

Možnosti monitoringu a řízení pro ekonomiku a spolehlivý provoz ČOV

Prof. Ing. Jiří Wanner, DrSc.
VŠCHT Praha

Co lze měřit v aktivačním procesu

fyzikální

- teplota, tlak, průtok...
- měřitelné v reálném čase

chemické

- koncentrace nutrientů, CHSK...
- nutná lab. analýza, omezeně v reálném čase
- **Přechod na sondy měřící v reálném čase**

kinetické

- respirační, nitrifikační rychlost...
- neměřitelné, výpočet z fyzikálních a chemických testů

populace AK

- uzaňční metody (barvení, morfologie, genové sondy),
- stanovení závislé na lidském faktoru

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Měření průtoku

- Měření v otevřených žlabech se používá na odtocích z čistíren.
- průtoky vnitřních proudů v systémech, např. recyklu vratného kalu z dosazovací nádrže či interní recirkulace z oxické nádrže do anoxické. Tyto vratné proudy jsou obvykle čerpány uzavřenými potrubími.



a)

b)

- a) Thomsonův trojúhelníkový přeliv
- b) Parshallův žlab

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Hodnota pH vody a aktivační směsi

- Potenciometrické snímače s měřicí a referenční elektrodou se používají u všech typů vod (i odpadních) v rozsahu pH mezi 3 a 10

Koncentrace rozpuštěného kyslíku

Pro měření koncentrace rozpuštěného kyslíku *in situ* se používají dva typy snímačů vhodné pro přenos dat:

- a) Elektrochemické snímače využívající Clarkovu elektrodu,
- b) Optické snímače pracující na principu zhášení fluorescence

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Oxidačně-redukční potenciál (ORP)

- snímače oxidačně-redukčního potenciálu s platinovou a referenční elektrodou
- Problémy s kalibrací
- Používáno k diferenčnímu měření, např. změny ORP při přerušované aeraci u oběhových aktivací

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace rozpuštěných dusičnanů (případně dusičnanů a dusitanů v sumě)

- sondy založené na absorpční spektrometrii v ultrafialové oblasti. Metoda přímé absorpční spektrofotometrie pro stanovení dusičnanů využívá jejich absorpce při vlnové délce 220 nm. Při této vlnové délce však absorbují také organické látky. Proto je nutno provést další měření při vlnové délce 275 nm, kdy již dusičnany neabsorbují a měří se tak koncentrace organických látek. Provádí se i další kompenzace na turbiditu.
- iontově selektivní elektrody – spíše pro čisté vody

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace rozpuštěného amoniakálního dusíku

- využití membránové iontově selektivní elektrody (ISE). V zásaditém prostředí je amoniakální dusík uvolněn ze vzorku ve formě plynu, který překonává selektivní membránu elektrody a reaguje s vnitřním elektrolytem (chlorid amonný) a mění tak jeho pH. Jako referenční potenciál slouží v tomto případě potenciál chloridové ISE ponořené do stejného elektrolytu. Automatizované analyzátoři amoniakálního dusíku, kde je vzorek nejprve filtrován, následně je provedena úprava pH a komplexace a měření elektrodou. Takový analyzátor je schopen stanovení v rozsahu 0,05 - 1000 mg/l amoniakálního dusíku

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace rozpuštěného amoniakálního dusíku

- iontově selektivní elektrody ponořené přímo do vzorku při aktuálním pH. Pro tyto účely se používají elektrody s nonactinovou membránou selektivní pro amonný iont. Pro kompenzaci rušivého vlivu draslíku se používá kombinovaná elektroda, která kromě amonných iontů stanovuje i koncentraci iontu draselného.

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace rozpuštěného amoniakálního dusíku

- iontově selektivní elektrody ponořené přímo do vzorku při aktuálním pH. Pro tyto účely se používají elektrody s nonactinovou membránou selektivní pro amonný iont. Pro kompenzaci rušivého vlivu draslíku se používá kombinovaná elektroda, která kromě amonných iontů stanovuje i koncentraci iontu draselného.

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace rozpuštěného amoniakálního dusíku

- Automatický analyzátor pro on-line měření koncentrací rozpuštěného amoniakálního dusíku



Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace orthofosforečnanového a celkového fosforu

- koncentrace orthofosforečnanového fosforu: k analytickému stanovení v sondě je používána klasická fotometrická metoda s měřením intenzity modrého zabarvení roztoku fosfomolybdenového komplexu po redukci chloridem cínatým. Sonda musí obsahovat i filtrační jednotku, neboť fotometrické stanovení lze provádět pouze v čirém vzorku.

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace orthofosforečnanového a celkového fosforu



