

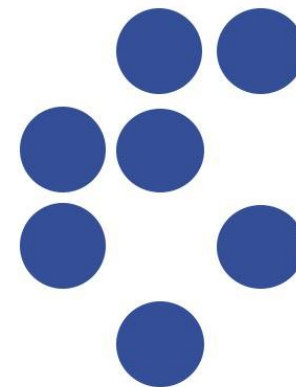
Digitalni dvojčki kot podpora v procesni industriji



Institut Jožef Stefan

Odsek za sisteme in vodenje

Dr. Gregor Dolanc



03. 02. 2022

Kaj je digitalni dvojček za procesno industrijo?

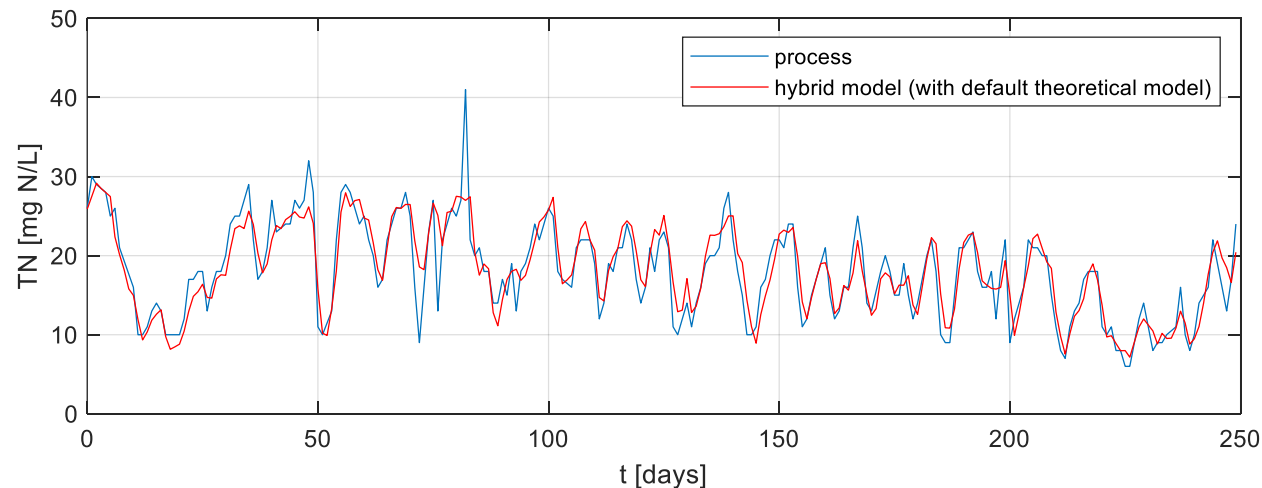
- Obstaja več različnih interpretacij oz. pomenov
- dinamični model proces / simulator procesa

Vhodi →	Notranje stanje	→ Izhodi
Vhodni masni tokovi Vhodni energijski tokovi Vhodni finančni tokovi	Količine energija, temperatura, koncentracija, ipd.	Izhodni masni tokovi Izhodni energijski tokovi Izhodni finančni tokovi

- možno ga je simulirati na računalniku
- računalniški program
- vsebuje matematične strukture, ki numerično oponašajo delovanje realnega procesa

Kaj je glavna lastnost digitalnega dvojčka ?

- simulira (oponaša) dejanski proces na numerični način
- če so **simulirani vhodi v model** enaki **dejanskim vhodom v proces**, potem:
 - veličine notranjih stanj in izhodnih signalov **modela** in **procesa** imajo podobne časovne profile



Kako ga pridobimo / izdelamo?

