

Gaussiska processer för flotationsmodellering

Johan Lindqvist, Khalid Atta, Andreas Johansson
Reglerteknik, LTU



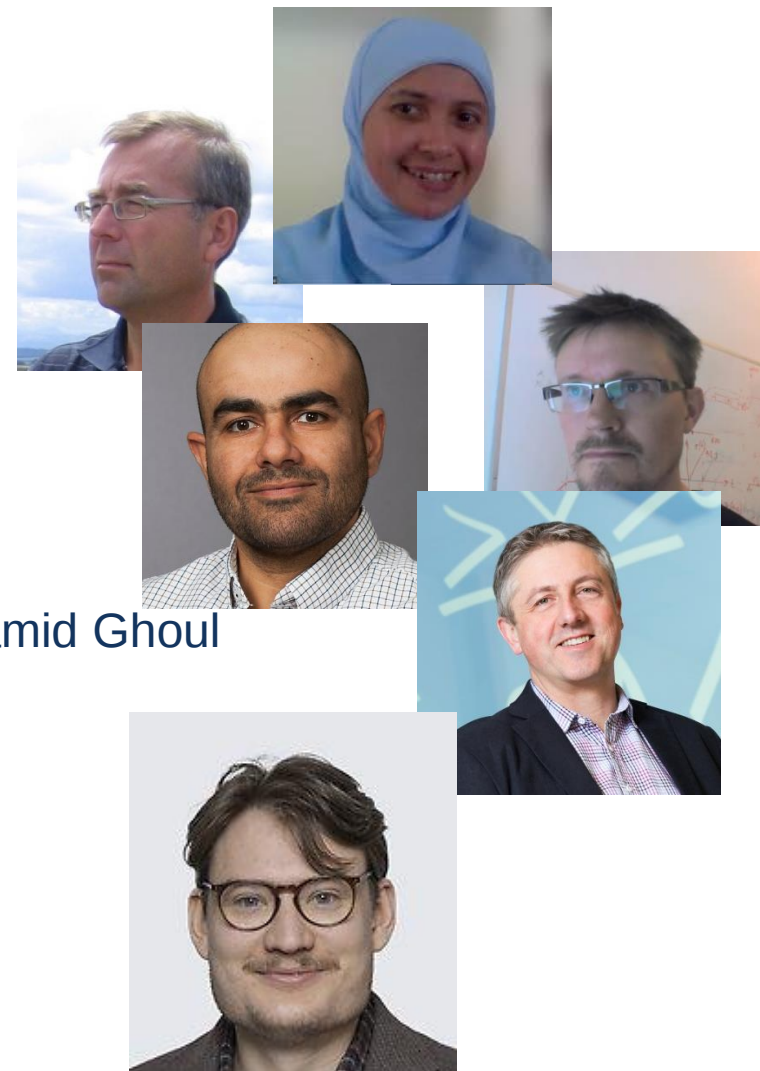
Reglerteknik, LTU

Ämnesföreläsare:	Dina Shona Laila
Senior professor:	Thomas Gustafsson
Professorer:	Andreas Johansson, Wolfgang Birk
Biträdande professor:	Khalid Atta
Postdoc:	Arman Sehatnia, Muhammad Sattar, Abdelhamid Ghoul
Doktorander:	Johan Lindqvist, Osama Sadki

- Ca 80 studenter/år i avancerade kurser på civ.ing-program
- Ca 200 studenter/år i grundkurser på civ.ing- och h.ing-program
- Kurser för industrifolk och på yrkeshögskolor

▪ Den dolda tekniken

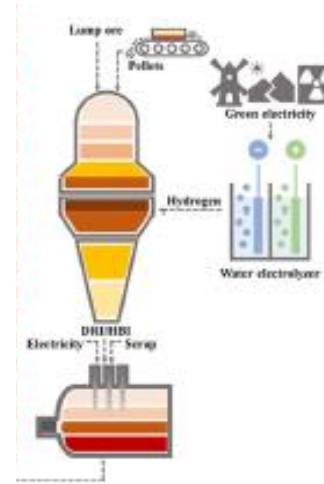
- Inget buzzword
- Finns överallt och ingenstans
- Reglertekniker kan allt och ingenting



