jasné, že čím více filtrů bude v zapojení, tím menší bude přechodné zvýšení zatížení ostatních filtrů při praní jednoho filtru. Orientačně je možno vyjít ze zdánlivé filtrační rychlosti (resp. průtoku vody přes filtr), která podle dosavadních zkušeností může být až 14 m/h (Dolejš - Meziboří).

Při uvádění filtrů do provozu, zejména pokud se přechází z režimu filtrace s konstantní (zdánlivou) filtrační rychlostí na režim filtrace s proměnnou (klesající) filtrační rychlostí, je třeba zabezpečit takový pracovní režim filtrace, kdy v rámci zvoleného filtračního cyklu se postupně u celé množiny filtrů snižuje filtrační rychlost. Nejvyšší filtrační rychlost je na posledně vypraném filtru, nejnižší pak na filtru s nejdelší dobou provozu.

Praní filtru probíhá obdobným způsobem jako u filtrů s konstantní rychlostí. Zahájení filtračního cyklu není však signalizováno dosažením kritické tlakové ztráty jak již bylo výše uvedeno, nýbrž hodnotou jiného ukazatele (např. zákal, průtok a pod.).

U obou způsobů filtrace je odlišný způsob uvádění filtrů po vyprání do provozu.

U filtrů s konstantní filtrační rychlostí se samostatnou regulační klapkou na odtoku u každého filtru je tato klapka po vyprání filtru uzavřena. Klapka se postupně otevírá, přičemž je stále uzavřen přívod vody na filtr. Hladina vody na filtru postupně klesá, až dosáhne provozní hladiny. V tomto okamžiku se otevře klapka na přítoku vody a ŘS začne udržovat hladinu vody na filtru. Počáteční průtok vody přes filtrační vrstvu není zpočátku příliš velký, protože je omezen regulační klapkou. Z hlediska mechanismu zachytávání filtrovaných vložek ve filtrační náplni je tento náběhový režim velmi vhodný. Samostatnou kapitolou je rozhodnutí o zařazení zafiltrování do filtračního cyklu závisí na druhu filtrované vody a je odvislé od provozního odzkoušení kvality počátečního filtrátu.

Jiná situace s uváděním filtru po vyprání do provozu je u filtrů s proměnnou filtrační rychlostí. Jednotlivé filtry nemají na odtoku samostatnou regulační klapku, nýbrž jen klapku uzavírací. Program najíždění vypraného filtru musí být v řídicím systému upraven tak, aby filtr v počátečním období po vyprání nebyl nepřiměřeně zatěžován. Je třeba si uvědomit, že při najetí filtru jím v počáteční fázi probíhá nepřiměřeně velké množství vody. Je logické, že toto má za následek zhoršení jakosti filtrátu. Toto kritické období končí až se ve filtru zvýší odpor a to zachycením vložek ve filtrační vrstvě. Pro toto počáteční období v době trvání několika prvních hodin je třeba, aby pomocí uzavírací klapky na odtoku došlo k omezení průtoku vody přes filtr. Toto je možné zabezpečit polohováním uzavírací klapky. Klapka se opatří vysílačem polohy a ŘS je schopen takto klapku postupně otevírat do předem zvolených poloh (nespojité několik poloh).

Následně, dle uvedeného, se nabízí další nadstandardní řešení, kdy jednotlivé filtry budou mít na odtoku klapku regulační, která bude sloužit pouze v období počátečního zapracování filtru. Po tomto relativně krátkém období bude klapka plně otevřena a zapracovaný filtr bude plně vřazen do systému filtrace s proměnnou filtrační rychlostí, kdy hladina celé skupiny filtrů je řízena společnou regulační klapkou.

V otázce pracího cyklu je třeba brát v úvahu i hodnotu minimálního průtoku filtrátu v době po vyprání, který je ovlivněn vedle kvalitativních ukazatelů rovněž počtem zapojených filtračních jednotek a výkonem dle vztahu :

$$Q_{F.MIN.AKT.} = Q_{F.MIN.} \times n_{AKT.}/n_{MAX} \times Q_{SUR.V.}/Q_{SUR.V.MAX.} \quad \text{kde :}$$

$Q_{F.MIN.AKT.}$  je minimální průtok filtrátu pro danou situaci.