Fizikalno modeliranje

- prvi principi – fizikalni zakoni
- sistem diferencialnih in algebrajskih enačb, ki opisujejo fizikalne zakone znotraj procesa
- pogosto problematično

Podatkovno modeliranje

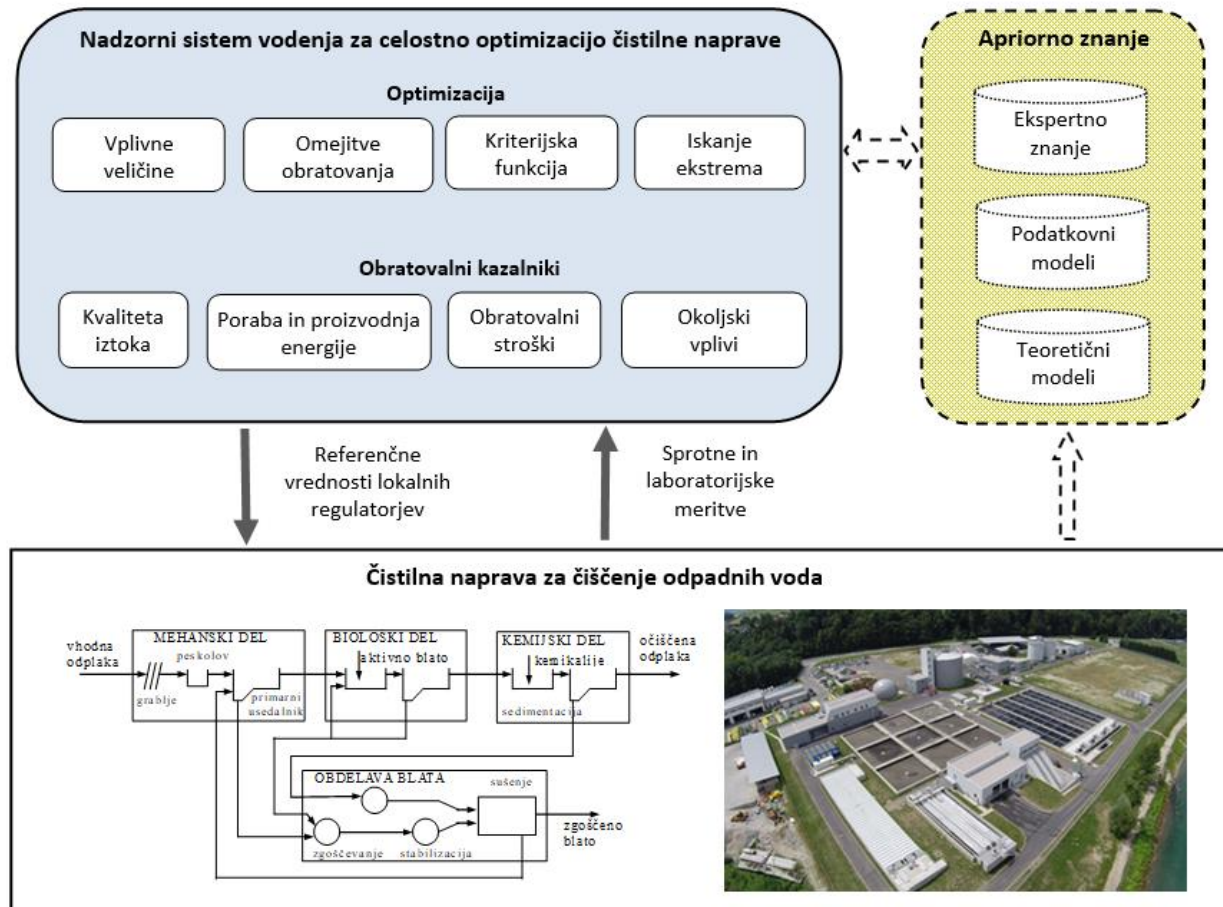
- izhodišče so podatki o potekih vhodnih in izhodnih veličin
- s pomočjo strojnega učenja oziroma identifikacije določimo dinamično relacijo med vhodi in izhodi

Čemu digitalni dvojček sploh služi ?