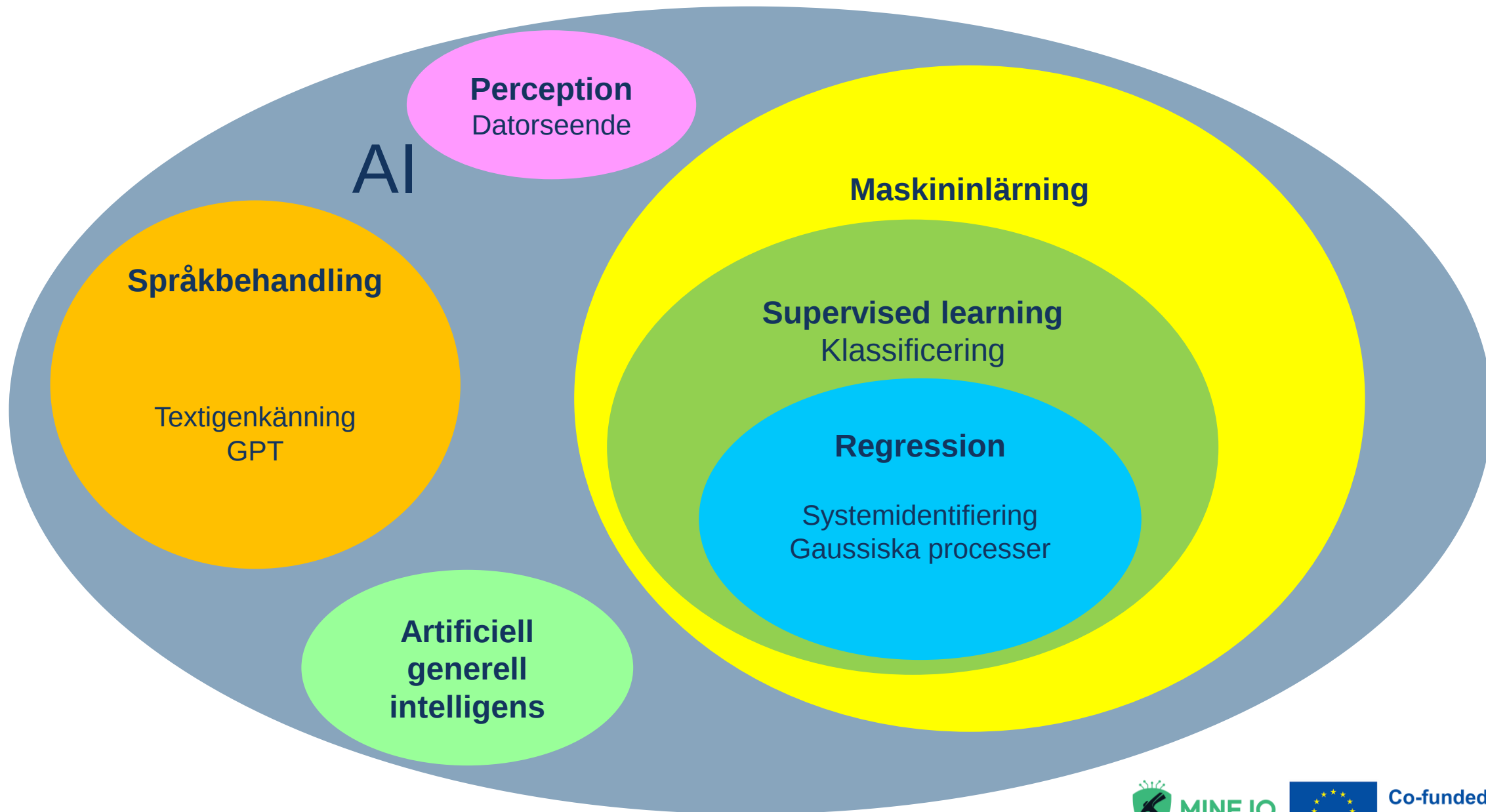
Co-funded by
the European Union

Forskning

- Modellering av fysiska system
 - Inklusive dynamik, störningar och osäkerheter
 - Kombination av fysikaliska och datadrivna modeller
- Modellbaserad design, övervakning och styrning
- Gärna komplexa system
 - Topologiskt komplexa system: Fjärrvärmenät, processindustrier, datacenter
 - Olinjära system: Biologiska och kemiska processer, vattenkraftsturbiner, växthus
 - Distribuerade parametersystem: Malmkross, massakokare, direktreduktionsugn
- Pågående projekt kring
 - Algodling, svartvattenbehandling, odling med spillvärme
 - Flotation, fossilfri järnframställning