Měření základních provozních parametrů *in situ*

Koncentrace nerozpuštěných látek

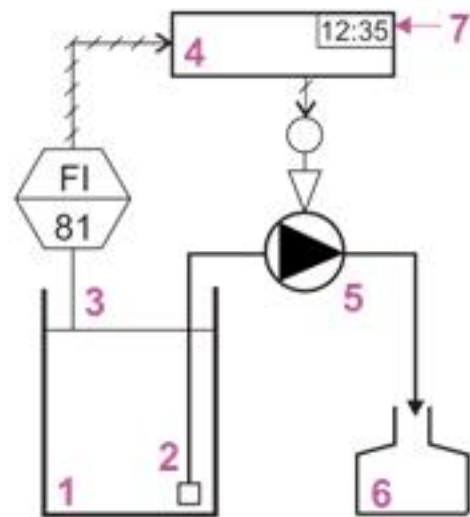
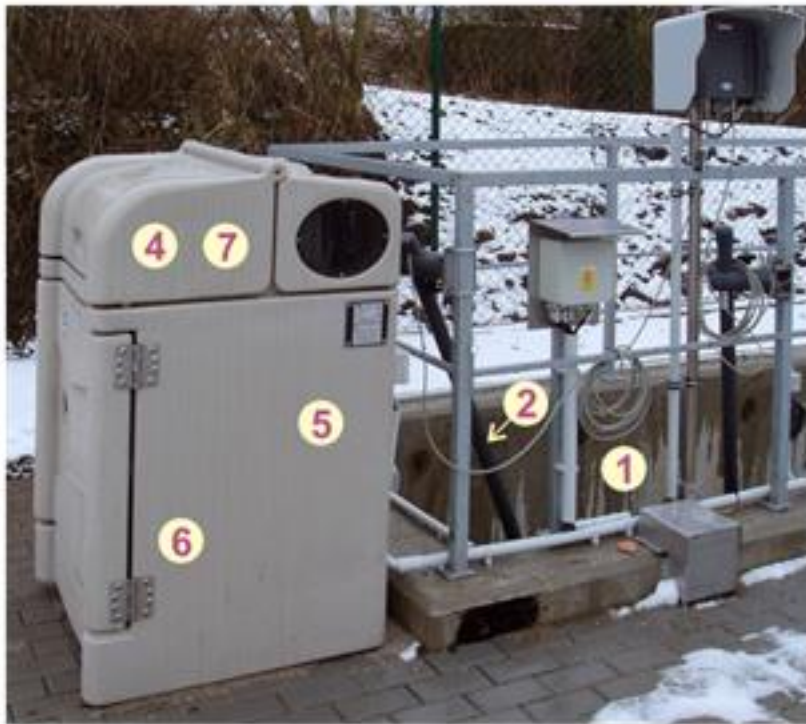
- K měření koncentrace nerozpuštěných látek se používají snímače zákalu – turbidimetry a nefelometry. Pro řízení recirkulace z dosazovacích nádrží při zvýšení hladiny kalového mraku se využívají sondy měření rozhraní voda - kal v sedimentačním prostoru.

Barva vyčištěné odpadní vody

- automatizované fotometrické metody

Měření základních provozních parametrů *in situ*

Provozní měření pro řízení nemůže nahradit měření pro vykazování státní správě



1 – odtokový žlab, 2 – odběrové zařízení, 3 – měření průtoku (podle vzduší hladiny ve žlabu), 4 – řídicí jednotka, 5 – odběrové čerpadlo (řízené buď časem, nebo průtokem odpadní vody **FI 81**), 6 – temperovaná sběrná nádoba, 7 – vnitřní hodiny řídicí jednotky

Možnosti řízení procesů na ČOV

manuální

- parametry procesu jsou nastaveny pevně
- změny závislé na obsluze

RBC

- rule based control
- pracovní oblast procesu vymezena systémem pravidel

expertní
systém

- řídicí systém obsahuje matematický model čistírenského procesu

umělá
inteligence

- matematický systém se schopností vlastního učení

Možnosti řízení procesů na ČOV

Cíle řízení moderního aktivačního procesu s biologickým odstraňováním nutrientů:

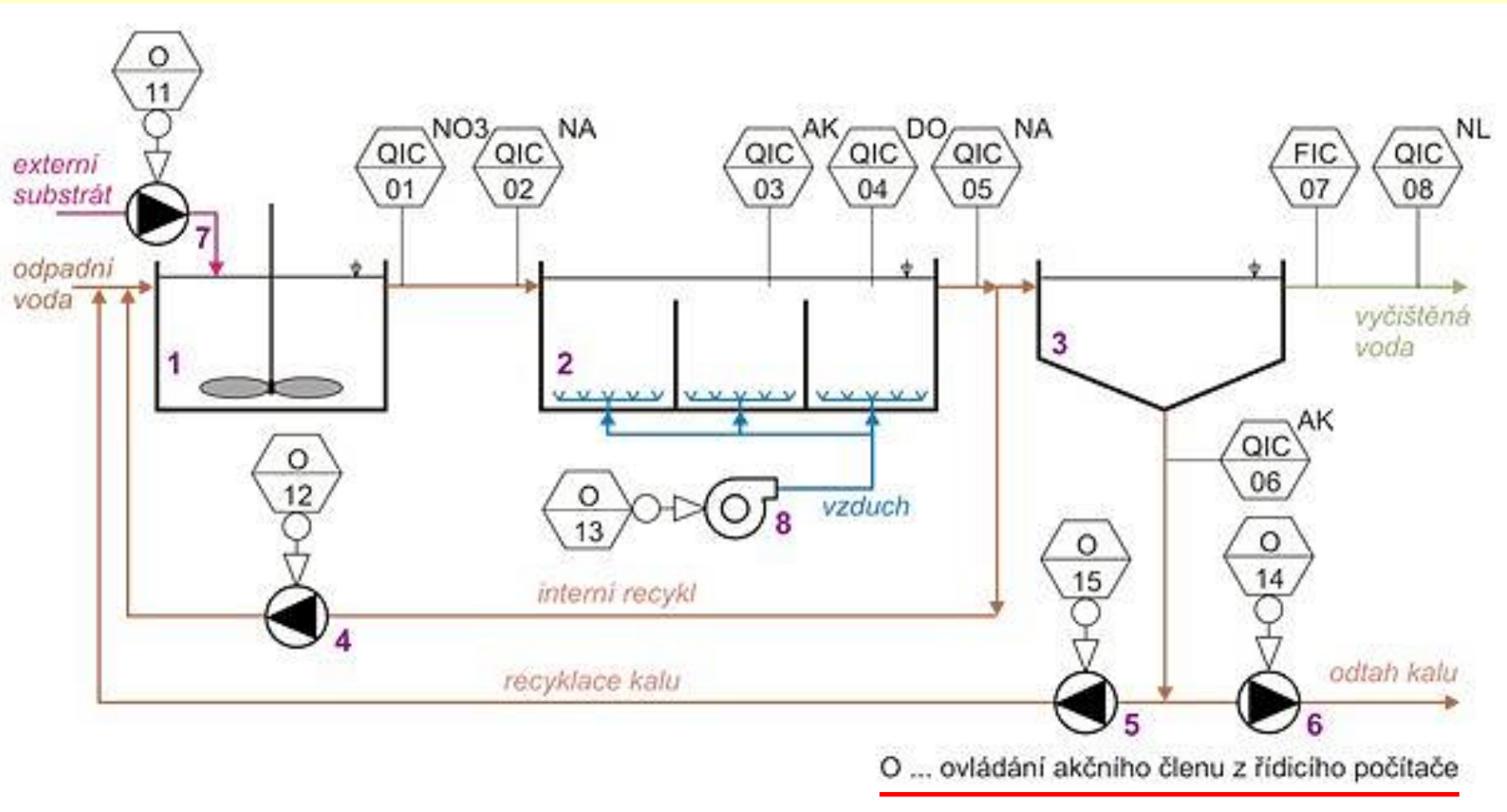
- dosahovat legislativou požadovanou kvalitu odtoku
- optimalizovat náklady na čištění (energie, chemikálie, údržba, opravy a výměny zařízení, mzdy)
- sledování a udržování parametrů rozhodujících procesů