- Razumevanje procesa in simuliranje različnih scenarijev (offline)
- Dimenzioniranje procesa (offline)
- Načrtovanje vodenja procesa (offline)
- Optimizacija, vodenje procesa (online)
- Vgrajeni s sisteme vodenja, npr. prediktivno vodenje (online)
- Diagnostika procesa (online)
- Soft senzorji (online)
- Napovedovanje časovnih potekov različnih veličin, kot so procesne veličine, kvaliteta, poraba energije ... (online)
- Terminiranje in planiranje proizvodnje, izkoriščenost opreme (online ali offline)

Primer: Čistilne naprave

- Digitalni dvojčki so eden osrednjih konceptov digitalizacije čistilnih naprav
- Cilj je **podpora operaterjem pri boljšem vodenju in vzdrževanju** kot odziv na
 - **povečano tehnično kompleksnost** čistilnih naprav zaradi številnih in medsebojno odvisnih procesov
 - **strožje in nove zahteve obratovanja** v luči klimatskih sprememb in krožnega gospodarstva (visoka kvaliteta čiščenja, optimizacija porabe in proizvodnja energije, pridobivanje surovin, zmanjševanje ogljičnega odtisa...)



Ključni elementi koncepta:

- Podatkovna platforma
- Sprotno računanje obratovalnih kazalnikov
- Modeli, podatkovna analitika in ekspertno znanje
- Predikcija obratovanja
- Optimizacija procesnih parametrov

Primer: Čistilne naprave

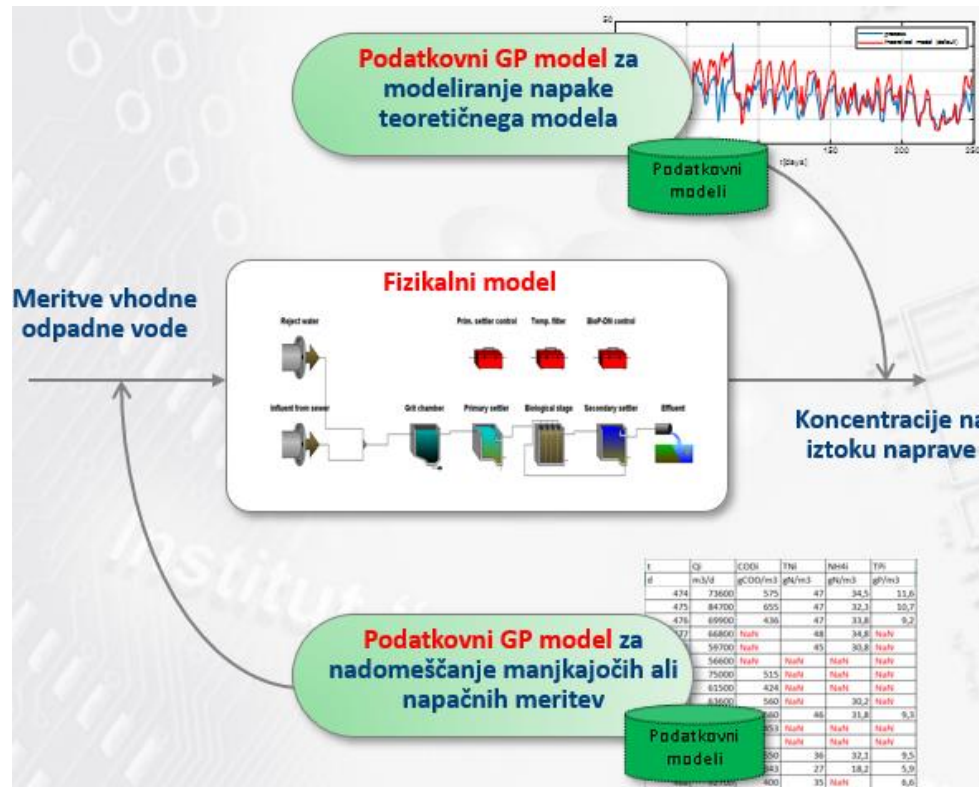
Modeli prvih principov imajo dolgo zgodovino, so zelo uveljavljeni in se stalno dopolnjujejo:

