

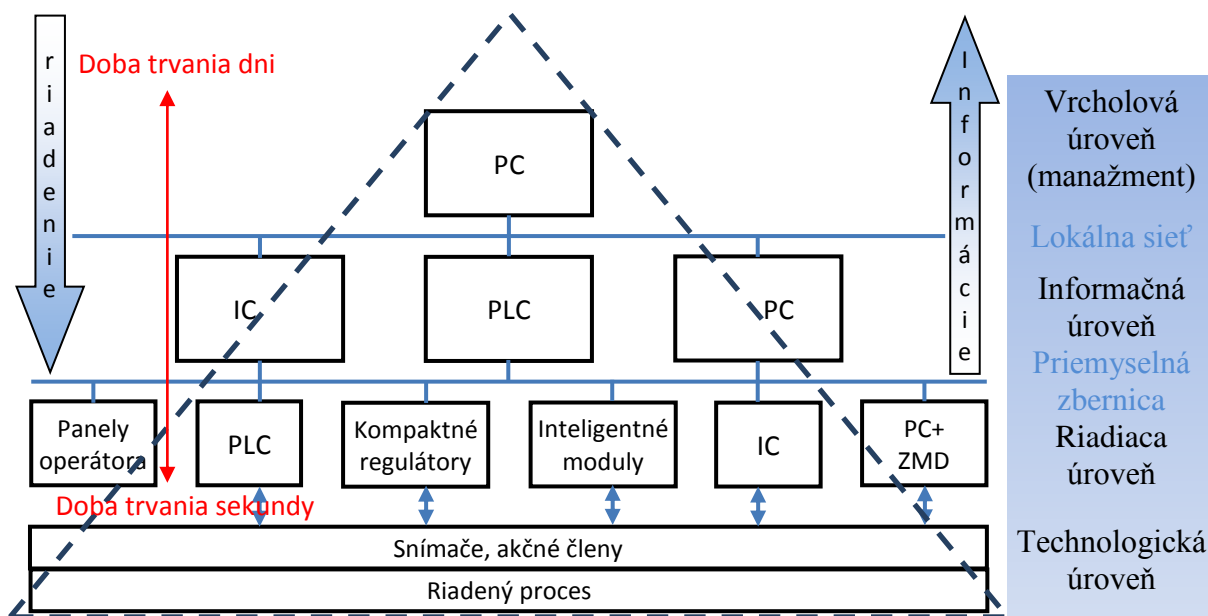
## 7. Praktické stránky diskretného riadenia

Väčšina technických prostriedkov súčasnej automatizačnej techniky pracuje na princípoch diskretného riadenia a je teda logické, že oproti klasickému (spojitému) riadeniu bude mať rad výhod, ktoré ovplyvňujú jeho široké uplatnenie sa v technickej praxi.

K hlavným výhodám patria:

### a) Centralizácia a decentralizácia riadiacich prostriedkov

Riadiaci obvod môžeme rozdeliť na niekoľko vzájomne spolupracujúcich celkov prepojených priemyselnými komunikačnými linkami. Vzniká tzv. **distribučovaný riadiaci systém - DCS** (distributed control system) charakterizovaný viacúrovňovou hierarchickou štruktúrou. Schéma typického distribučovaného riadenia je na Obr. 28



Obr. 28 Distribuované riadenie

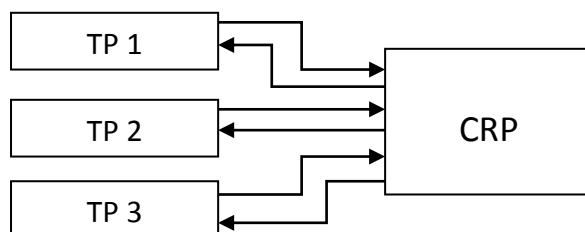
Pod technickou vrstvou sa rozumie vlastný riadený objekt doplnený snímačmi a akčnými členmi. Riadiaca vrstva obsahuje systémy, ktoré sú svojimi vstupmi a výstupmi spojené so snímačmi a akčnými členmi riadených objektov. Sú to predovšetkým programovateľné automaty, kompaktné regulátory, inteligentné riadiace moduly ale tiež vyššie systémy, akými sú riadiace počítače (IC – Industrial Computer) alebo PC doplnené V/V obvody pre styk s prostredím (ZMD – zásuvné meracie dosky).

