



**Intelligence For
Smart Industries**

Om Calejo Industrial Intelligence AB

Optimerar industriprocesser med hjälp av AI.

Patentsökt teknologi.

Grundades 2010.

Johannes
Holmberg



Leonard
Johard



Carl
Johard



calejo

Framgångsrika projekt inom olika områden



- Papper och massa.



- Gruvindustri.



- Smarta städer, avloppsoptimering.

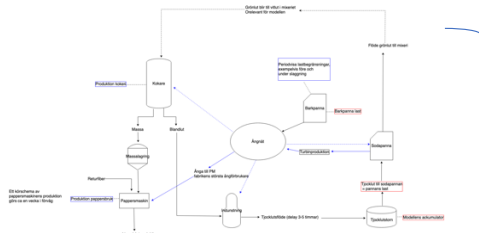


- Energi.

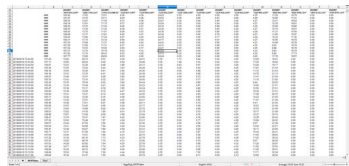


calejo

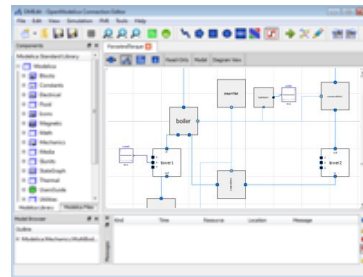
Calejo Optimize



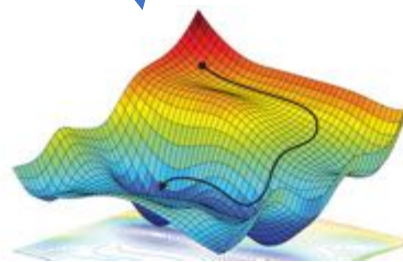
Process information



Data



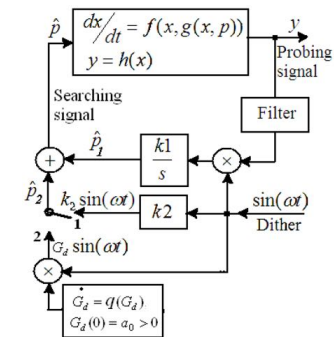
Digital twilling



Optimizing



Simulering



Autonom processkontroll

calejo

Optimering i realtid kräver en bra modell



calejo

Vad är en modell?

Maskininlärning.

“En teknik där modeller av verkligheten tas fram och tränas på insamlad data.”



–Om Anders slaskar ska julen braska“

“Är januari varm, blir skörden arm“

–Ligger grodrommen om våren i djupt vatten, följer en torr och varm sommar, men ligger den vid stranden eller annars på grunt vatten, är en våt sommar att förvänta.“

Mönster i datan

Modellen skapas för att beskriva samband mellan olika händelser i processen.

Sensor 1
Sensor 2
Sensor 3
Sensor 4
Sensor 5
Sensor 6
Sensor 7
Styrsignal 1
Styrsignal 2
Styrsignal 3
Styrsignal 4



Olika metoder för att skapa modeller

Fysikalisk modellering

Databaserad modellering



Ett vardagsexempel



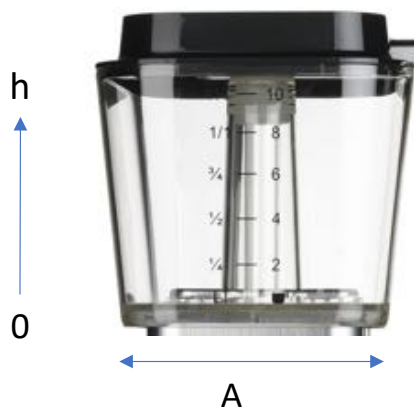
Verklig process öen kaffebryggare



Modell av kaffebryggare

Fysikalisk modellering

– traditionell metod men svårt att använda för komplexa processer



$$V = h \times A$$



$$\begin{aligned} \phi_h \frac{\partial c_h^*}{\partial t^*} = & \frac{k_{sv1}^2 \phi_h^3}{36\kappa\mu(1-\phi_h)^2} \nabla^* \cdot (c_h^* (\nabla^* p_h^* + \rho g)) + \phi_h^{\frac{1}{2}} D_h \nabla^{*2} c_h^* \\ & + \phi_h \tilde{D}^b \cdot \nabla^{*2} c_h^* - (1-\phi_h) \phi_v^{\frac{1}{2}} D_v \frac{6}{k_{sv2} l_l} (c_h^* - c_v^*) \\ & + (1-\phi_h) \frac{12D_h \phi_{cd}}{k_{sv1} m} (c_{sat} - c_h^*) \psi_s^*, \end{aligned}$$

$$\nabla^{*2} p_h^* = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t^*} (\phi_v^* c_v^*) = \phi_v^{\frac{1}{2}} D_v \frac{6}{k_{sv2} l_l} (c_h^* - c_v^*) + \frac{12\phi_{cd} D_v}{m^2} (c_{sat} - c_v^*) \psi_v^*,$$

$$\frac{\partial \phi_v^*}{\partial t^*} = -\frac{1}{r_s} \frac{\partial \psi_s^*}{\partial t^*} - \frac{1}{r_v} \frac{\partial \psi_v^*}{\partial t^*},$$

$$\frac{\partial \psi_s^*}{\partial t^*} = -\frac{12D_h \phi_{cd}}{k_{sv1} m} \left(\frac{c_{sat} - c_h^*}{c_s} \right) r_s \psi_s^*,$$

$$\frac{\partial \psi_v^*}{\partial t^*} = -\frac{12D_v \phi_{cd}}{m^2} \left(\frac{c_{sat} - c_v^*}{c_s} \right) r_v \psi_v^*.$$