Hlavní řízené procesy

- 1. provzdušňování (aerace),
- 2. sledování vlastností aktivovaného kalu,
- 3. interní recyklace aktivovaného kalu,
- 4. dávkování externího substrátu.

Řízení těchto procesů vychází z měření obsahu základních komponent odpadní vody v průběhu procesu čištění - viz obecné schéma

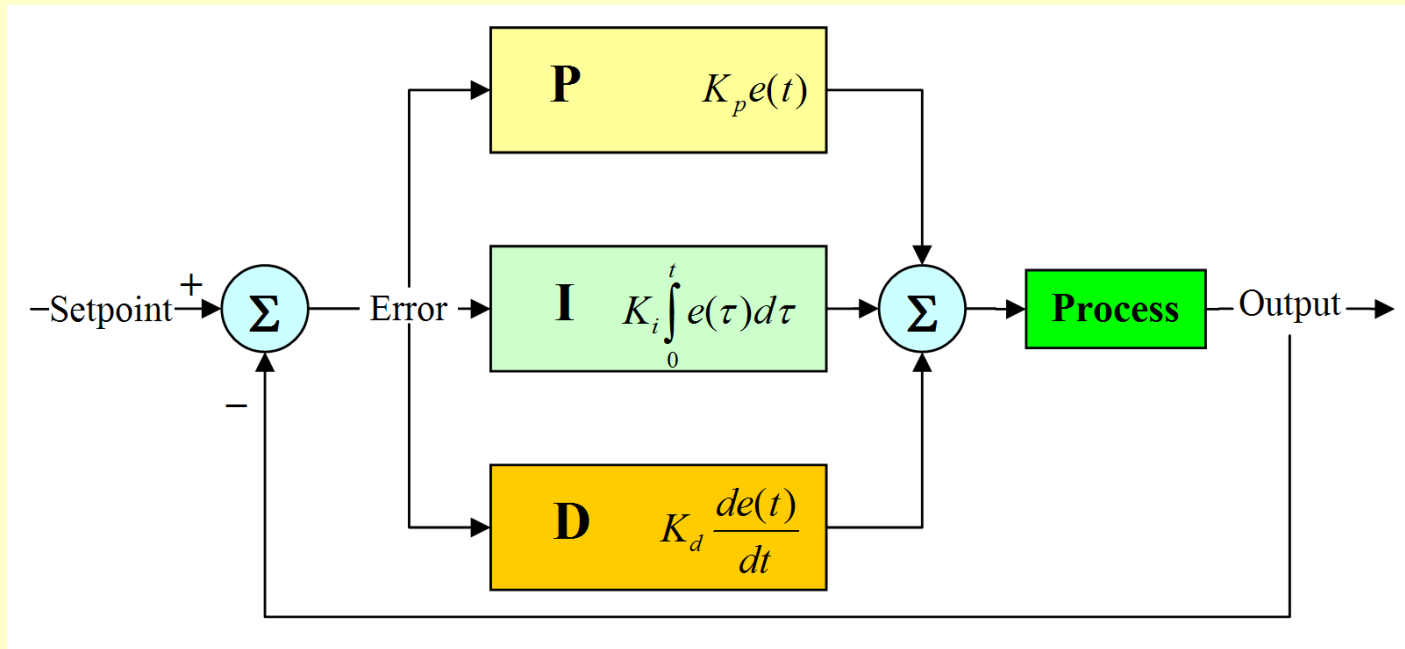
Základní schéma řízení biologického čištění odpadních vod



- **1** – denitrifikace (míchaná), **2** – nitrifikace, **3** – dosazovací nádrž, **4** – čerpadlo interního recyklu, **5** – čerpadlo recyklu kalu, **6** – čerpadlo odtahu kalu, **7** – čerpadlo externího substrátu, **8** – dmychadlo vzduchu
- Zkratky u čidel: **NO3** – konc. dusičnanů, **NA** – konc. amoniakálního dusíku, **AK** – konc. aktivovaného kalu, **DO** – konc. rozpuštěného kyslíku, **NL** – obsah nerozpuštěných látek

1. provzdušňování (aerace)

- Pro jednu aerační nádrž je použita jednoduchá PID regulace c_{DO} (QIC 040) ovládáním výkonu dmychadla prostřednictvím frekvenčního měniče (Viz obrázek a)



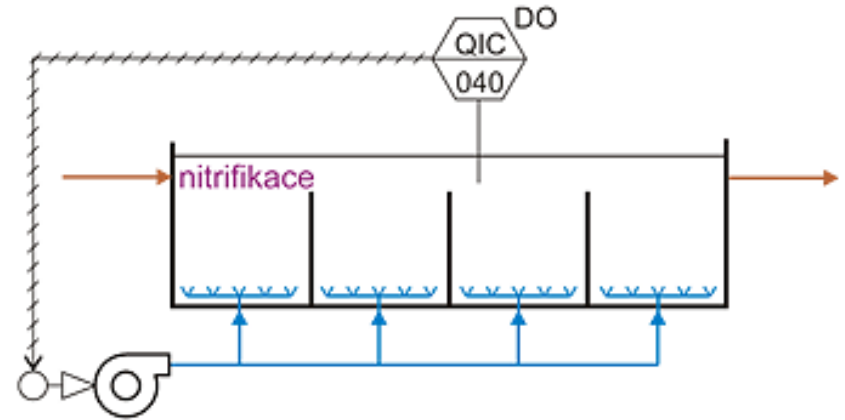
Vlevo *žádaná hodnota (setpoint)*, vpravo *měřený výstup (output)* z procesu, rozdílem *žádané hodnoty a výstupu* vzniká *regulační odchylka (error)*, která je zpracována PID složkami regulátoru a jako *akční veličina* vstupuje do procesu.