$Q_{F.MIN.}$  je minimální průtok filtrátu při zapojení všech filtrů a maximálním výkonu ÚV

$Q_{SUR.V.MAX.}$  je maximální výkon ÚV

$Q_{SUR.V.}$  je aktuální výkon ÚV

$n_{AKT.}$  počet právě zapojených filtrů

$n_{MAX.}$  počet všech provozuschopných filtrů.

Hodnotu  $Q_{F.MIN}$  určí technolog na základě kvality surové vody, dávky koagulantu a pod. a nastaví se v ŘS ručně. Tato hodnota alespoň zpočátku nesmí být nastavena příliš nízká, protože i při dobré kvalitě filtrátu z filtru před vypráním může se velmi rychle vyčerpát kalová kapacita ostatních filtrů. Toto by znamenalo zhroucení nastaveného ŘS, přičemž jeho nové uvádění do provozu by bylo značně pracné. Doporučuje se proto raději vyprat jeden filtr o něco dříve, než pak nastavovat nově celý řídicí systém.

Z předchozího je zřejmé, že realizace filtrace s proměnnou (klesající) filtrační rychlostí vyžaduje především kvalitní návrh řídicího systému. Při dodržení této podmínky však přednosti způsobu filtrace s proměnnou filtrační rychlostí mohou plně vyniknout.

Dále uvedeme konkrétní návrh filtrace s proměnnou filtrační rychlostí na nově rekonstruované úpravně vody Hosov (Jihlava).

### **Filtrace s proměnnou filtrační rychlostí na ÚV Hosov**

Úpravna vody Hosov s úpravou povrchové vody z údolní nádrže Hubenov s maximálním výkonem  $240 \text{ l.s}^{-1}$  prochází v současnosti generální rekonstrukcí. Druhý separační stupeň úpravny je tvořen osmi otevřenými pískovými rychlofiltry o ploše à  $21 \text{ m}^2$ . Rekonstrukce filtrů probíhá ve dvou významných rovinách. Jedná se o změnu konstrukce filtrů s mezidny na filtraci bez meziden a přeměnu filtrace s konstantní filtrační rychlostí na filtraci s proměnnou filtrační rychlostí. Cílem filtrace s proměnnou filtrační rychlostí je prodloužení filtračního cyklu a zejména zamezení průniku hůře zachytitelných částic v pískové vrstvě v oblasti jejího většího zanesení. Snahou autorského kolektivu bylo vylepšení regulace hladiny na filtrech a dokonalejší uvádění vypraného filtru do provozu. Byl vytvořen potřebný algoritmus pro funkci filtrů, včetně jejich praní a způsobu uvádění filtru do provozu po vyprání. Toto bylo předáno do příslušného ŘS.

Voda na filtry se přivádí po sedimentaci otevřeným kanálem. Z kanálu je voda přiváděna trubně přes uzavírací klapky na jednotlivé filtry. Ve filtraci je voda rozváděna zatopenými perforovanými troubami. Dnes hladinu na filtrech udržuje jedna regulační klapka osazená na společném potrubí odtoku filtrované vody. Řídicí systém snímá hladinu vody na dvou filtrech pomocí ultrazvukových snímačů, což je dostačující,

protože hladina vody je u všech filtrů na stejné úrovni. Samotná regulace hladiny je rutinní záležitost a na mnoha ÚV při regulaci na jednotlivých filtrech je osvědčená a nebyl problém program ji aplikovat i na jednu společnou regulační klapku. Jde totiž jen o vztah mezi filtrační plochou a dimenzí odtokového potrubí filtrované vody.

Během provozu filtru klesá množství vody přitékající na filtr podle stupně jeho zanesení. Jak již bylo řečeno, nelze využít tlakové ztráty měřené pod filtrační vrstvou pro signalizaci potřeby praní filtru, protože zde není regulační klapka, ale jen plně otevřená uzavírací klapka, takže tlak pod všemi filtry je stejný.