- **data förklarar komplexa samband men sambanden måste finnas i datan**

Indata

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO	HP	HQ	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	II	IJ	IK	IL	IM	IN	IO	IP	IQ	IR	IS	IT	IU	IV	IW	IX	IY	IZ	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	IJ	JK	KL	KM	KN	JO	JP	JQ	JR	JS	JT	JU	JV	JW	JX	JY	JZ	KA	KB	KC	KD	KE	KF	KG	KH	KI	KJ	KK	KL	KM	KN	KO	KP	KQ	KR	KS	KT	KU	KV	KW	KX	KY	KZ	LA	LB	LC	LD	LE	LF	LG	LH	LI	LJ	LK	LL	LM	LN	LO	LP	LQ	LR	LS	LT	LU	LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP	NQ	NR	NS	NT	NU	NV	NW	NX	NY	NZ	OA	OB	OC	OD	OE	OF	OG	OH	OI	OJ	OK	OL	OM	ON	OO	OP	OQ	OR	OS	OT	OU	OV	OW	OX	OY	OZ	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PI	PJ	PK	PL	PM	PN	PO	PP	PQ	PR	PS	PT	PU	PV	PW	PX	PY	PZ	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM	QN	QO	QP	QQ	QR	QS	QT	QU	QV	QW	QX	QY	QZ	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	RI	RJ	RK	RL	RM	RN	RO	RP	RQ	RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SJ	SK	SL	SM	SN	SO	SP	SQ	SR	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TG	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN	TO	TP	TQ	TR	TS	TT	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	UA	UB	UC	UD	UE	UF	UG	UH	UI	UJ	UK	UL	UM	UN	UO	UP	UQ	UR	US	UT	UU	UV	UW	UX	UY	UZ	VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	VH	VI	VJ	VK	VL	VM	VN	VO	VP	VQ	VR	VS	VT	VU	VV	VW	VX	VY	VZ	WA	WB	WC	WD	WE	WF	WG	WH	WI	WJ	WK	WL	WM	WN	WO	WP	WQ	WR	WS	WT	WU	WV	WW	WX	WY	WZ	XA	XB	XC	XD	XE	XF	YG	YH	YI	YJ	YK	YL	YM	YN	YO	YP	YQ	YR	YS	YT	YU	YV	YW	YX	YZ	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	ZF	ZG	ZH	ZI	ZJ	ZK	ZL	ZM	ZN	ZO	ZP	ZQ	ZR	ZS	ZT	ZU	ZV	ZW	ZX	ZY	ZZ
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

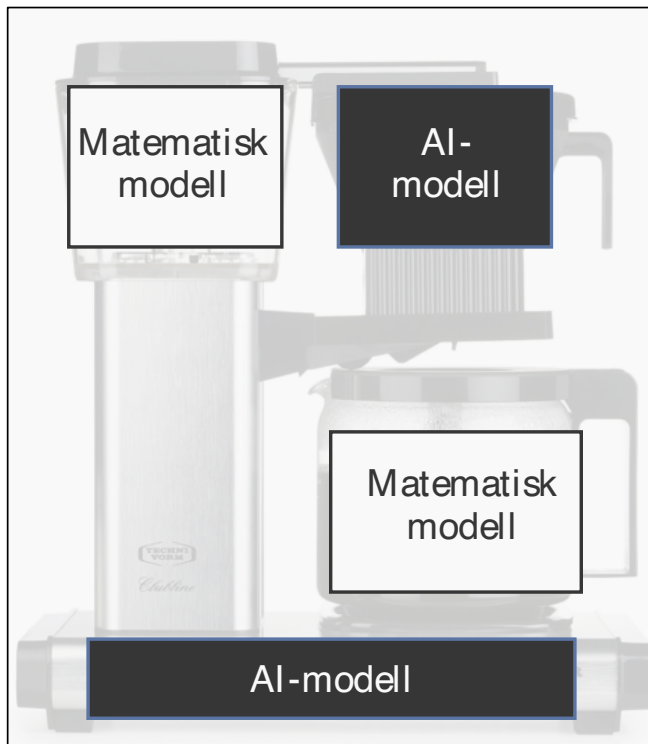


Utdata

[illegible]

Gråboxmodellering

– gör det möjligt att beskriva verkligheten



$$\text{Matematisk modell} + \text{AI-modell} = \text{Gråbox-modell}$$

Digital tvilling

En digital tvilling är en modell som kan köras parallellt med den verkliga processen genom att sensordata kopplas in till modellen.