*Pod pojmom distribučovaný riadiaci systém teda rozumieme merací, riadiaci a informačný systém založený na číslicovej technike pre riadenie technologických procesov (riadenie nielen výrobných činností ale celého chodu firmy alebo podniku), ktorý je určený pre použitie v prostredí zodpovedajúcom z hľadiska elektromagnetickej kompatibility, vonkajších vplyvov a spôsobov nasadenia bežným podmienkam priemyselnej praxe.*

#### Poznámka:

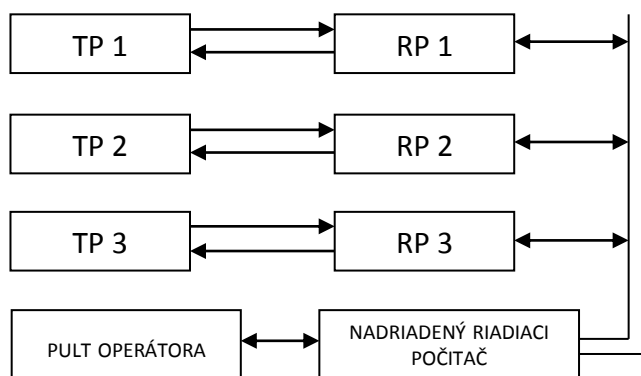
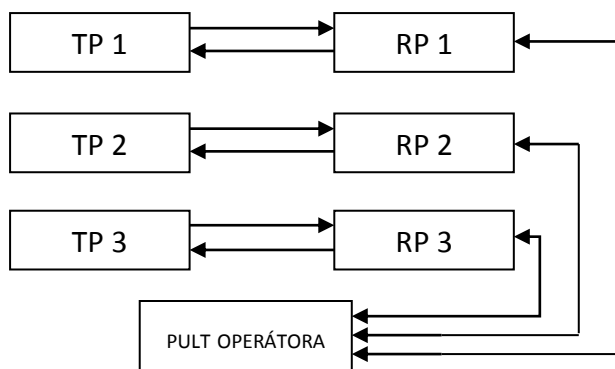
Vo vývoji spôsobov číslicového riadenia môžeme zaznamenať nasledujúce etapy:

- **Centralizované riadenie** - používa jediný riadiaci počítač (CRP) pre riadenie celej výroby, takže musí byť napojený na všetky vstupy a výstupy technologického procesu (TP). Výhodou je, že máme kompletne



znalosti o chode systému na jedinom mieste, nevýhodou je, že musí byť veľmi výkonný a vzdialenosti medzi riadiacimi bodmi a ním môžu byť tak veľké, že náklady na kabeľáž môžu prekročiť cenu samotného systému.

- **Decentralizované riadenie** - spočíva v tom, že riadiace počítače sú umiestnené priamo v jednotlivých technologických blokoch teda musí ich byť viac. Sú napojené komunikačným systémom na pult operátora, kde sa prenášajú informácie zo všetkých počítačov a odkiaľ sa počítačom vydávajú povely.
- **Distribučované hierarchické riadenie (DCS)** – od predchádzajúceho sa líši tým, že jednotlivé riadiace počítače sú napojené na nadriadený riadiaci počítač na ktorom bežia riadiace algoritmy celej prevádzky a až na neho je napojený pult operátora. Pritom platí, že nadradených úrovní môže byť viac.



### b) Veľká spoľahlivosť

Spoľahlivosť sa vyjadruje tzv. strednou dobou medzi poruchami (**MTBF** – mean time between failures). Ide o parameter zistený štatisticky. Napr. 200 000 hod. MTBF znamená pravdepodobnú poruchu raz za 100 rokov pri využívaní 8 hodín denne počas piatich dní v týždni. V súčasných riadiacich systémoch nadobúda tento parameter hodnotu rádovo  $10^4$  až  $10^5$ .