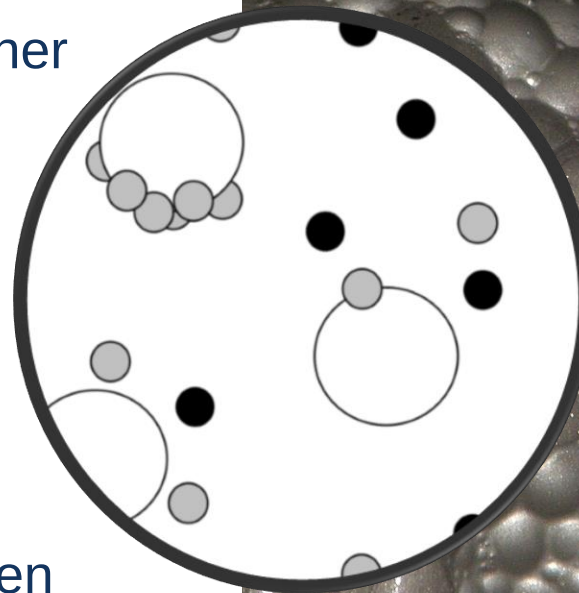


Co-funded by
the European Union



Flotation

- Mineralseparation
- Separerar tex. sulfid- och karbonatmalmer från gråberg. Bla. för kopparframställning
- Fungerar genom att skilja hydrofober från hydrofiler i vatten med hjälp av luftbubblor
- Olinjär process med komplexa interaktioner mellan variabler
- Brist på bra mätmetoder
 - XRF, nivåmätning, kamera
- Existerande modeller, bla:
 - Oosthuizen et al
 - Quintinela et al
- Modellerna är trovärdiga men inte så användbara, pga okända parametervärden och brist på mätningar