1. provzdušňování (aerace)

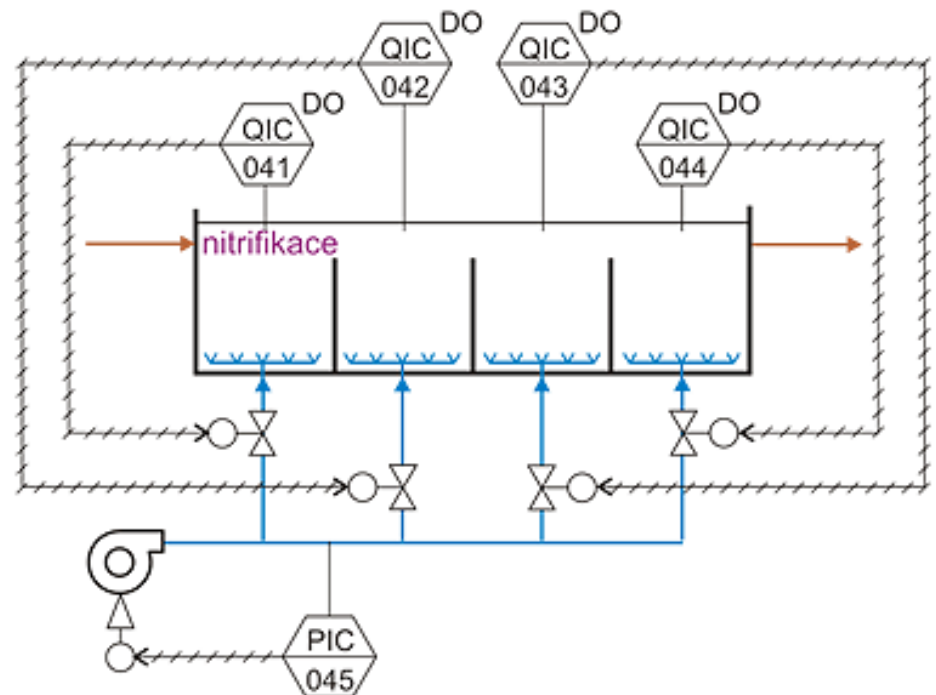
- Regulace c_{DO} ve více nádržích nebo více sekcích: - použijeme schéma podle obr.b). .
- Tato regulace funguje tak, že PID regulace c_{DO} je zajišťována pro každou nádrž resp. sekci samostatně (QIC 041 až QIC 044), přičemž akčními členy jsou regulační klapky na přívodu vzduchu do jednotlivých částí aerace. Přizpůsobení výkonu dmychadla momentální celkové potřebě kyslíku zajišťuje regulátor tlaku ve výtlačném potrubí dmychadla (PIC 045), který v případě zvyšujícího se tlaku (je dostatek kyslíku a regulační klapky se přivírají) sníží otáčky dmychadel a obráceně.

1. provzdušňování (aerace)

Základní způsoby řízení
koncentrace rozpuštěného
kyslíku



a)



b)

1. provzdušňování (aerace)

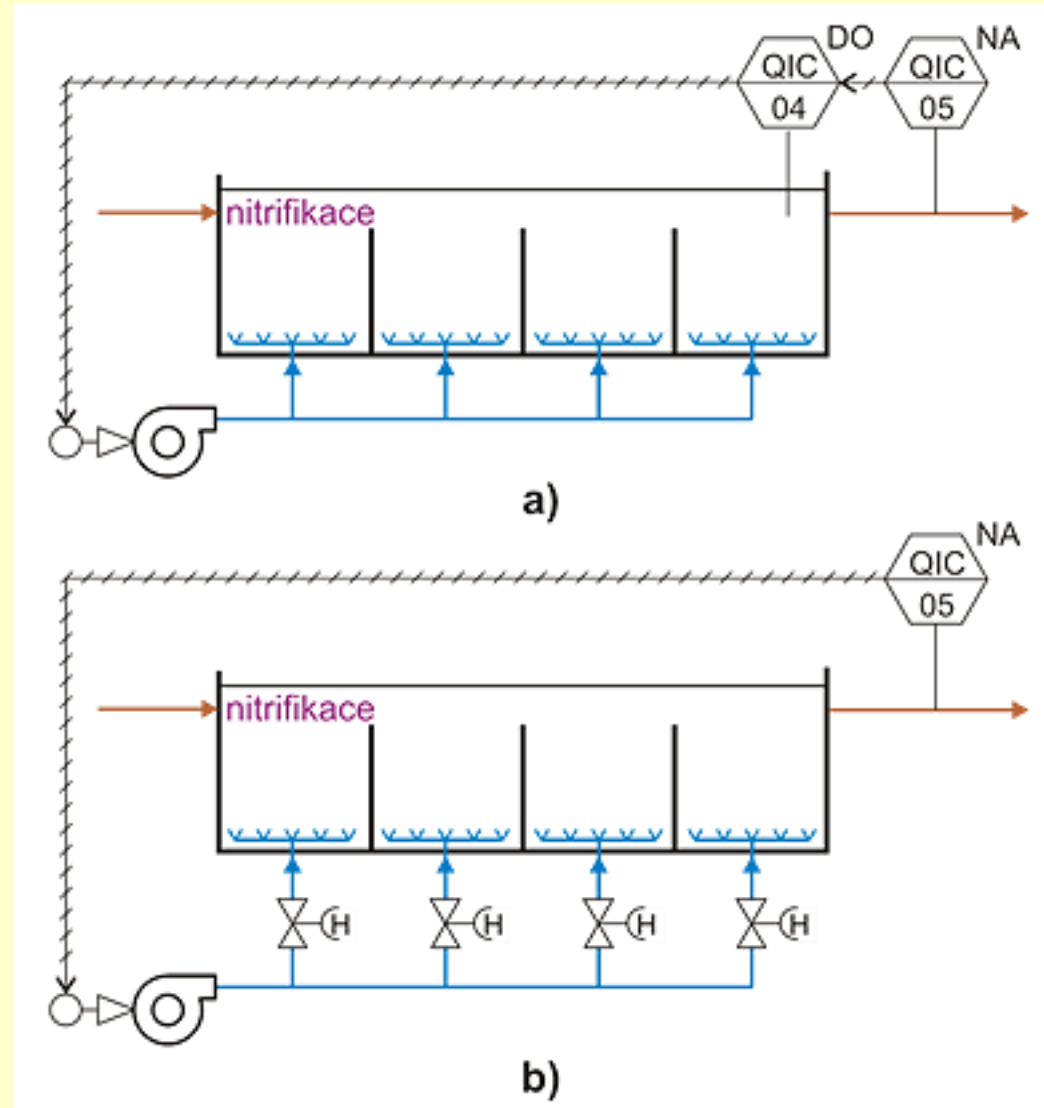
- Je použit matematický vztah, podle kterého lze na základě aktuální koncentrace amoniakálního dusíku (c_{NA}) na odtoku z aerované nádrže vypočítat žádanou koncentraci rozpuštěného kyslíku (c_{DO}) v aktivaci.
- Schéma je na **obr. a**). Jedná se o vlečnou regulaci, kde hlavní regulovanou veličinou je c_{NA} (QIC 05) a pomocnou regulovanou veličinou c_{DO} (QIC 04). Akční veličinou je intenzita provzdušňování.
- Ke stanovení žádané hodnoty regulátoru QIC 04 z koncentrace amoniakálního dusíku zjištěné obvodem QIC 05 lze také využít algoritmu vytvořeného z definované funkce, která stanoví, jaká bude žádaná koncentrace kyslíku při dané koncentraci amoniakálního dusíku