### c) Ľahká zmena štruktúry „regulátora“

Algoritmus riadenia nie je na rozdiel od klasických automatizačných prostriedkov určený pevným zapojením elektronických súčiastok alebo pneumatických, či hydraulických prvkov, ale je tvorený programovo. Riadiace počítače a programovateľné automaty umožňujú žiadanú štruktúru regulačného člena zostaviť vhodnou kombináciou počítačových blokov.

### d) Programové nastavenie parametrov regulátorov

Regulátory diskretných systémov sú často tvorené jedinou výkonnou inštrukciou (najčastejšie inštrukciou PID) a blokom údajov obsahujúcim všetky požadované parametre. Konštanty regulátora ( $pp$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ) sa nastavujú ich modifikáciou. Niektoré systémy majú zabudovanú funkciu automatického nastavenia prípadne adaptívny mechanizmus.

### e) Minimálny drift nuly

Základom klasických regulátorov sú jednosmerné zosilňovače, ktoré sú charakteristické nestálosťou výstupného napätia (drift nuly). Tento problém v prípade mikro počítačových systémov z pochopiteľných dôvodov odpadá.

### f) Ľahký prenos informácie na veľké vzdialenosti

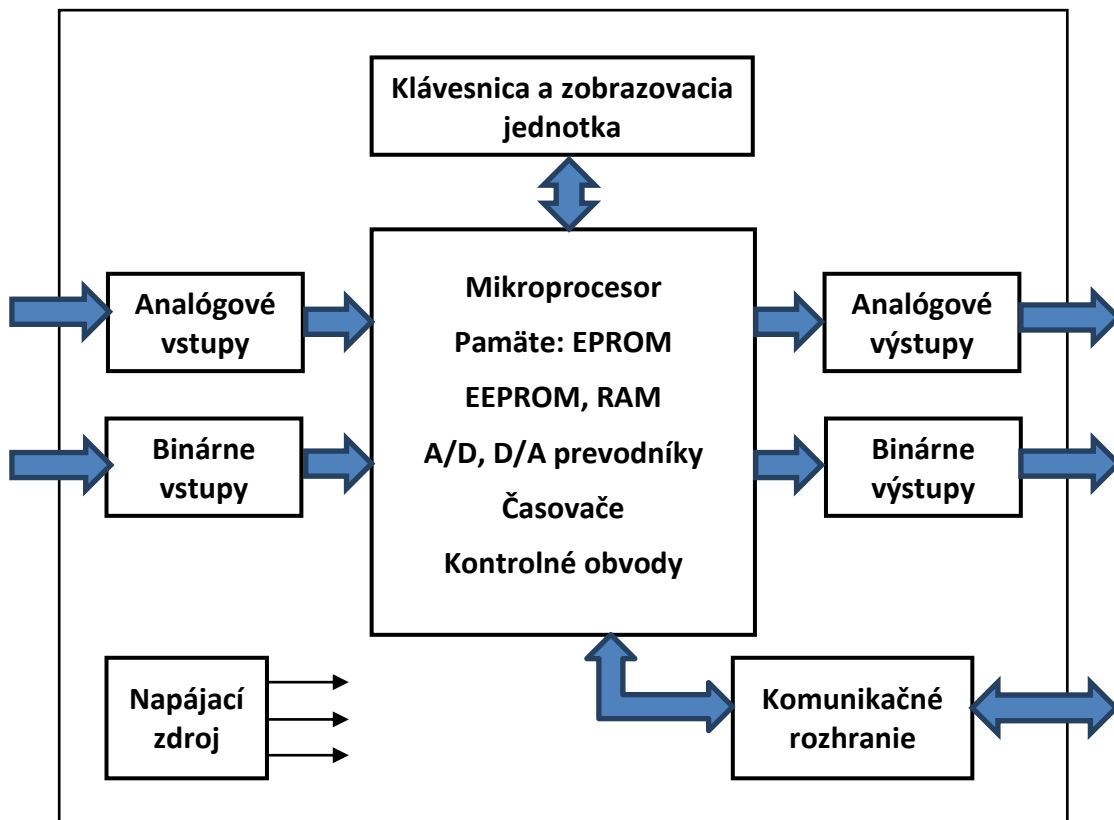
Všetky signály sú prenášané v tvare binárne kódovaných údajov, tie sú podstatne odolnejšie voči elektromagnetickému rušeniu ako údaje analógové.