- Osnova je dinamično modeliranje fizikalno-kemijskih procesov biološke razgradnje snovi v odpadni vodi
- Modeli napovedujejo koncentracije očiščene odpadne vode iz vhodnih koncentracij
- Uporabni so za razumevanje procesov, dimenzioniranje naprav, primerjalno analizo scenarijev obratovanja

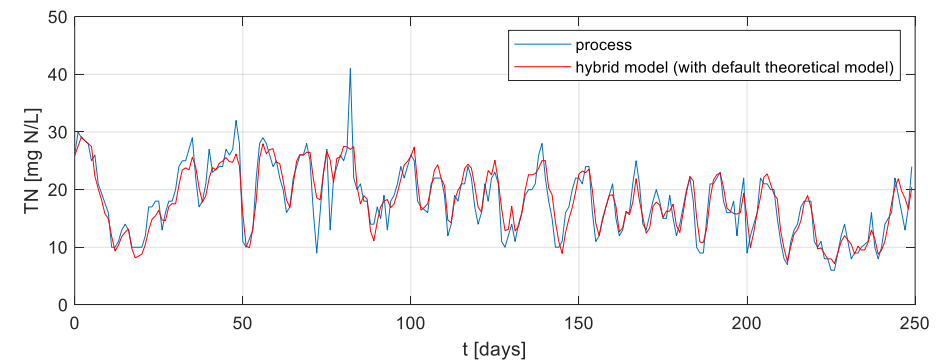
Modeli prvih principov kažejo **pomanjkljivosti pri sprotni optimizaciji** procesa:

- Prilagoditev modela realnim podatkom je zahtevna in dolgotrajna, potrebno je ekspertno znanje
- Model ni dovolj dober za točno napoved procesnih in izhodnih spremenljivk
- Model je potrebno sproti prilagajati

Koncept digitalnih dvojčkov temelji na dodatni **podpori podatkovnih modelov** in podatkovne analitike za predikcijo.