Pro signalizaci potřeby praní se proto musí využít jiných údajů, které můžeme získat pomocí zařízení namontovaných za filtry.

Na ÚV Hosov jsou za filtry odbočky pro kontinuální odběr vzorku vody pro zákaloměr, dále jsou odbočky pro zafiltrování, pak uzavírací klapky s kapacitním vysílačem polohy klapky, následují vodoměry mezi klapkami a připojením ke společnému potrubí filtrované vody. Pak logicky můžeme stanovit priority měřených veličin pro signalizaci potřeby praní. Konkrétně zde bude platit, že pokud zákal filtrované vody překročí hodnotu 5 NTU nebo průtok přes filtr bude roven nebo nižší, než v ŘS nastavená hodnota  $Q_{F.MIN.AKT.}$  nebo množství proteklé vody překročí hodnotu nastavenou v ŘS, případně doba provozu filtru ( $t_{CELK.}$ ) překročí nastavenou hodnotu, vydá ŘS pokyn pro praní filtru. Je zřejmé, že rozhodující bude zákal filtrované vody.

Praní filtru bude probíhat dle následujícího obecného algoritmu. Rozdíl mezi filtrem s konstantní a proměnnou filtrační rychlostí je zde v tom, že místo regulační klapky na odtoku je jen klapka uzavírací.

ŘS zjistí, že je třeba filtr vyprat a signalizuje potřebu praní. Zjistí také zda je k dispozici dostatek prací vody, dostatek energie (mimo špičku) a nejsou-li překážky pro praní (např. práce na filtru). Obsluha potvrdí praní a ručně spustí program.

Nejdříve se zastaví přívod vody na filtr (snížení hladiny před praním vzduchem zde není možné, protože na všech filtrech zůstane stejná hladina) a otevře se odpad prací vody. Spustí se prací dmyhadlo a současně se otevře přívod pracího vzduchu. Pere se vyšší intenzitou vzduchu po dobu 3 - 10 min. Pak se otevře přívod prací vody, sníží se intenzita pracího vzduchu, spustí se prací čerpadlo a nižší intenzitou vody se pere 5 - 20 min. Pak se zastaví prací vzduch, zvýší se intenzita prací vody a pere se 5-20 min. Praní ukončí prací turbidimetr po dosažení hodnoty zákalu nastavené v ŘS.

Po vyprání filtru následuje jeho uvedení do provozu. Tento proces se řídí podle zvláštního algoritmu, který zahrnuje v první řadě zafiltrování a dále následně zvyšování odběru filtrované vody do společného potrubí. Pro tento proces je využita uzavírací klapka na odtoku z filtru, která je při absenci jednotlivých regulačních klapek osazena na každém jednotlivém filtru. Uzavírací klapky jsou opatřeny vysílačem polohy klapky.

Proces uvádění filtru po vyprání do provozu má následovný algoritmus :

1. krok - vpuštění vody na filtr

Vyrovnání hladiny na filtrech trvá 5 - 20 minut (konkrétní doba je nastavena na ŘS.) Uzavírací klapka na odtoku je přitom uzavřena.

2. krok - zafiltrování

Otevře se klapka zafiltrování (% otevření klapky je nastaveno fixně pomocí koncových spínačů tak, aby průtok filtrem nebyl příliš veliký). Měří se zákal vody.

Pokud je zákal vyšší než 5 NTU, je klapka zafiltrování otevřena (zapínací hodnota 5,5 NTU) a uzavírací klapka na odtoku je zavřena. V ŘS je nastavena konkrétní doba zafiltrování 0-60 min., ale pokud zákal neklesne pod nastavenou hodnotu 5 NTU (vypínací hodnota 4,5 NTU), zafiltrování trvá dále. Po dosažení nastavené hodnoty zákalu 5 NTU (vypínací hodnota 4,5 NTU), se uzavře klapka zafiltrování.