1. provzdušňování (aerace)

- Aerace je přímo řízena tak, že koncentrace kyslíku se podél nádrže mění a v závěrečné fázi se řídí dle měření koncentrace amoniakálního dusíku (obr. b). Jedná se o jednoduchý PID regulační obvod (QIC 05). Odlišný od předchozího příkladu kaskádové aktiace je v tom, že výkon dmychadel není vztažen ke koncentraci kyslíku v aerované nádrži, ale je přímo řízen na základě koncentrace amoniakálního dusíku (c_{NA}) na konci aerované zóny.

1. provzdušňování (aerace)

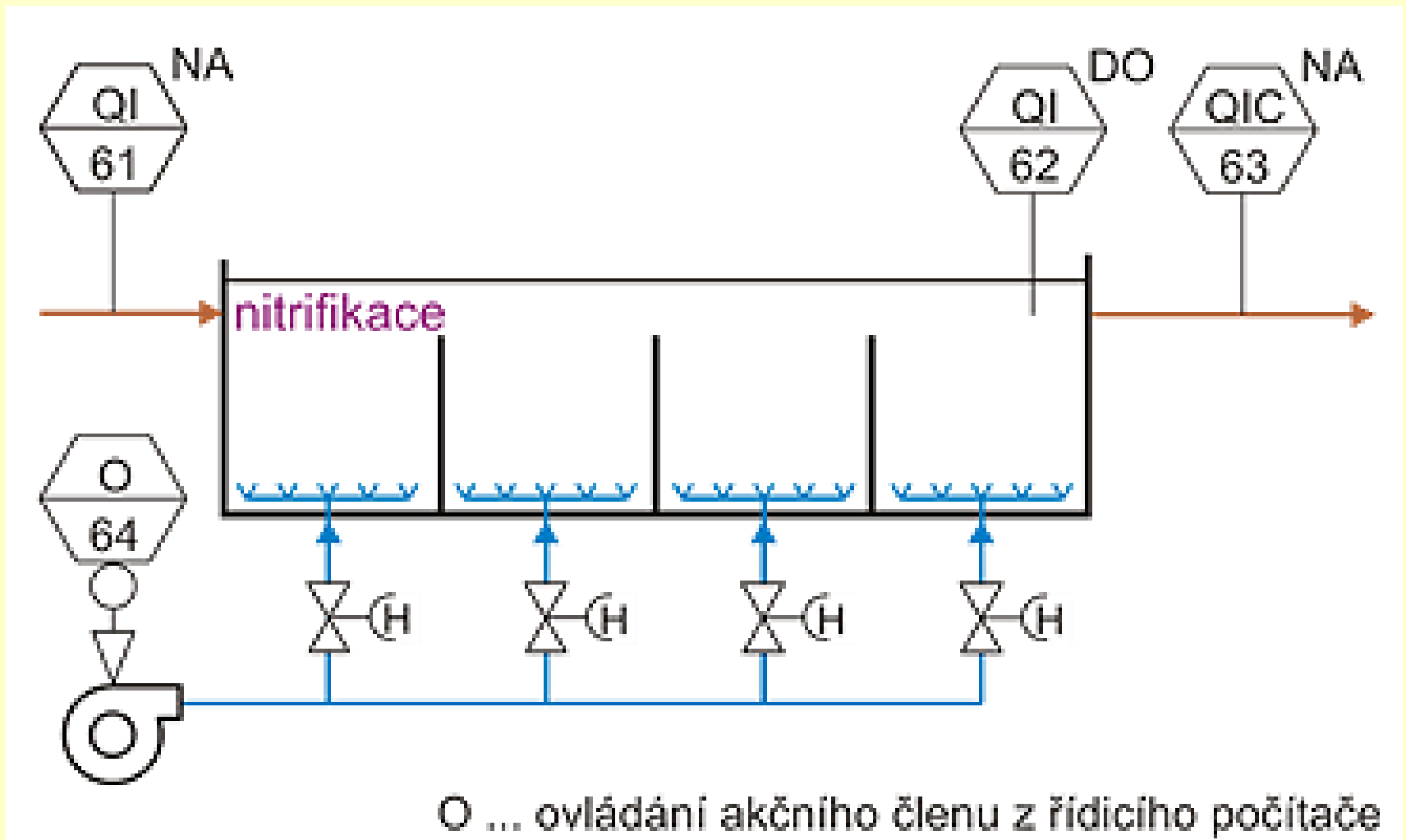
Způsoby řízení výstupní koncentrace amoniakálního dusíku regulačními algoritmy