### g) Lahšie nastavenie, oživenie a montáž riadiacich systémov, diagnostické nástroje

Diskrétné riadiace systémy obsahujú rad ladiacich a diagnostických nástrojov, ktoré uľahčujú uvedenie do chodu a odstránenie prípadných porúch.

#### 7.1. Štruktúra a konštrukčné usporiadanie číslicových regulátorov

Základným stavebným prvkom číslicových regulátorov (ústredný člen) sú číslicové počítače (obvykle jedno čipové) tak, ako bol operačný zosilňovač základným stavebným prvkom elektronických spojitých regulátorov. Štruktúru číslicového regulátora preto môžeme veľmi zjednodušene vyjadriť usporiadaním na Obr. 29.



Obr. 29 Bloková schéma číslicového regulátora

Jeho centrom je mikroprocesor a potrebné pamäte: ROM/EPROM na uloženie programu, EEPROM na uloženie parametrov, ktoré treba meniť ale ktorých hodnota musí zostať zachovaná aj pri odpojení napájania a napokon operačná pamäť RAM. Pretože regulátor, hoc sám číslicový, riadi procesy, ktoré majú spojitú povahu, sú ďalej potrebné A/D a D/A prevodníky. Všetky algoritmy číslicového riadenia vyžadujú pre svoju činnosť presnú a stabilnú časovú základňu, ktorá zabezpečí, že perióda vzorkovania bude konštantná, prípadne sa bude meniť podľa požiadaviek regulačného algoritmu, nie však náhodilo. Nutnou súčasťou regulátora sú preto časovacie obvody, obvykle realizované pomocou presného kryštálového riadeného oscilátora a premenného deliča frekvencie. Ďalej sú potrebné rôzne pomocné obvody zabezpečujúce definované chovanie regulátora v prípade vybočenia napájacieho napätia z príslušných medzí, zacyklenia, či iného nesprávneho chovania programu.

V súčasnosti je možné všetky, či väčšinu týchto funkcií realizovať jediným obvodom, tzv. jednočipovým mikropočítačom. V jednoduchých regulátoroch určených napr. na jednoslučkovú reguláciu teploty, či iných pomalých procesov sa stále bežne používajú osem bitové mikroprocesory, v zložitejších zariadeniach potom skôr 16 alebo 32 i 64 bitové.

### 7.1.1. Funkcia vstupných obvodov

- **Vzorkovanie vstupných signálov**  
vzorkovanie je periodické testovanie vstupného signálu a jeho „zmrazenie“ do ďalšieho odberu vzorky. Čas medzi susednými odbermi je perióda vzorkovania  $T$ .  $T$  musí byť konštantná a dostatočne dlhá na to, aby regulátor vykonal *načítanie všetkých vstupov* (rádovo až tisíce), *výpočty  $e(t)$ ,  $u(t)$  a ďalšie v reálnom čase* a *tvarovanie výstupných signálov* atď.
- **Zosilnenie vstupného signálu**  
úprava signálu – zosilnením a posunom nuly určuje rozsah pre daný vstup (často realizované SW).
- **A/D prevod**  
úprava diskrétného signálu do digitálnej podoby. Šírka dátového slova (8 – 16 bitov) určuje rozlišovaciu schopnosť prevodníka a ovplyvňuje tým presnosť celej regulačnej slučky.
- **Multiplexovanie vstupov**  
vstupné obvody reálnych riadiacich systémov spracovávajú rádovo desiatky až tisícky signálov. Ich spracovanie v samostatných vzorkovacích obvodoch by bolo neúmerne drahé. Preto sa spravidla pre skupinu vstupov použije jeden analógový obvod, na ktorý sa pomocou analógového MX postupne vstupné signály pripájajú.