Sensor 1

Sensor 2

Sensor 3

Sensor 4

Sensor 5

Sensor 6

Sensor 7

Styrsignal 1

Styrsignal 2

Styrsignal 3

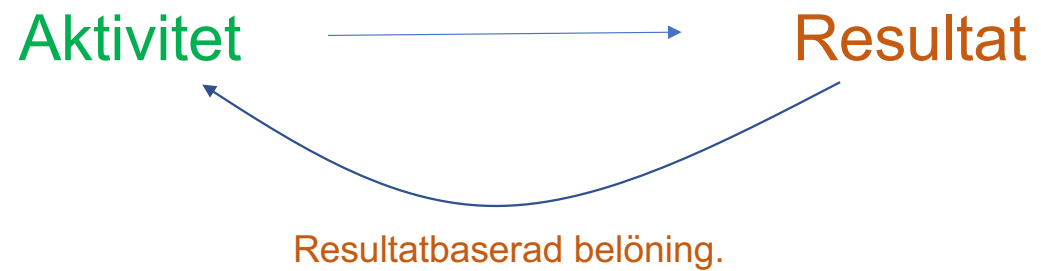
Styrsignal 4



Optimering med hjälp av en Digital Tvilling

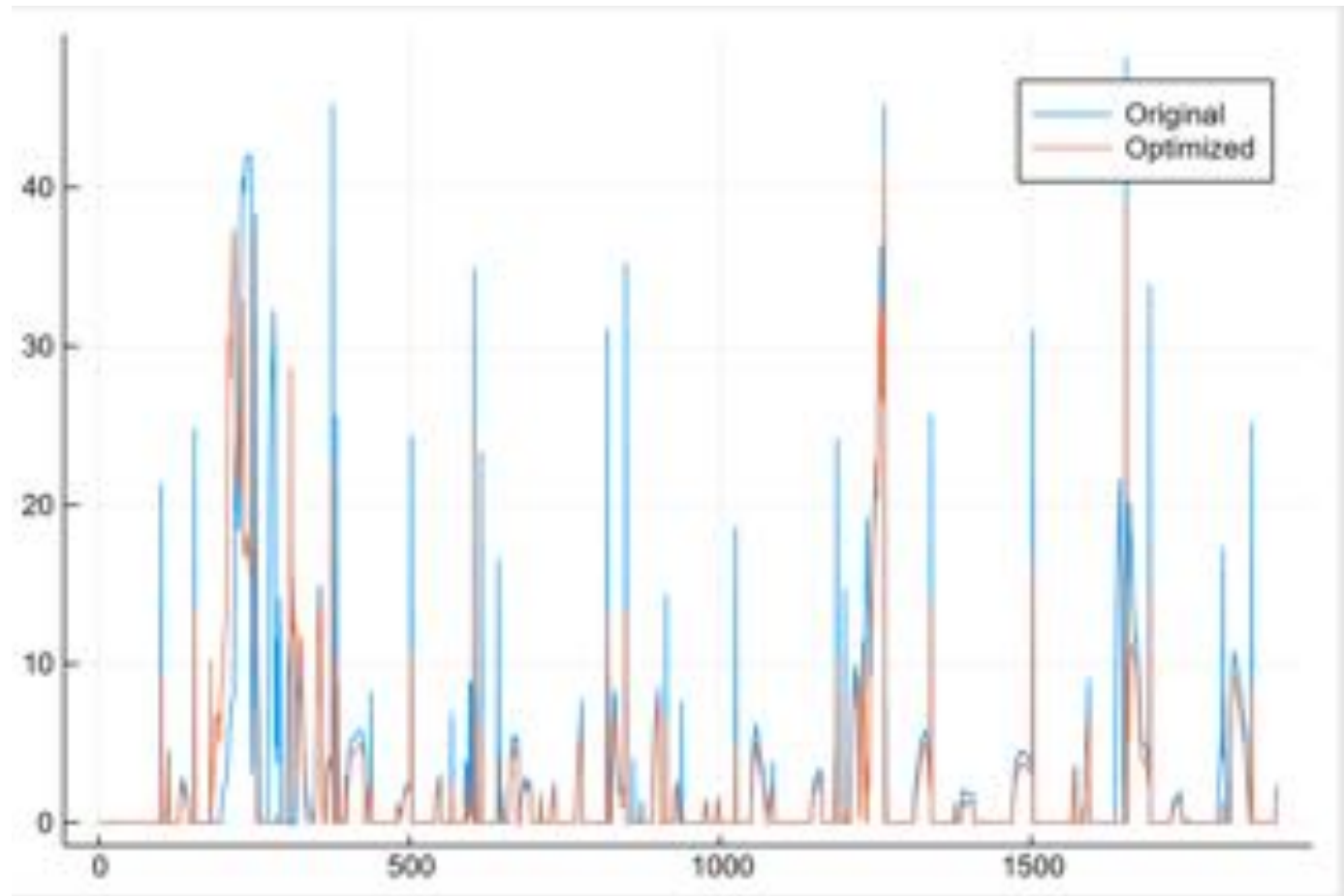
calejo

Optimering genom Reinforcement Learning



Optimering

Optimering genom
Reinforcement
Learning.