1. provzdušňování (aerace)

- Algoritmus řízení aerace je vytvořen na základě matematického modelu využívajícího měření c_{NA} na vstupu do nádrže (QI 61) a c_{DO} v aerační nádrži (QI 62) pro predikci c_{NA} na výstupu z aerace. (další schéma).
- Regulovanou veličinou popsaneého algoritmu řízení je c_{NA} na výstupu z nádrže (QIC 63), akční veličinou výkon dmychadla ovládaný z počítače (O 64).

1. provzdušňování (aerace)



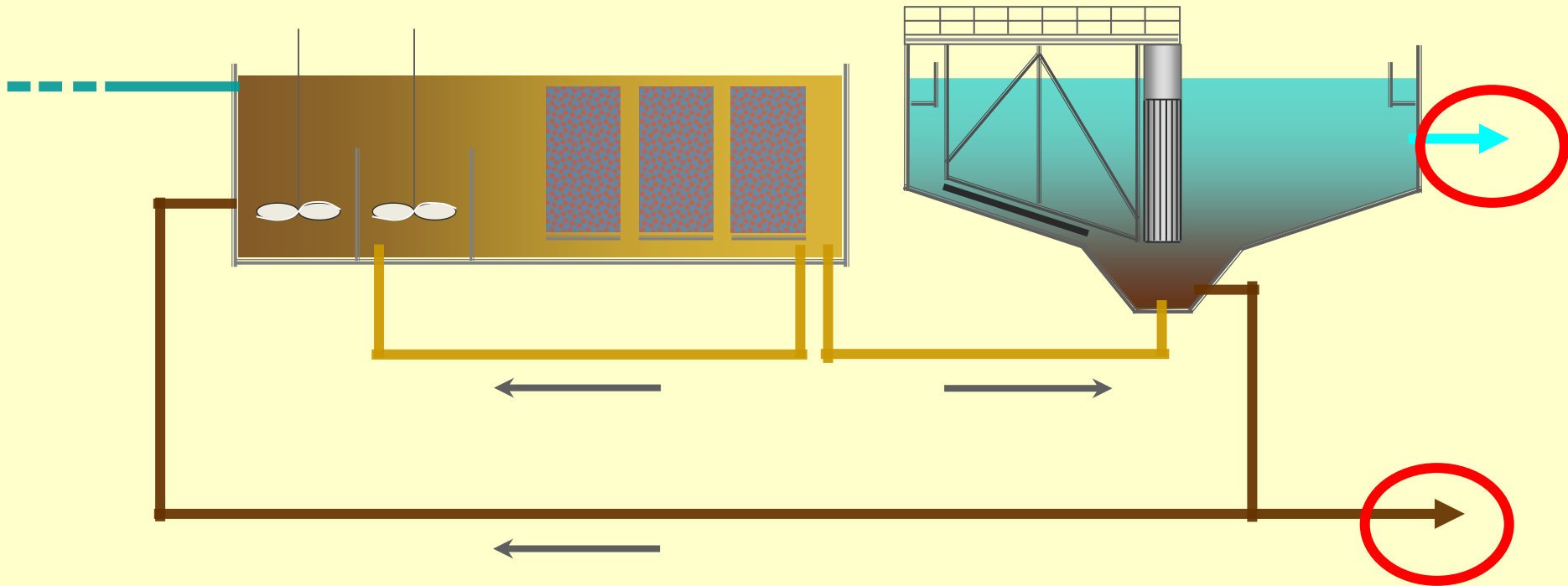
Způsob řízení výstupní koncentrace amoniakálního dusíku podle matematického modelu

Přerušovaná aerace

Nastavení délky aérované a neaerované fáze.

- Pro stanovení těchto dob můžeme využít systémy, které stanovují v reálném čase potřebný čas pro obě fáze odstraňování dusíku dle následujícího dělení:
 1. pevně nastavený čas nitrifikace a denitrifikace,
 2. systémy založené na vyhodnocování časových závislostí pH, ORP, respirační rychlosti,
 3. systémy založené na systémech pravidel pro koncentrace N_{amon} a $N_{\text{NO}_3^-}$ (RBC - *Rule Based Control*),
 4. systémy založené na složitějších matematických postupech (matematické modely, fuzzy logika).

Stáří a koncentrace aktivovaného kalu



Slovní definice:

„Poměr mezi množstvím aktivovaného kalu v systému a množstvím kalu denně z něj odváděným.“

Stáří a koncentrace aktivovaného kalu

- Zjednodušená formule

- $$\Theta x = \frac{V_a \cdot x_a}{q_e \cdot x_e + q_w \cdot x_w}$$

- pokud chceme množství kalu v systému řídit, je třeba znát jeho koncentraci na alespoň 3 různých místech – v aktivační nádrži, na odtoku vyčištěné vody z ČOV a v odtahovaném přebytečném aktivovaném kalu. Manipulovat přímo můžeme **pouze s parametrem průtoku přebytečného aktivovaného kalu**

Dávkování externího substrátu

- Řízení je možno provádět na základě měření koncentrace dusičnanů ve **finálním** odtoku nebo v anoxickém stupni. Pokud měříme koncentraci dusičnanů v odtoku, jedná se spíše **o kontrolní funkci pro ověření správnosti dávky**, protože nelze reagovat na situaci posunutou v čase o dobu zdržení. Proto je **obvykle sonda umístována do odtoku z anoxického stupně**.