Integrované A/D prevodníky väčšinou pracujú s napäťovými vstupnými signálmi. Súčasťou číslicových regulátorov sú preto analógové vstupné a prispôsobovacie obvody. Tie umožňujú pripojenie snímačov, ktorých výstupom sú iné typy signálov, prípadne napäťové signály iných úrovní než sú tie, ktoré predpokladá použitý typ A/D prevodníka. V obvyklom vybavení je preto niekoľko variant napäťových vstupov (typicky 0–10 V, 0–5 V, 1–5 V,  $\pm 10$  V, niekedy i pre malé napätia 0–10 mV, 0–50 mV). Pretože napäťové signály sú pre svoju veľkú citlivosť na rušenie a možné znehodnotenie v dôsledku úbytku napätia vo vedení nevhodné pre prenos na dlhšie vzdialenosti v priemyselnom prostredí, bývajú regulátory štandardne vybavené prúdovými vstupmi. Najdôležitejším z nich je vstup pre rozsah **4–20 mA**. Ten umožňuje pripojenie tzv. **dvojvodičových prevodníkov**, ktoré sú po jednom vedení napájané a zároveň zvyšovaním svojho odberu nad základný napájací prúd 4 mA vysielajú informáciu o hodnote snímanej veličiny. Skutočnosť, že nulovej hodnote resp. dolnému koncu rozsahu meranej veličiny zodpovedá nenulový prúd 4 mA, tiež umožňuje ľahkú detekciu prerušenia vedenia, či poruchy snímača. Regulátory potom obvykle generujú varovné hlásenia a obsluha môže reagovať. Moderné, tzv. SMART snímače umožňujú po tomto vedení komunikovať aj číslicovo. Okrem spomenutého základného prúdového rozsahu býva regulátor vybavený aj ďalšími rozsahmi typicky 0–20 mA, prípadne ďalšími. Okrem napäťových a prúdových vstupov umožňujú číslicové regulátory často tiež priame pripojenie bežných snímačov, najčastejšie tepelných – termočlánky, odporových (Pt100) a odporových vysieláčov polohy. Niektoré regulátory bývajú ďalej vybavené číslicovými frekvenčnými vstupmi – vstup pre vyhodnotenie impulzov z inkrementálnych snímačov polohy úrovni TTL resp. HTL ( $U_H \geq 21$  V,  $U_L \leq 2,8$  V, napájanie 24 V). Okrem vstupov regulovanej veličiny majú regulátory aj ďalšie pomocné vstupy napr. vstup žiadanej veličiny alebo rôzne pomocné binárne vstupy umožňujúce napr. na diaľku prepínať medzi ručným a automatickým režimom, reguláciou na konštantnú hodnotu a pod.

### 7.1.2. Funkcia výstupných obvodov

- **D/A prevod**  
prevod dátového výstupného slova CPU na diskretný signál.
- **Tvarovanie**  
úprava diskrétného výstupného signálu na tvar použiteľný pre budenie akčných

členov. Podľa použitého tvarovača to môže byť výstupný signál *stupňovitý*, *šírkovo modulovaný* prípadne *frekvenčne modulovaný*.

Variabilita analógových výstupov je obmedzenejšia. Najbežnejší je prúdový signál 4–20 mA, prípadne 0–20 mA, menej obvyklý je napätový výstup 0–5 či 0–10 V. Pretože väčšina číslicových regulátorov obsahuje aj algoritmy pre nespojitú reguláciu, sú dôležitou súčasťou regulátora aj binárne výstupy. Môžu byť aj výkonové a umožňovať tak spínanie menších záťaží alebo ovládať servomotory. Okrem výstupov pre ovládanie AČ majú regulátory obyčajne aj pomocné výstupy. Časté sú najmä kontakty relé fungujúce ako alarmy spínajúce napr. pri odchýlke regulovanej veličiny od definovaných medzí.