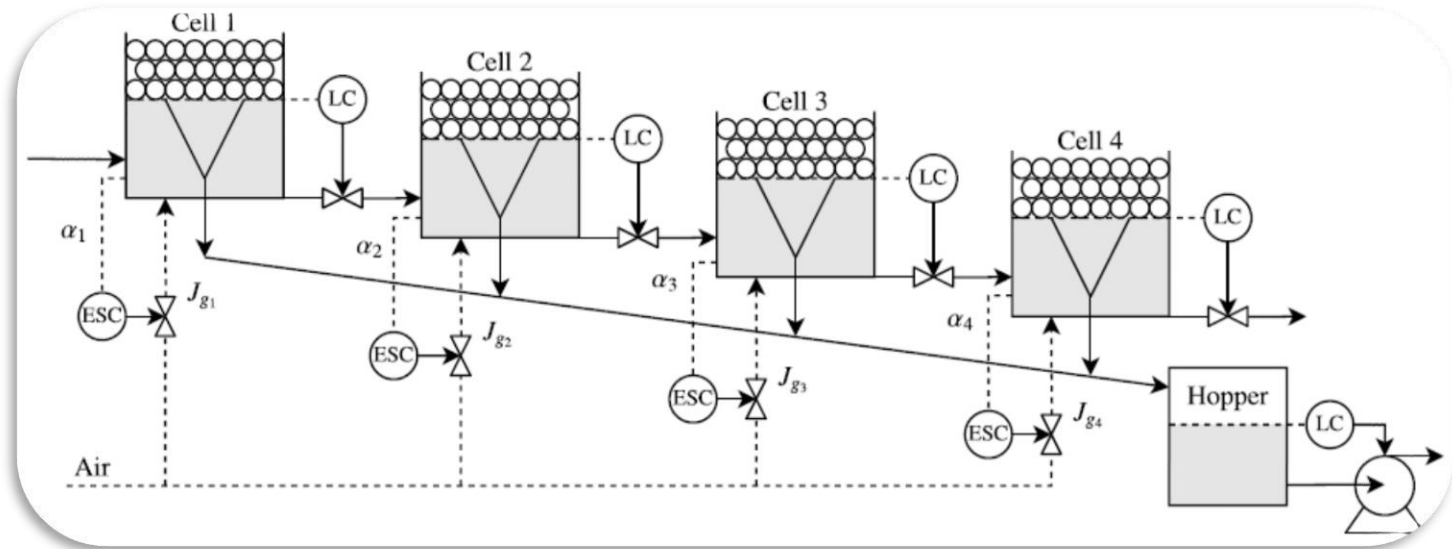


Flotationskrets

- Massor:
 - Gråberg (M_g)
 - Värdefullt mineral (M_d)
- Styrvariabler:
 - Luftningshastighet (J_g)
 - Ventilöppning (v)
- Skumkaraktäristik:
 - Skumhöjd (h_f)
 - Bubbelstorlek (B)
 - Luftåtervinning (α)

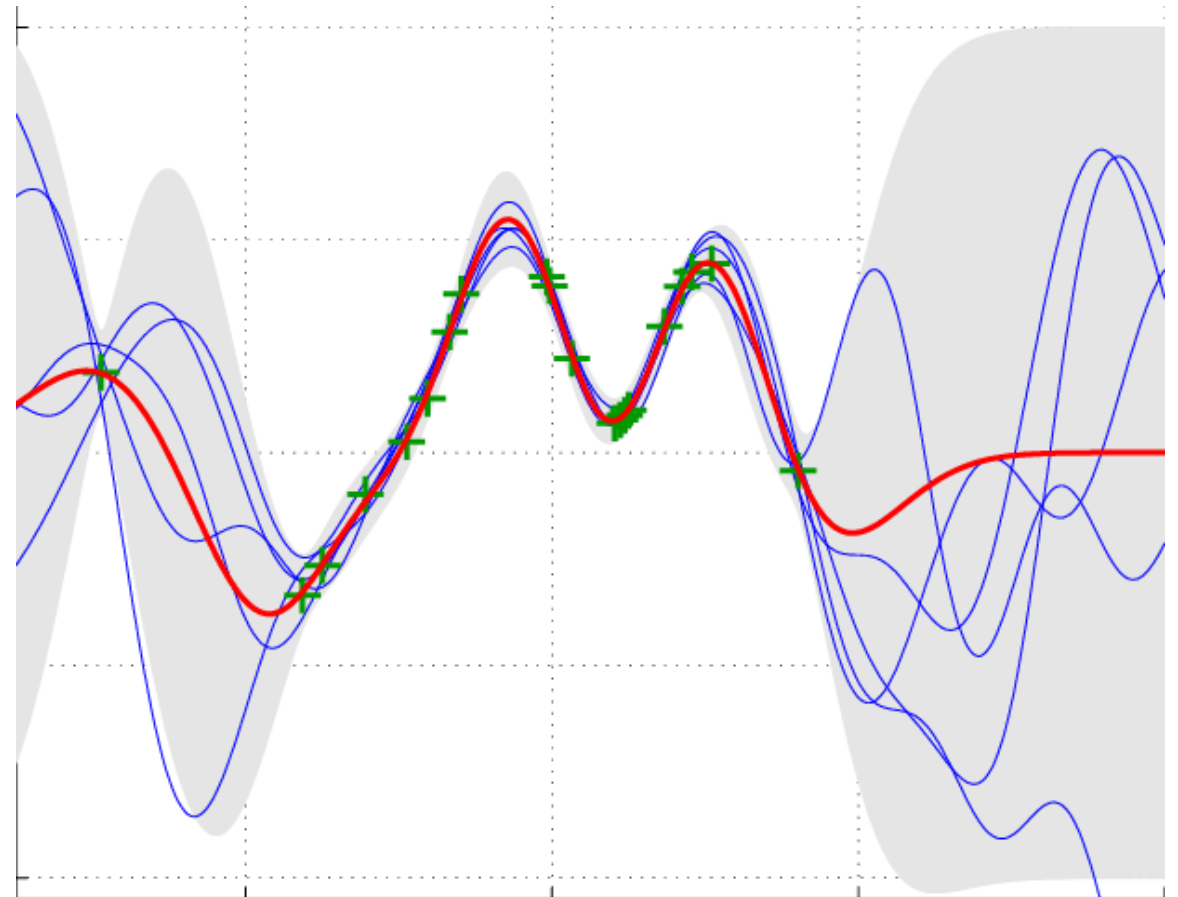
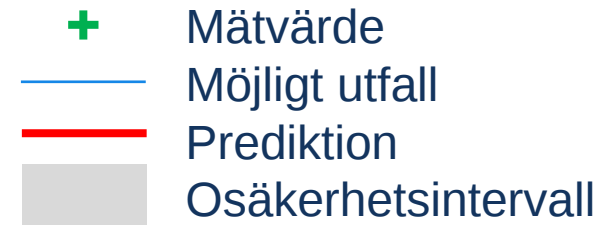
Mål