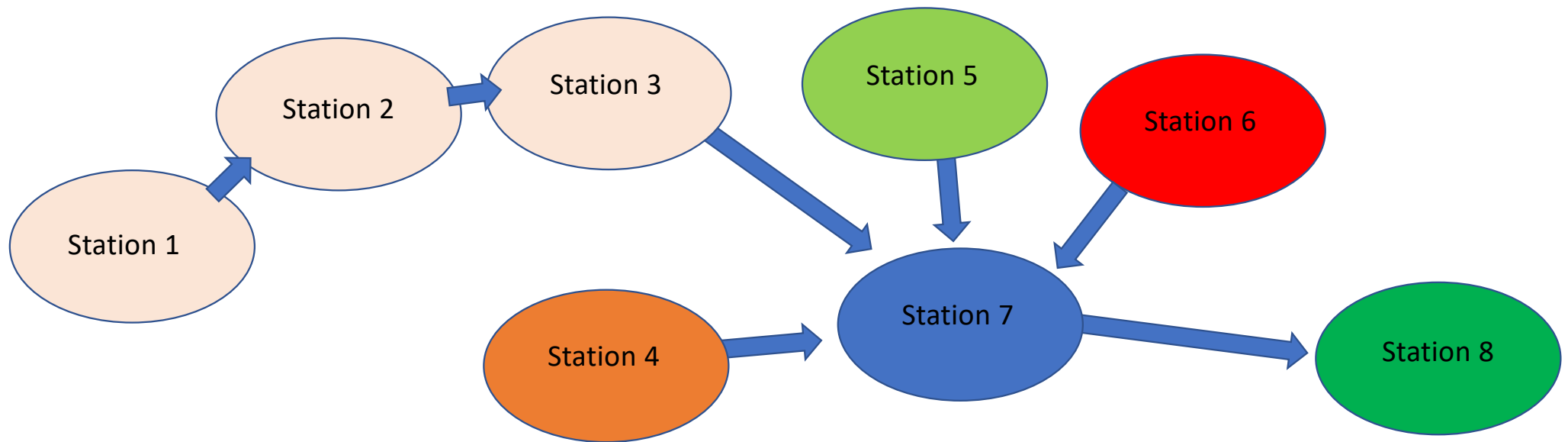


Graf över bestraffningen före och efter optimering

Framgångsrika hållbarhetsprojekt

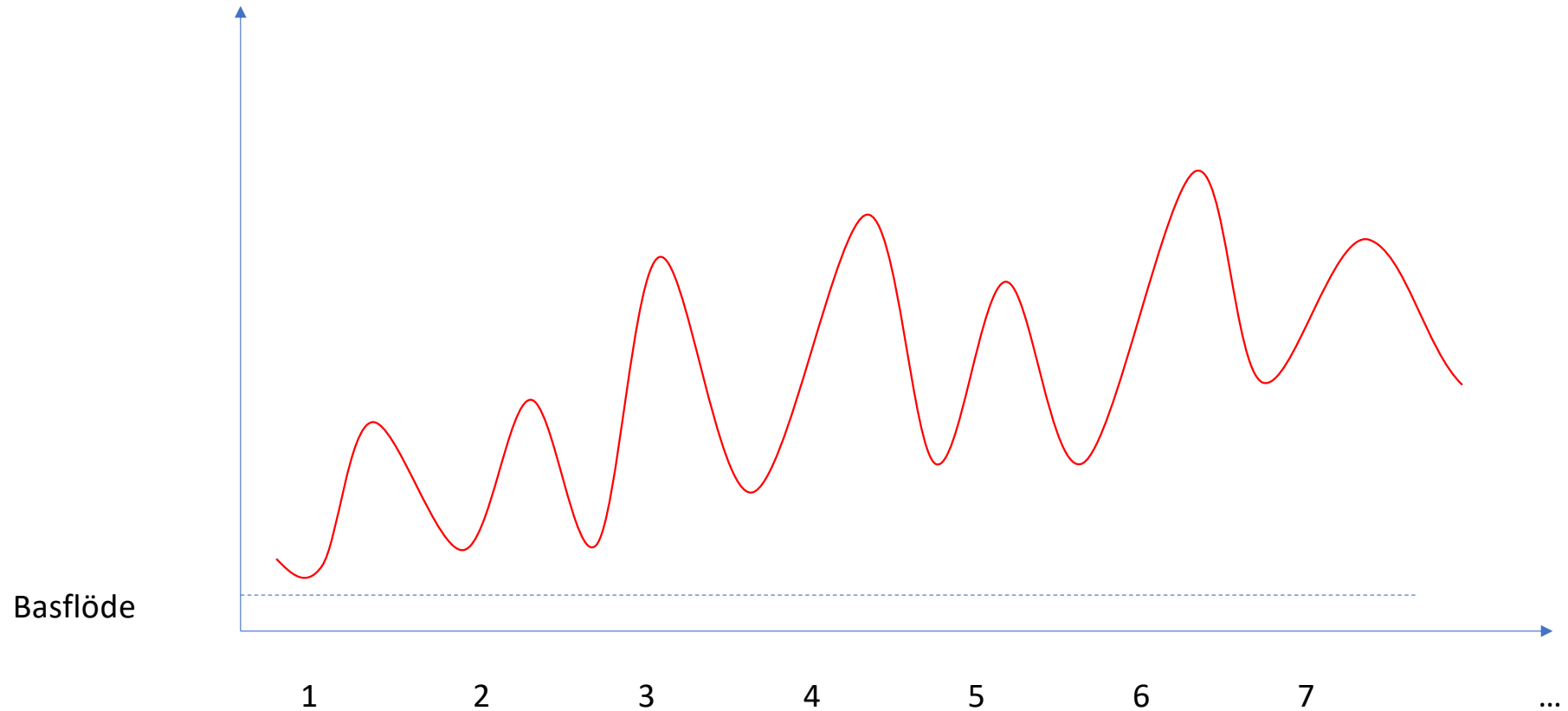
calejo

Optimering av flödet i spillvattennät



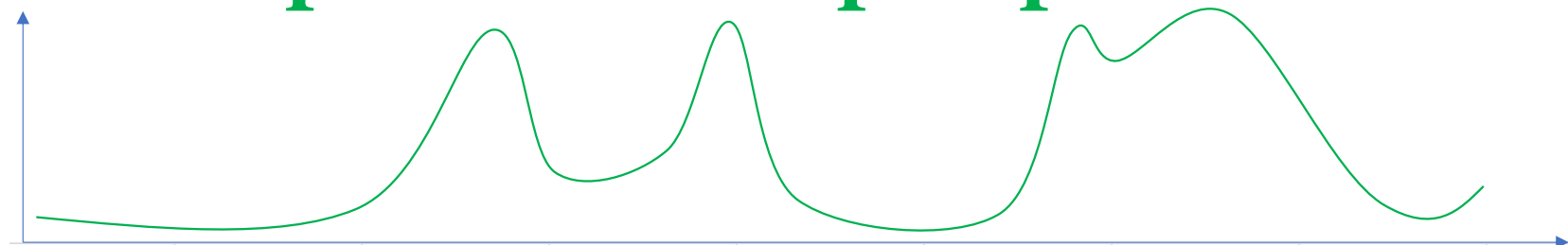
Totalflödet

– det uppmätta flödet i spillvattennätet vid en given tidpunkt

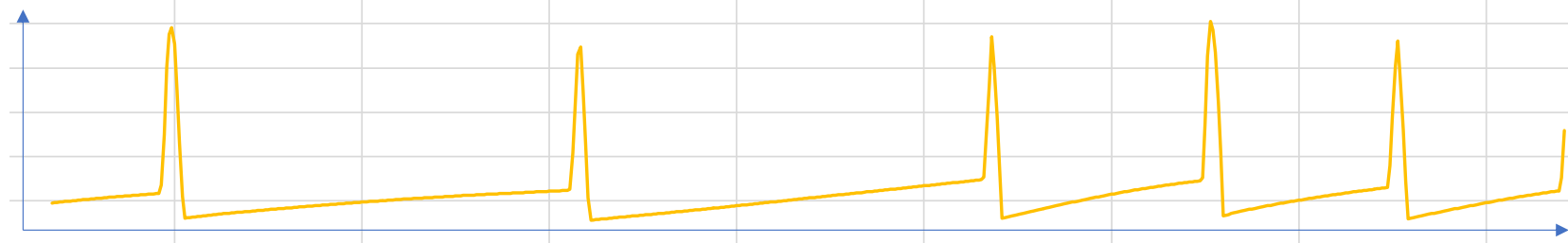