Dôležitou súčasťou regulátora je **komunikačné rozhranie**, ktoré ho umožňuje používať nielen ako izolované zariadenie, ale aj ako súčasť rozsiahlejšieho distribuovaného riadiaceho systému. Rozhranie musí teda umožňovať pripojenie regulátora k štandardnej priemyselnej zbernici (CAN, Profibus, ...).

- **PROFIBUS** – je normou definovaný štandard, použiteľný v rôznych aplikáciách a to nielen v priemysle, kompatibilita je zabezpečená štandardom EN 50-170, EN 50-254 čo znamená, že výrobky rôznych firiem môžu byť bezproblémovo zameniteľné. Štruktúra profibus-u pozostáva z 3 častí:

1. **PROFIBUS DP** - je optimalizovaný pre rýchle nenáročné spojenia, je špeciálne určený na komunikáciu medzi PLC na najnižšej technologickej úrovni

2. **PROFIBUS PA** - je navrhnutý pre procesnú automatizáciu, to znamená, že dovoľuje pripojiť akčné členy a snímače na jednu spoločnú zbernicu a to aj v nebezpečných prostrediach

3. **PROFIBUS FMS** - je určený na komunikáciu na najvyššej úrovni, takže môže byť použitý pre rozsiahle a komplexné komunikačné úlohy

- **CAN (controller area network)** - táto zbernica je štandardizovaná medzinárodnou normou ISO 11898. Pôvodne bola vytvorená pre nasadenie v automobiloch ale v 90. rokoch firma BOSCH túto zbernicu štandardizovala aj pre priemyselné použitie. Používa sa na riadenie v reálnom čase v systémoch vyžadujúcich vysokú spoľahlivosť pri prenosovej rýchlosti až 1 Mbps. V súčasnosti sa používa štandard CAN 2.0, ktorý adresuje zariadenia na zbernici pomocou 29 bitovej adresy

### 7.1.3. Spracovanie signálu v centrálnej jednotke

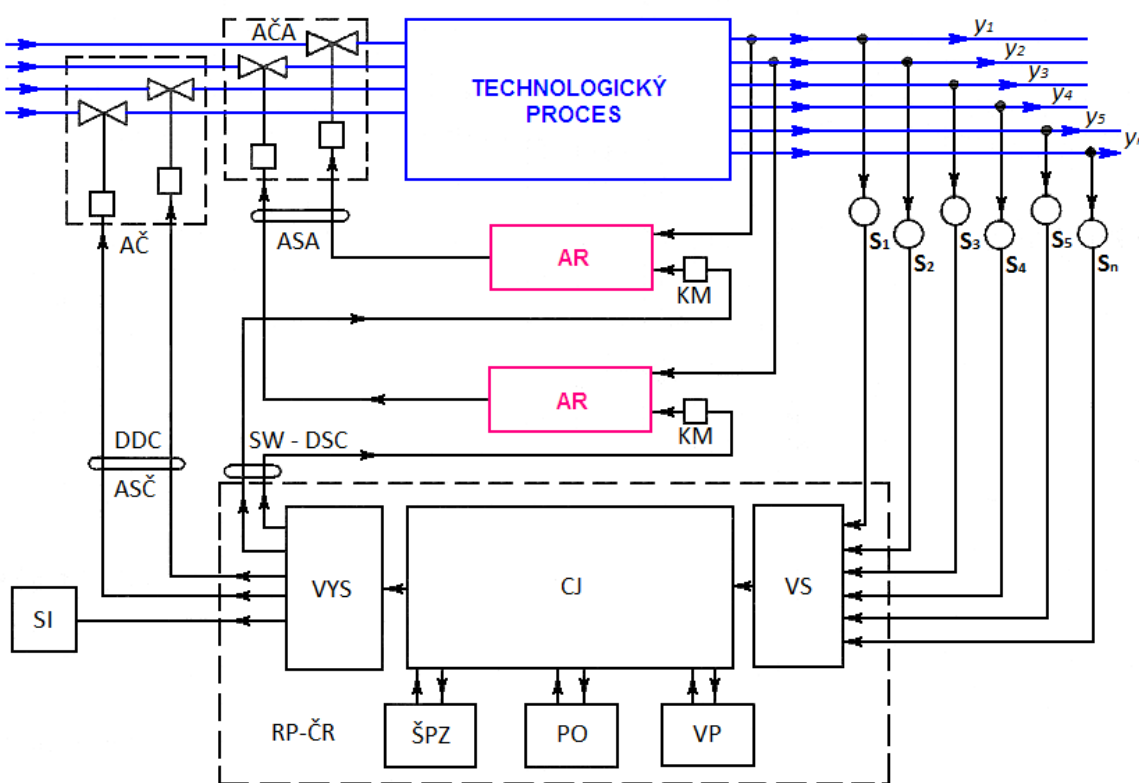
- **Prepočet snímaných signálov na zodpovedajúce fyzikálne jednotky**  
cieľom je previesť digitalizovaný signál zo snímačov teploty, tlaku, polohy ... na °C, kPa, m, ...
- **Kontrola medzných hodnôt**  
programovo sa sledujú medzné hodnoty sledovaných stavových veličín, pri prekročení sa generuje *alarm* signalizovaný opticky prípadne zvukovo. Pre zobrazenie alarmov sa často používajú terminály alebo dispečerské a vizualizačné softvérové produkty ([SCADA](#), [HMI/MMI](#)<sup>1</sup>) Alarmy majú charakter logického signálu a preto sa môžu použiť aj pre zásah do riadeného procesu (nespojité regulácia).
- **Riadenie DSC (Digital Setpoint Control)**  
riadiaci počítač (RP) generuje riadiaci signál  $w$  pre podriadený regulačný systém. Tým môže byť aj klasický regulátor s krokovým motorom pre ovládanie potenciometra žiadanej hodnoty. Pri výpadku RP pracuje regulátor autonómne s poslednou hodnotou  $w$ .
- **Priame číslicové riadenie DDC (Direct Digital Control)**  
namerané stavové veličiny sú priamo použité pre výpočet akčných veličín.