- Ta fram en modell för sambandet mellan styrvariabler och skumkaraktäristik baserad på Gaussiska processer
- Använda modellen för modellprediktiv reglering för att maximera luftåtervinningen



Gaussiska processer (GP)

- En **Gaussisk Process (GP)** är en samling slumpvariabler som har en inbördes Gaussfördelning
- En GP har en sannolikhetsfördelning i varje punkt som utsignal, dvs inte bara ett värde
- En Gaussisk process kan definieras genom sitt medelvärde $m(z)$ och sin kovarians $k(z, z')$
$$f(z) \sim \mathcal{GP}(m(z), k(z, z'))$$
- **Träning:** Hitta de parametervärden som maximerar likelihood för mätvärdena
- **Prediktion:** Beräkna väntevärdet för en framtida tidpunkt givet mätvärden fram till nu



Flotationsmodell baserad på GP

- En GP för varje variabel i skumkaraktäristiken, α, B, L
- Interaktionen mellan variablerna modelleras av kovariansfunktionerna k_α, k_B, k_L

$$f_\alpha(z_t) \sim \mathcal{GP}(0, k_\alpha(z_t))$$

$$f_L(z_t) \sim \mathcal{GP}(0, k_L(z_t))$$

$$f_B(z_t) \sim \mathcal{GP}(0, k_B(z_t))$$

$$x_t = \begin{bmatrix} \alpha_t \\ B_t \\ L_t \end{bmatrix}, u_t = \begin{bmatrix} J_{gt} \\ v_t \end{bmatrix}, z = \begin{bmatrix} x_t \\ u_t \end{bmatrix}$$

$$k_\alpha(z, z') = \sigma_1^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_1^2} + \frac{(\alpha - \alpha')^2}{2l_2^2}\right)\right) + \sigma_2^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_3^2} + \frac{(L - L')^2}{2l_4^2}\right)\right) + \sigma_3^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_5^2}\right)\right) + \sigma_4^2 \exp\left(-\left(\frac{(\alpha - \alpha')^2}{2l_6^2}\right)\right) + \sigma_5^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_7^2} + \frac{(L - L')^2}{2l_8^2} + \frac{(\alpha - \alpha')^2}{2l_9^2}\right)\right)$$

$$k_B(z, z') = \sigma_1^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_1^2} + \frac{(B - B')^2}{2l_2^2} + \frac{(\alpha - \alpha')^2}{2l_3^2}\right)\right) + \sigma_2^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_4^2} + \frac{(B - B')^2}{2l_5^2} + \frac{(L - L')^2}{2l_6^2}\right)\right) + \sigma_3^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_7^2} + \frac{(L - L')^2}{2l_8^2}\right)\right)$$

$$k_L(z, z') = \sigma_1^2 \exp\left(-\left(\frac{(J_g - J'_g)^2}{2l_1^2} + \frac{(B - B')^2}{2l_2^2} + \frac{(\alpha - \alpha')^2}{2l_3^2}\right)\right) + \sigma_2^2 \exp\left(-\left(\frac{(L - L')^2}{2l_4^2} + \frac{(v_1 - v'_1)^2}{2l_5^2}\right)\right)$$