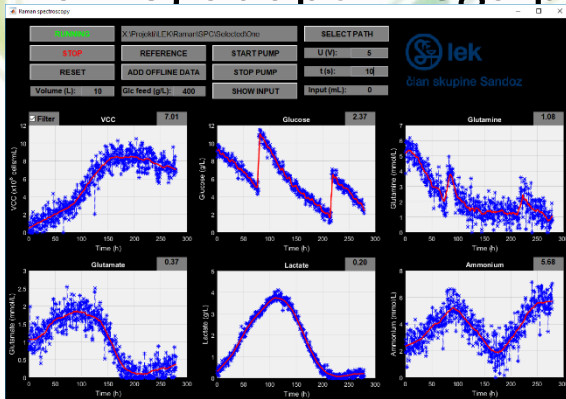


Napoved celotnega dušika na iztoku čistilne naprave s hibridnim modelom

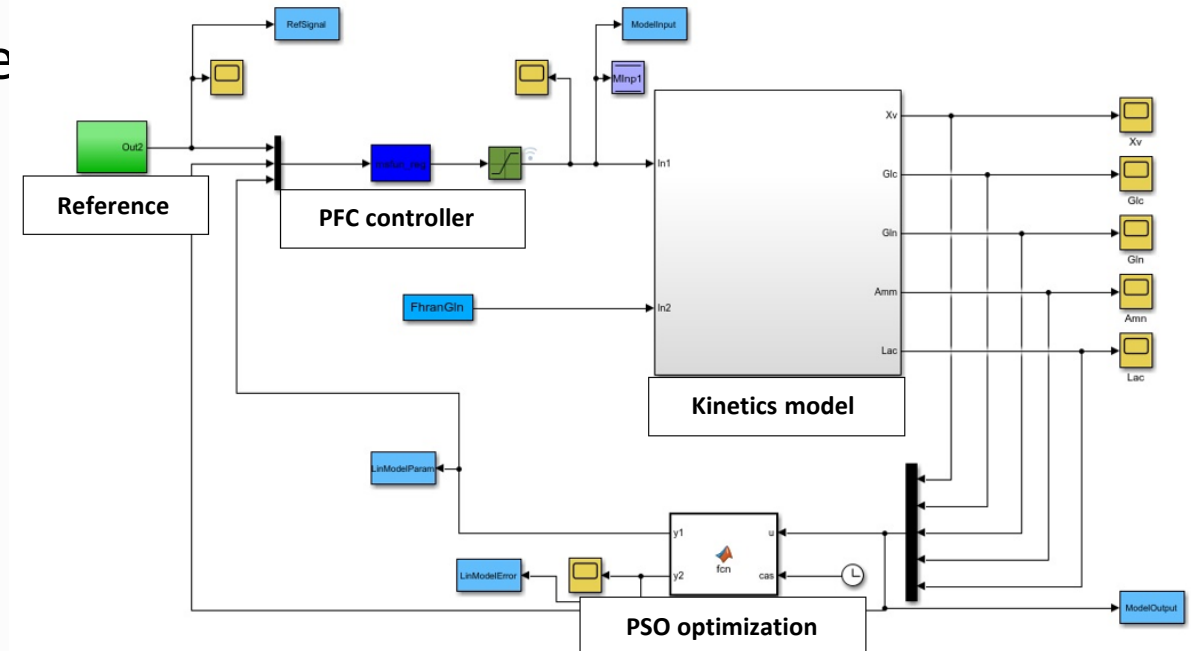
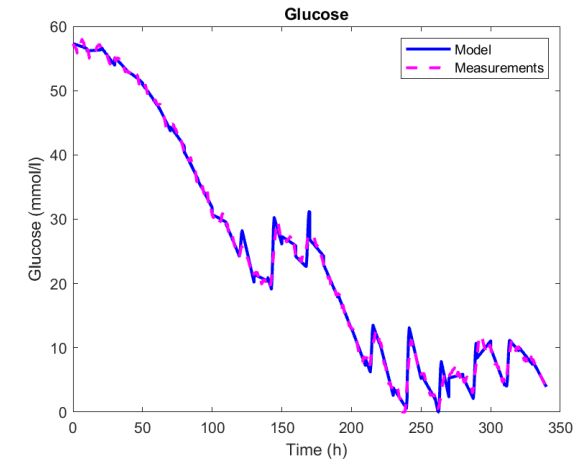
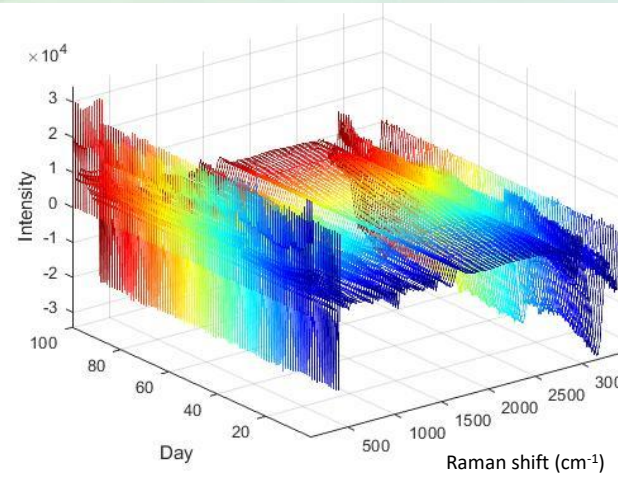


Hibridni model - kombinacija modela prvih principov in podatkovnih (machine learning) modelov na osnovi Gaussovih procesov (GP)

- Raman spektroskopija (data mining)
- Razvoj simulatorja (dinamika rasti)
- Kinetični model (PSO optimizacija)
- Razvoj adaptivnega prediktivnega vodenja