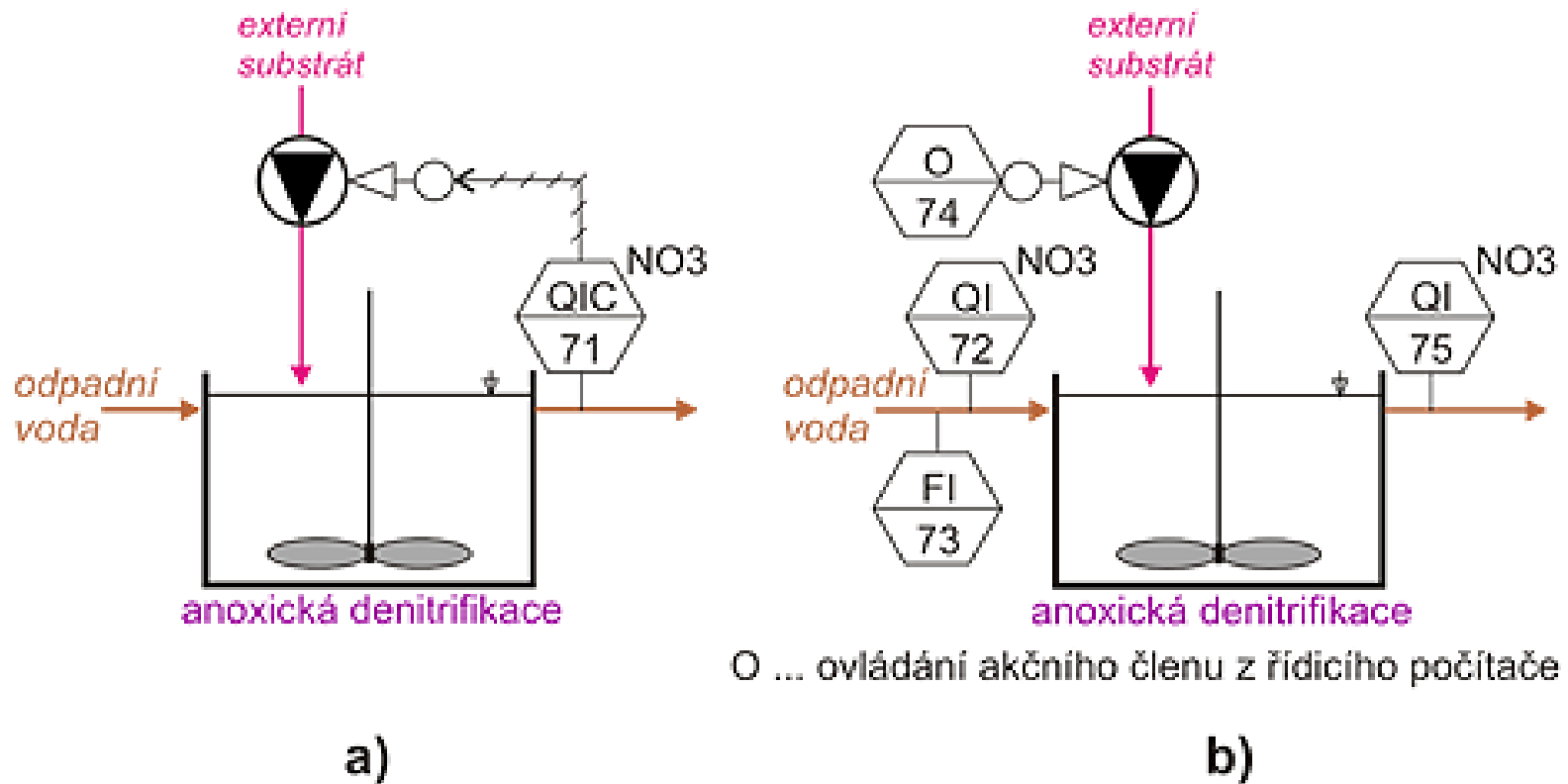


Schéma řídicích strategií při dávkování externího substrátu

Dokonalejší strategie b): Využívá algoritmu vycházejícího z matematického modelu denitrifikace a výkon čerpadla (O 74) určuje podle koncentrace dusičnanů na výstupu (QI 75) a také podle hodnoty koncentrace dusičnanů na vstupu (QI 72) a průtoku odpadní vody (FI 73)