---

<sup>1</sup> SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition system, HMI - Human Machine Interfaces

- **Monitorovanie technologického procesu**  
sledovanie pamäťovej oblasti riadiaceho systému a prostredníctvom textových alebo grafických rozhraní poskytujú v zrozumiteľnej podobe informácie obsluhu. Vyššia forma monitorovanie sú tzv. SCADA/HMI softvérové produkty – obvyklé na PC.
- **Optimalizačné výpočty**  
namerané hodnoty sú použité pre statickú a dynamickú optimalizáciu procesu.
- **Materiálové a energetické výpočty**  
bilančné výpočty spotreby materiálov, energií (riadenie spotreby).
- **Archivácia údajov**  
v pamäti sa uchovávajú informácie charakterizujúce riadený proces (priebehy veličín, zásahy obsluhy, ...), ktoré môžu byť neskôr využité napr. pre analyzovanie poruchy.

Na obrázku 30 je príklad zapojenia kombinovaného regulačného obvodu s číslicovým riadiacim systémom a analógovými regulátormi.



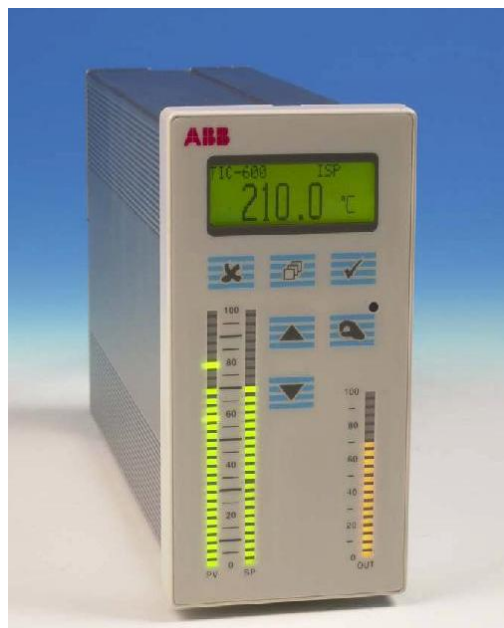
Obr. 30 Principiálna schéma ASR TP

ASR TP	automatizovaný systém riadenia technologického procesu
CJ	centrálna jednotka
VS	vstupná strana jednotky styku s prostredím
VYS	výstupná strana jednotky styku s prostredím
$y_1$ až $y_n$	stavové (regulované) veličiny
$S_1$ až $S_n$	snímače stavových veličín
SI	signalizácia
ŠPZ	štandardné periférne zariadenia
SW-DSC	signály pre nastavenie žiadaných hodnôt – typ riadenia DSC