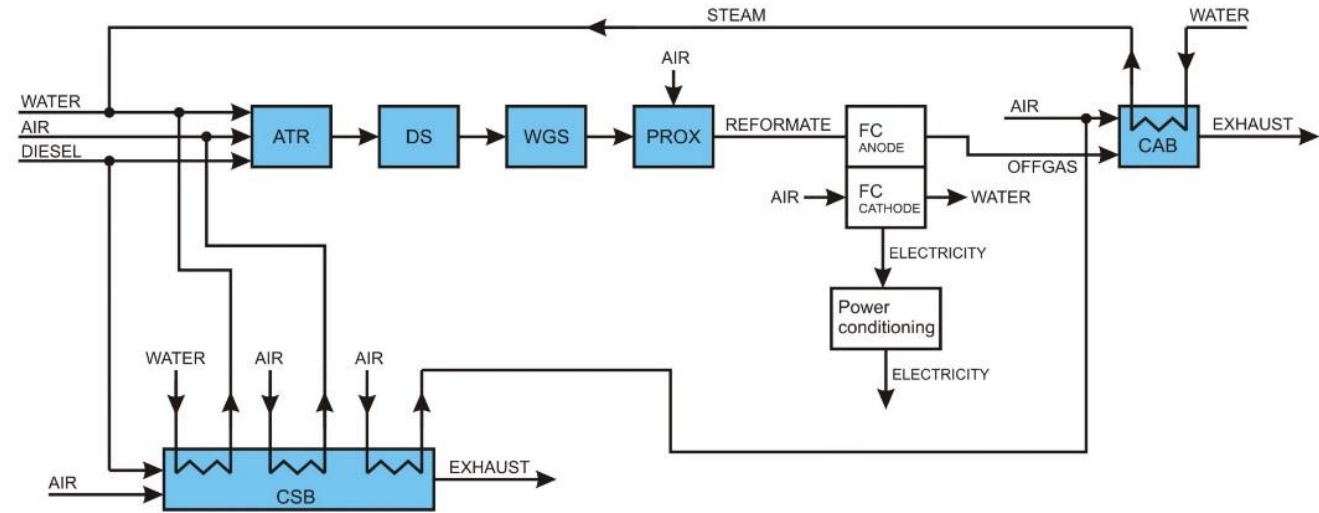
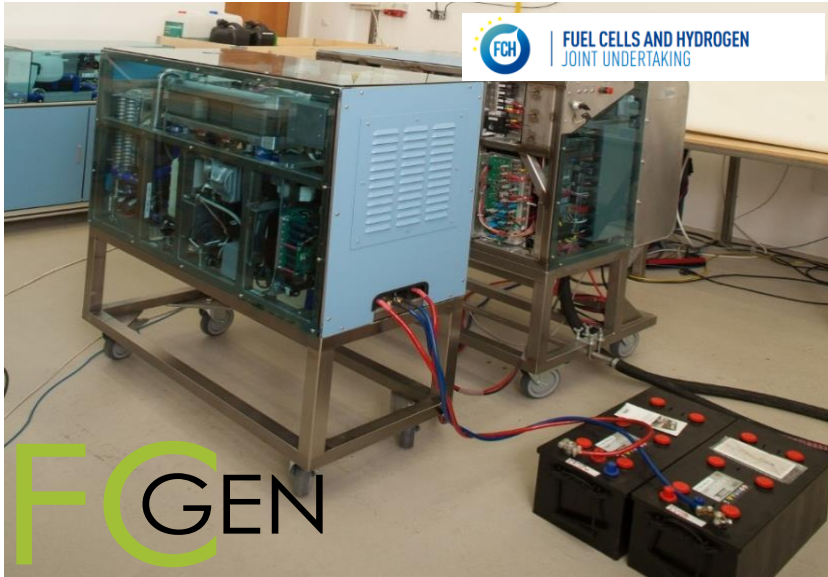