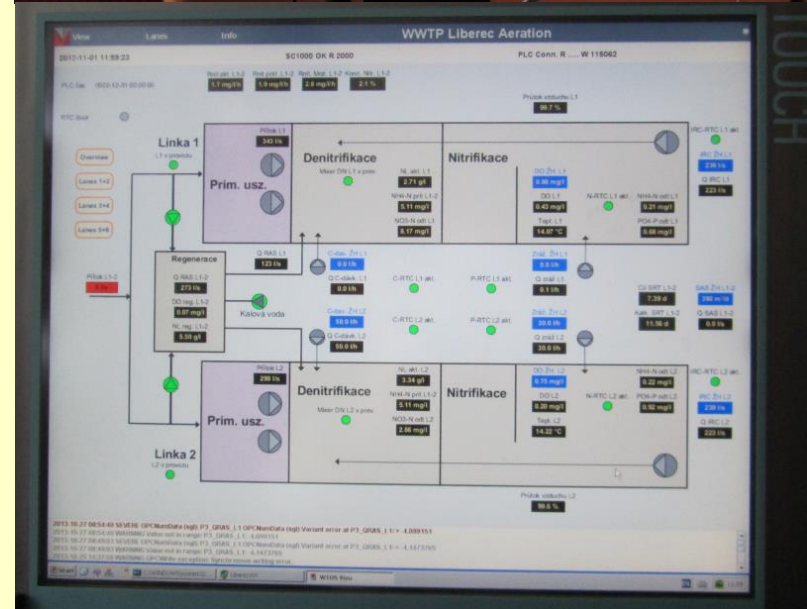
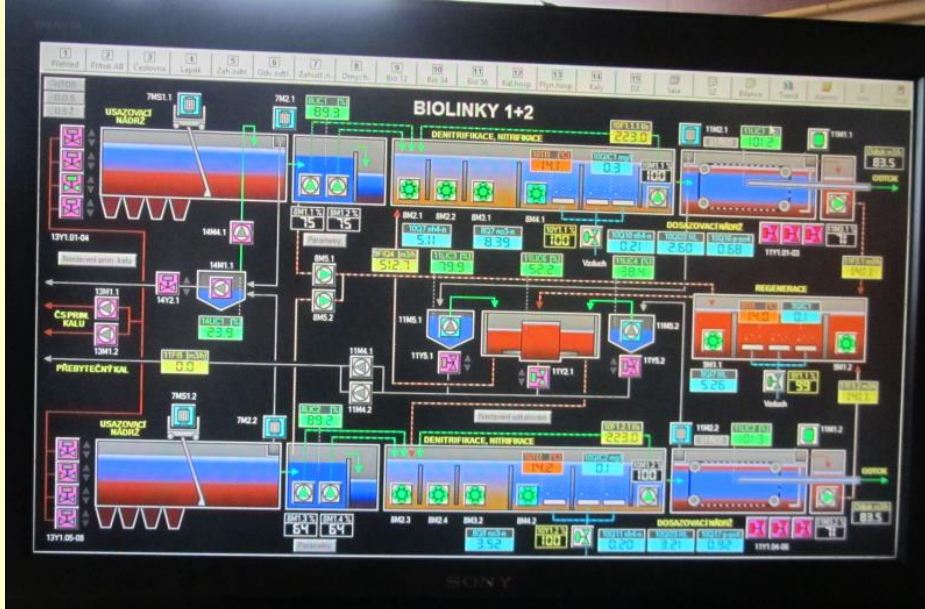
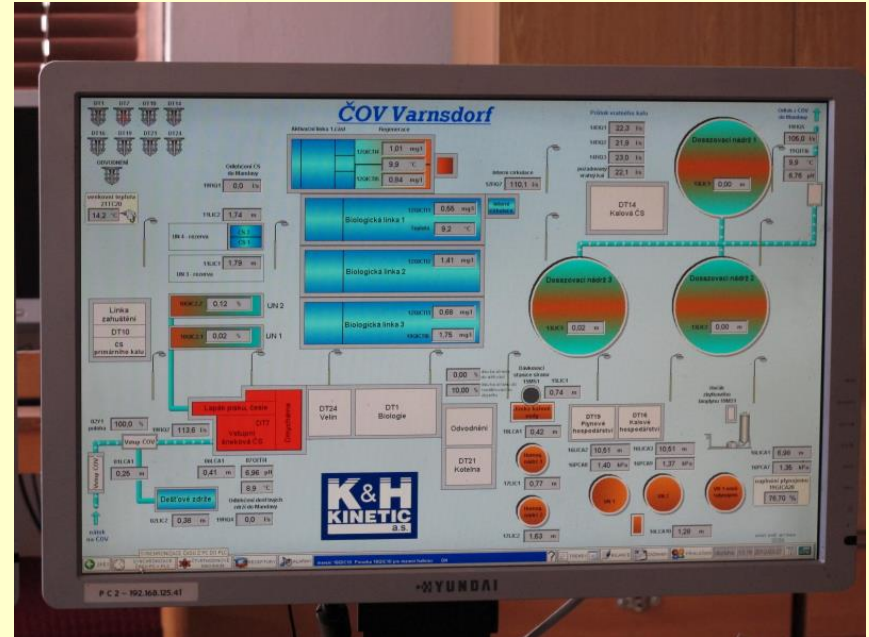
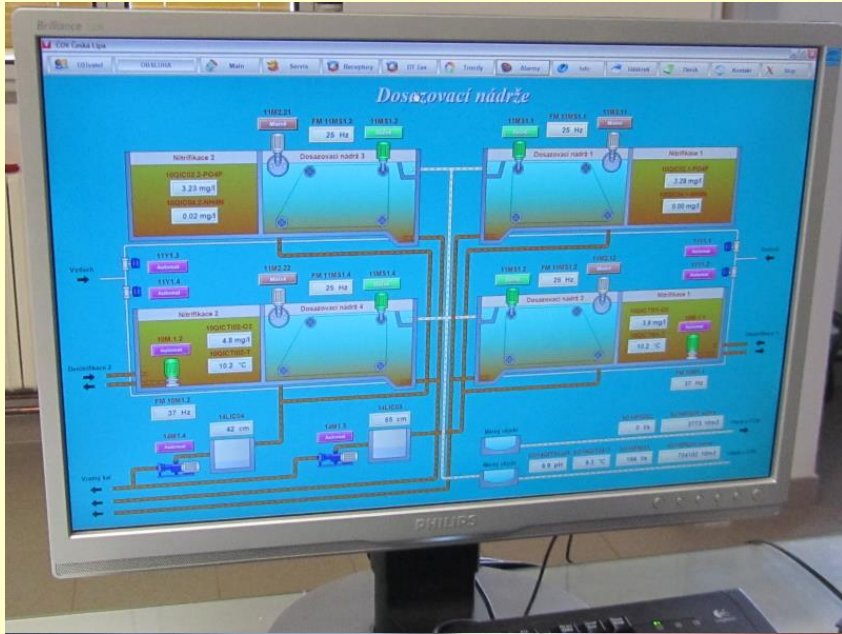
Vstupy a výstupy řídicích systémů

- Potřebujeme zařízení, které umožňuje odečet měřených dat, jejich zpracování a zprostředkování informace pro obsluhu.
- Umožní zásah obsluhu nebo automatického řídicího členu (přes nastavený algoritmus nebo matematický model, např. ASM1).
- Vyhodnotí a umožní zkontrolovat výsledek korekce.

Analogové velíny (dnes většinou již historie)



Digitalizace dat, počítačové rozhraní



Modulární řídicí systém HACH





Velín ČOV Vídeň