Olika flödekomponenter i en pumpstation

Tillskottsvatten

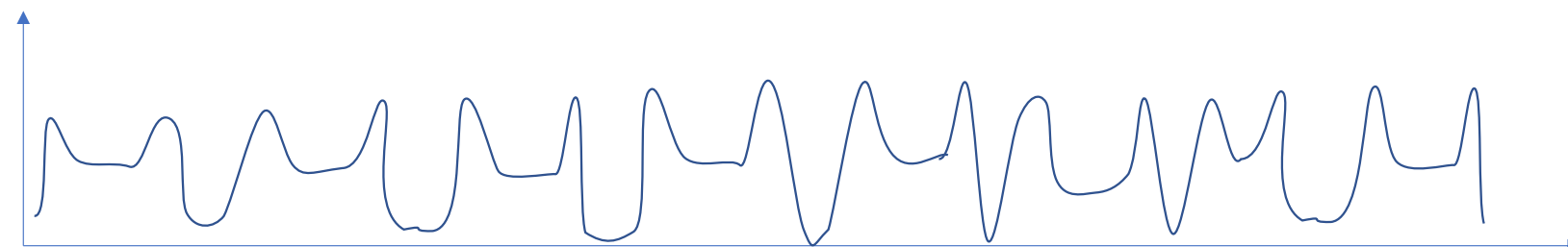


Från tidigare pumpstation



1:12:00 2019-01-01 02:24:00 2019-01-01 03:36:00 2019-01-01 04:48:00 2019-01-01 06:00:00 2019-01-01 07:12:00 2019-01-01 08:24:00 2019-01-01 09:36:00 2019-01-01 10:48:00

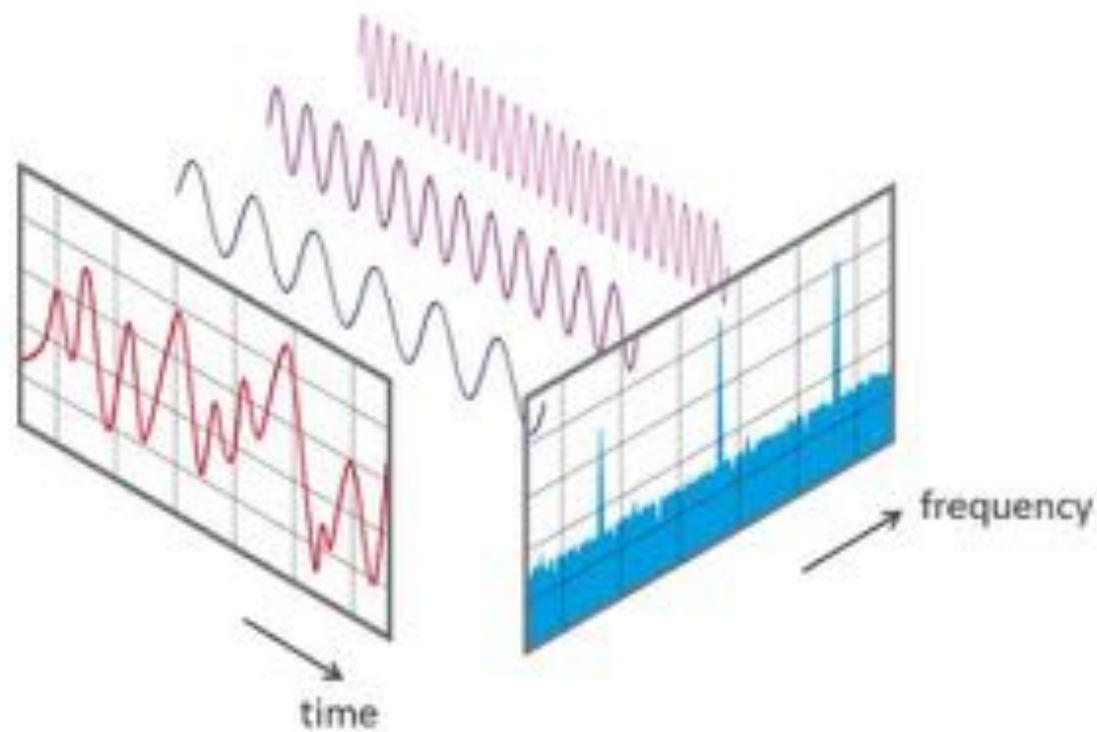
Lokalt spillvatten



1 2 3 4 5 6 7 ...