- Razvoj uporabniškega vmesnika za spremljanje in vodenja procesa



Primer: Vodikove tehnologije

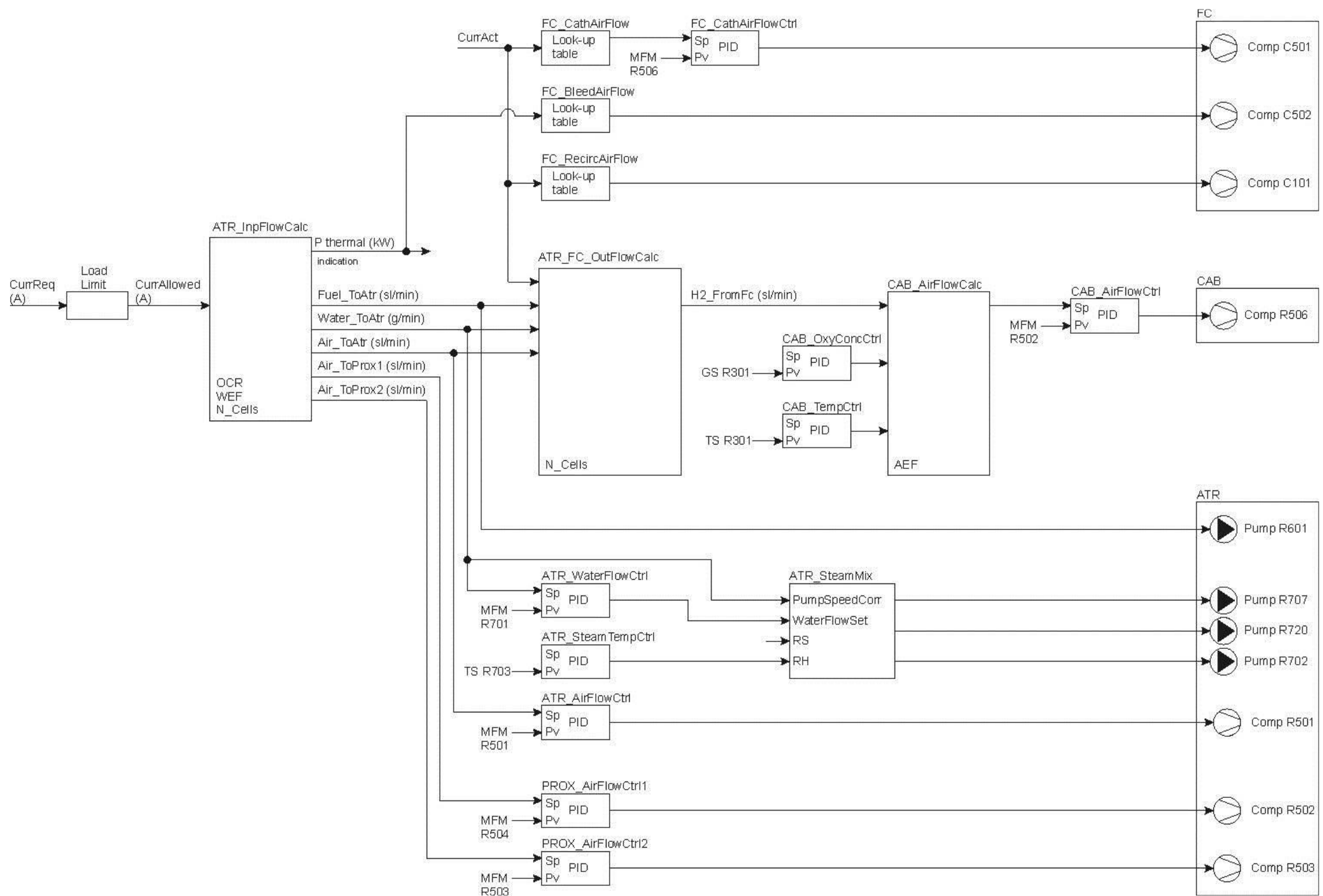
(Reformer goriva + gorivna celica)



Vodenje - slednje bremenu: sprotni izračun časovnega poteka vhodnih pretokov (gorivo C_xH_y , zrak, voda) za želen časovni potek električne moči

Soft senzor: ocena nemerljivih veličin (pretoki in koncentracije vmesnih in končnih produktov H_2 , CO_2 , CO , N_2 , H_2O , CH_4 ...)

Diagnostika



Hvala za pozornost!