### 3. krok - postupné otevírání uzavírací klapky na odtoku

V ŘS je nastavena rychlost, která bude v rozsahu 100 % 20 - 36 000 s tj. plné otevření klapky za 20 - 36.000 s. Měří se průtok filtrátu, zákal a snímá se nastavení otevření klapky.

### 4. krok - dosažení průměrného průtoku filtrem

Průměrný průtok přes filtr ( $Q_{\text{sur.vody}}/n_{\text{AKT.}}$ , tj. aktuální průtok surové vody dělený počtem právě provozovaných filtrů) si vypočte sám ŘS. Měří se zákal, průtok filtrátu a nastavení otevření klapky.

Jestliže zákal překročí nastavenou hodnotu 5 NTU, otevírání klapky se zastaví (vypínací hodnota 5,5 NTU) až do doby, kdy se zákal sníží pod nastavenou hodnotu 5 NTU (zapínací hodnota 4,5 NTU). Pak se opět začne klapka otevírat.

### 5. krok - dosažení plného otevření klapky

Měří se zákal, průtok filtrátu, snímá se nastavení otevření klapky.

Pokud se během 10-60 min. (konkrétní doba je nastavena v ŘS) zvýší zákal nad 5 NTU, klapka se zcela uzavře (vypínací hodnota 5,5 NTU) a začíná se znovu od kroku 3, tj. nastavení klapky na 0 % otevření.

Jestliže se během 10-60 min. zákal nezvýší nad 5 NTU, klapka se dále nastavenou rychlostí (viz krok 3) otevírá (zapínací hodnota 4,5 NTU) až do 100 % otevření. Tím se dosáhne maximálního průtoku, který však nesmí překročit v ŘS nastavenou hodnotu, danou kritickou filtrační rychlostí (určí technolog a neměla by překročit 15 m/h.) a plochou filtru (tím se zamezí rychlému vyčerpání kapacity nejvíce zatíženého čerstvě opraného filtru). Měří se stále zákal, průtok vody a nastavení otevření klapky. Rychlost otevírání klapky může být v tomto 5. kroku odlišná od rychlosti v krocích 3 a 4 a může být vyšší nebo i nižší, ale vždy taková, aby průtok při plném otevření klapky nepřekročil kritickou hodnotu. Jestliže se této hodnoty průtoku dosáhne třebaže není ještě klapka zcela otevřena a přitom ani není překročena hodnota max. zákalu (5 NTU), otevírání klapky se zastaví až do poklesu průtoku pod kritickou hodnotu a teprve potom může otevírání klapky dále pokračovat.

Pokud se během tohoto zvyšování průtoku zvýší zákal nad 5 NTU (rozhodná hodnota je 5,5 NTU), vrací se nastavení klapky zpět na začátek tohoto 5. kroku (proto si ŘS % otevření klapky v celém průběhu najíždění filtru musí pamatovat) a proces začíná znovu.

Tak se postupně pokračuje až do plného otevření klapky bez ohledu, zda bude překročena maximální doba otevírání klapky (tj. bez přerušení a vracení do nižších nastavení) uvedených 36 000 s (10 h.). Zásadně nesmí být překročena hodnota zákalu 5 NTU, což je prioritní hodnota pro regulaci při najíždění filtru.

Ideální průběh otevírání klapky je pohyb bez přerušování a s rozumnou rychlostí, tj. do 1 h., takže nalezení vhodných rychlostí a časů je věcí experimentů ve zkušebním provozu.

## **Závěr**

Obecné přednosti filtrace s proměnnou filtrační rychlostí jsou teoreticky známé a jsou nesporné. Prokazuje se , že i rychlofiltrace se může více přibližovat způsobu filtrace v přírodním prostředí. Rozhodující pro uvedení tohoto způsobu filtrace do úpravárenské praxe je technické a konstrukční řešení vlastních filtračních jednotek a zejména algoritmus jejich provozu. Významným prvkem je množina informací o filtru a filtrátu, které přímo ovlivňují algoritmus řízení filtrace. Kvalita měření a snímání veličin je nezbytná. Rovněž kvalita řídicího systému je významná a přímo rozhodující pro provoz filtrace s proměnnou filtrační rychlostí.