KM	krokový motorček
AR	analogový (spojitý) regulátor

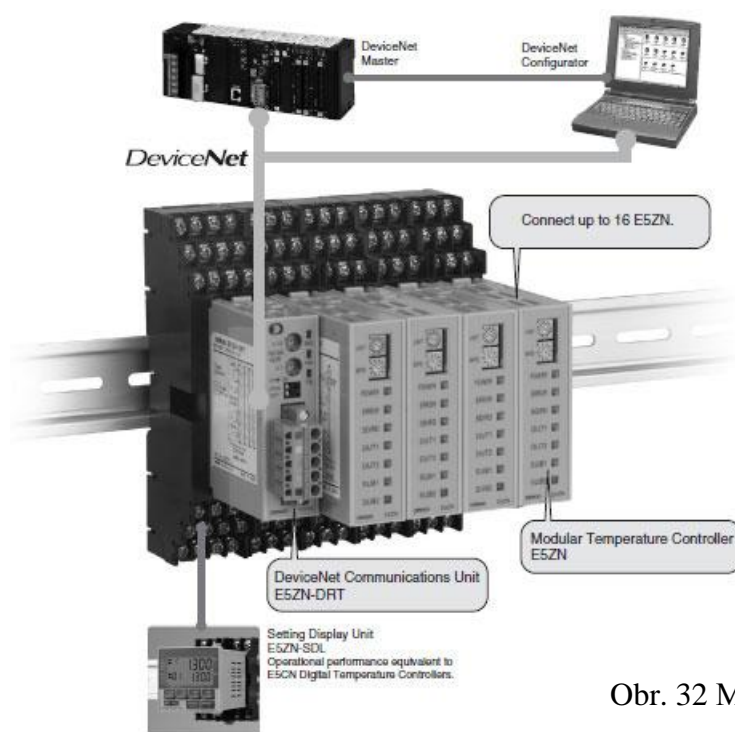
ASČ	akčné signály číslicových regulátorov
DDC	typ riadenia DDC
AČ	akčné členy číslicových regulátorov
ASA	akčné signály analógových regulátorov
PO	panel operátora
VP	vonkajšia pamäť
RP-ČR	riadiaci počítač – číslicový regulátor

Z hľadiska konštrukčného vyhotovenia číslicových regulátorov môžeme rozlíšiť dva základné varianty.

- **Kompaktný regulátor** Obr. 31 je kompletný prístroj, ktorý v jednom puzdre obsahuje všetky spomenuté súčasti. Možnosti zmeny konfigurácie takéhoto prístroje je obmedzená.
- **Modulárne koncipované prístroje** Obr. 32 predstavujú druhý variant. Počet a vyhotovenie vstupov a výstupov potom závisí na tom, aké V/V moduly sú použité. Je ich teda možné v širokom rozsahu meniť. Ďalším významným kritériom, podľa ktorého môžeme regulátory deliť je možnosť používateľa ovplyvniť chovanie regulátora v programovej rovine. Vo väčšine prípadov sú tieto možnosti obmedzené na nastavenie konštánt regulátora, voľbu medzi niekoľkými typmi regulačných algoritmov (PID, dvojpolohový a pod.), voľbu regulačnej štruktúry (kaskádové pomerová) a pod. Sú ale aj regulátory, ktoré umožňujú používateľovi omnoho väčšiu flexibilitu až do úrovne zostavenia vlastného algoritmu riadenia (cena).



Obr. 31 Kompaktný regulátor



Obr. 32 Modulárna koncepcia