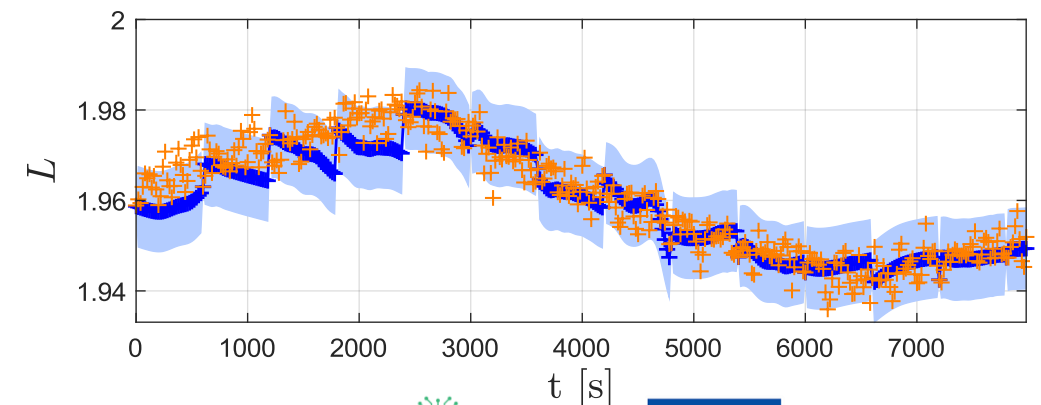
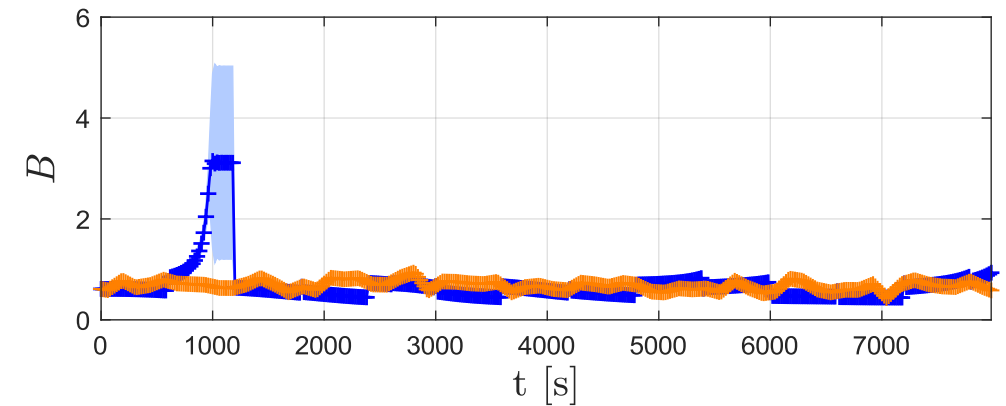
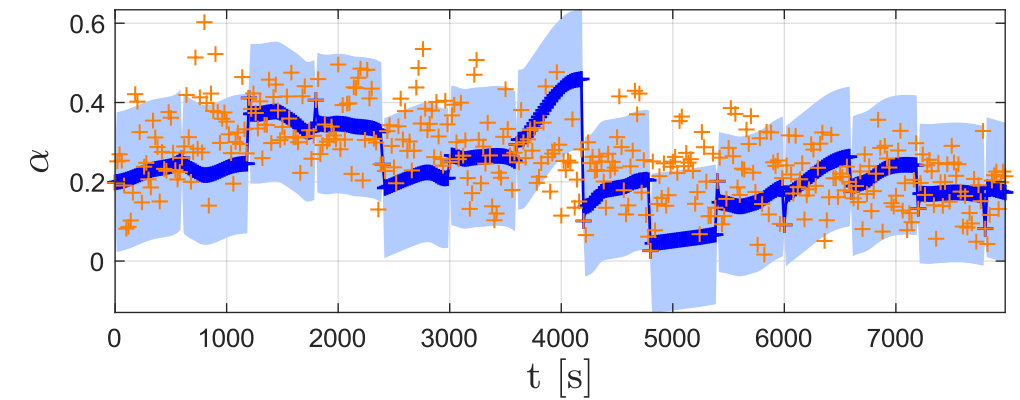
- Valet av kovariansfunktioner baseras på tidigare modeller i litteraturen
 - Fysikinformerad maskininlärning



Co-funded by
the European Union

Resultat

- Valideringsdata insamlad från en flotationsanläggning
 - Olika samplingsintervall
 - Mycket mätbrus
 - Otillräcklig excitering
- Ny prediktion startas var 10:e minut
- Pågående arbete!



Kontakt

andreas.johansson@ltu.se



Co-funded by
the European Union