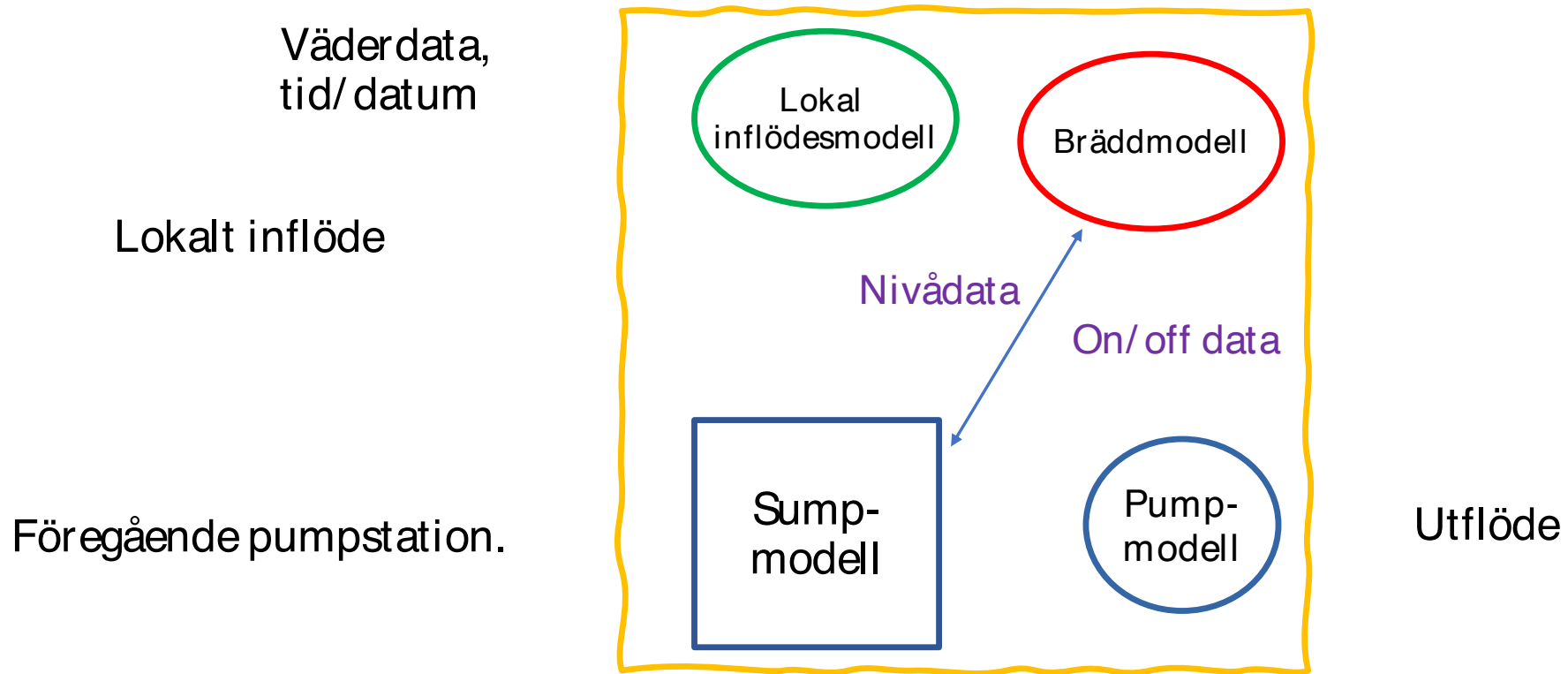
calejo

Totalflödet är summan av delflödena

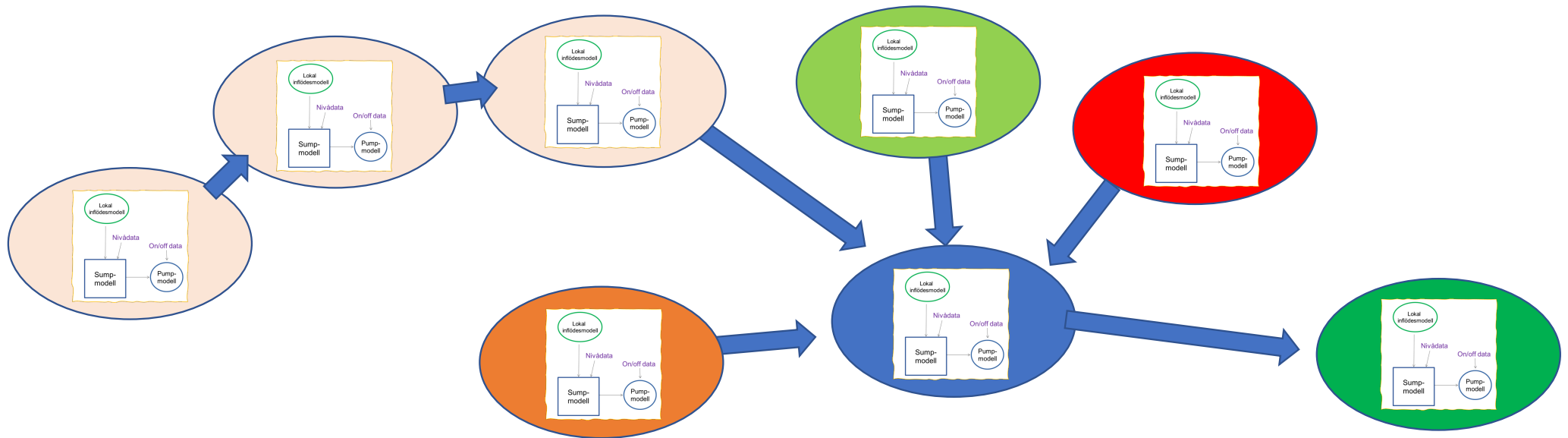


calejo

Pumpstationsmodell

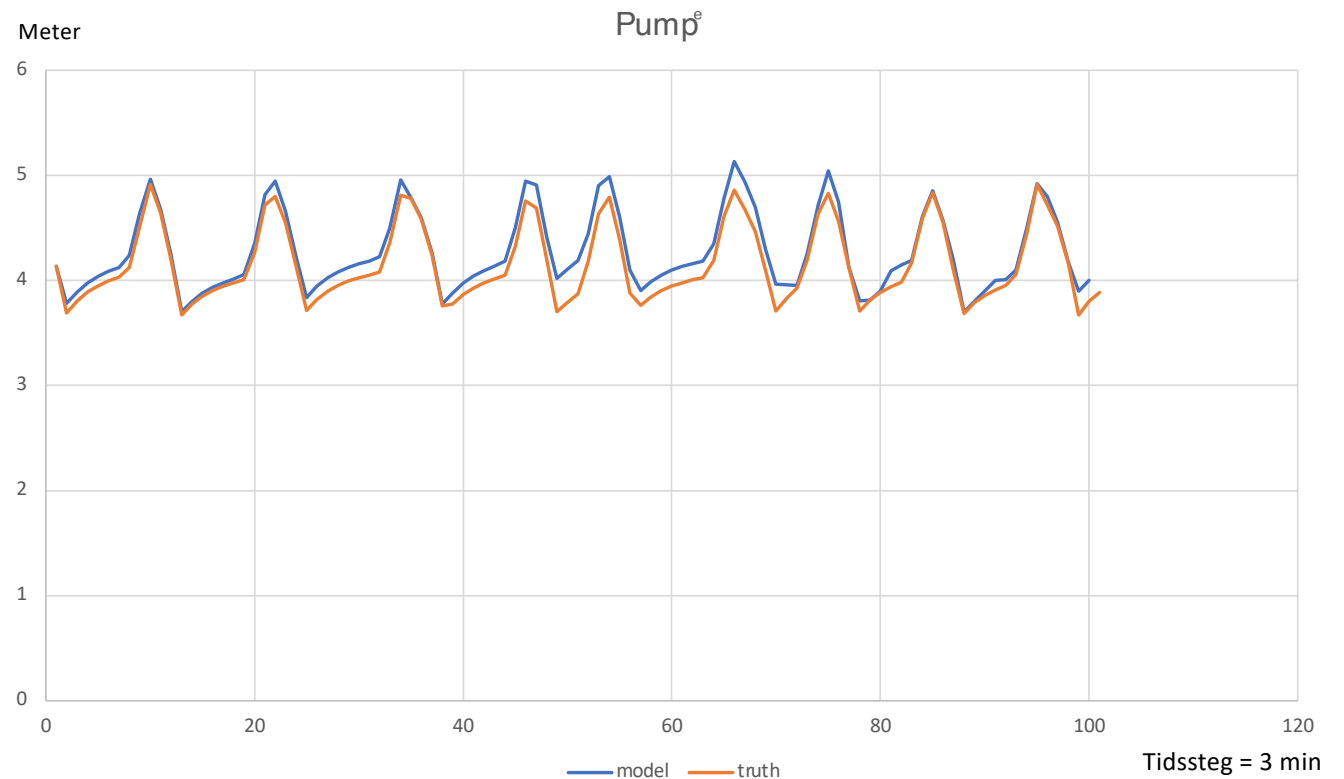


Träning av kopplade sumpmodeller och lokala inflödesmodeller

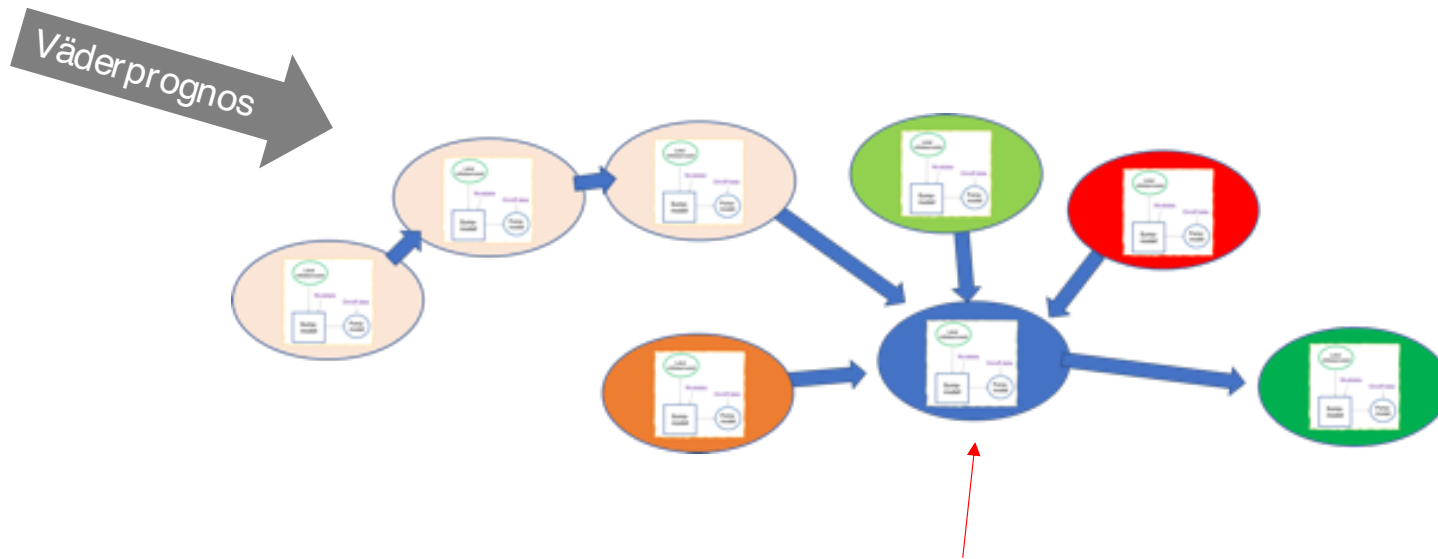


Träning och verifiering av Tvillingen

Verifiering genom jämförelse modell och verkligt utfall över lång tid.



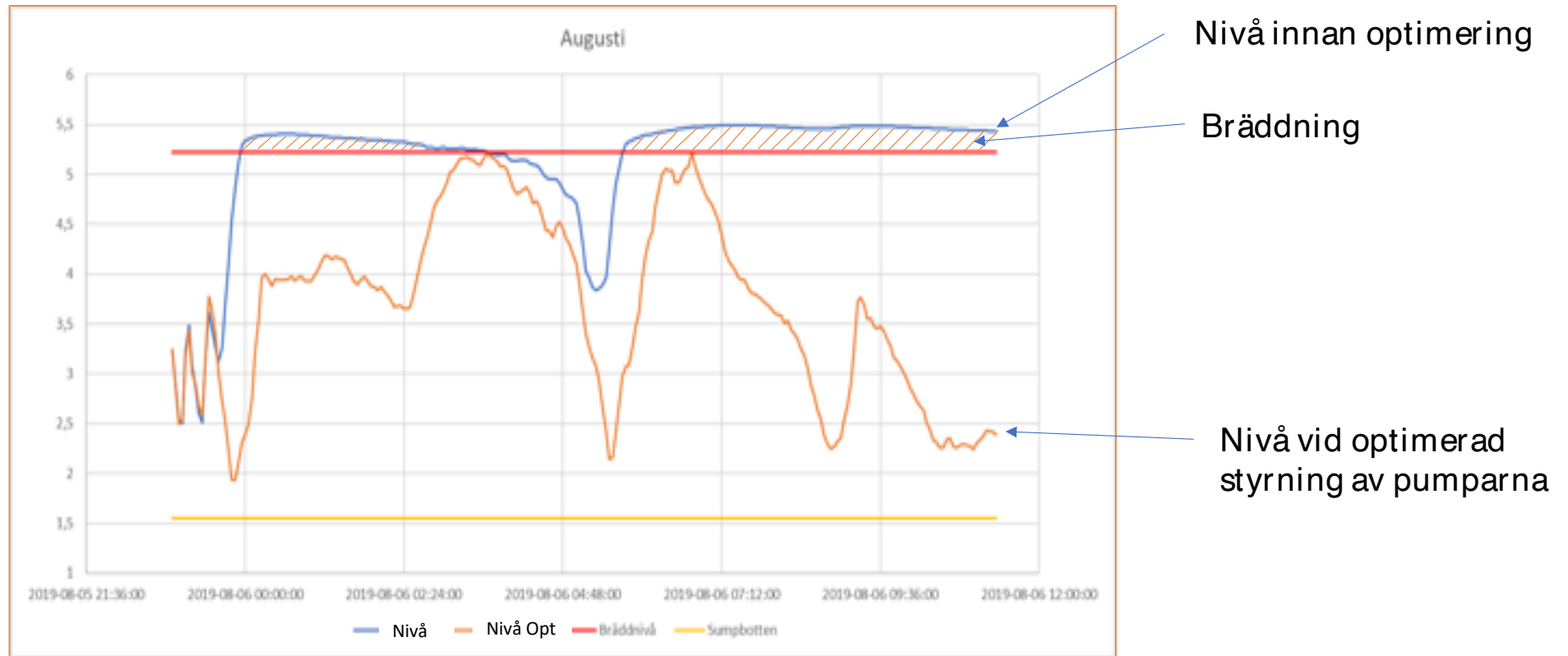
Optimering för att skapa ett jämnare flöde vid kraftig nederbörd



Pumparnas styrning optimeras genom bestraffning av händelser som inte är önskvärda.

Problem med bräddning vid kraftig nederbörd (översvämning)

Resultat från optimeringen



Vinster med ny tekniken inom VA

VA-industrins miljöutmaningar

- Åldriga avloppssystem hotar miljön.
Nödvändiga reinvesteringar inom EU på 1,6 miljarder kronor.
- Ökad urbanisering påfrestar näten.
- Klimatförändringar i form av kraftig nederbörd och ihållande torka.
- Rent vatten är på väg att bli en bristvara.

Miljövinster inom andra industrier



Vattenkraft.



Gruvindustri.



Pappersbruk.

Slutsatser

- Traditionell matematisk modellering har begränsningar vid komplexa processer
- Enbart AI-baserade modeller fungerar dåligt inom industrin.
- Calejos hybridlösning optimerar och miljöförbättrar industrins processer.
- Modellbaserad optimering är en viktig förutsättning för att nå kommande hållbarhetsmål.

calejo

johannes.holmberg@calejo.ai

www.calejo.ai
