



OPTIMERING AF PUMPEYDELSESR PÅ AFVÆRGEANLÆG VIA IOT-BASERET MODELLERING

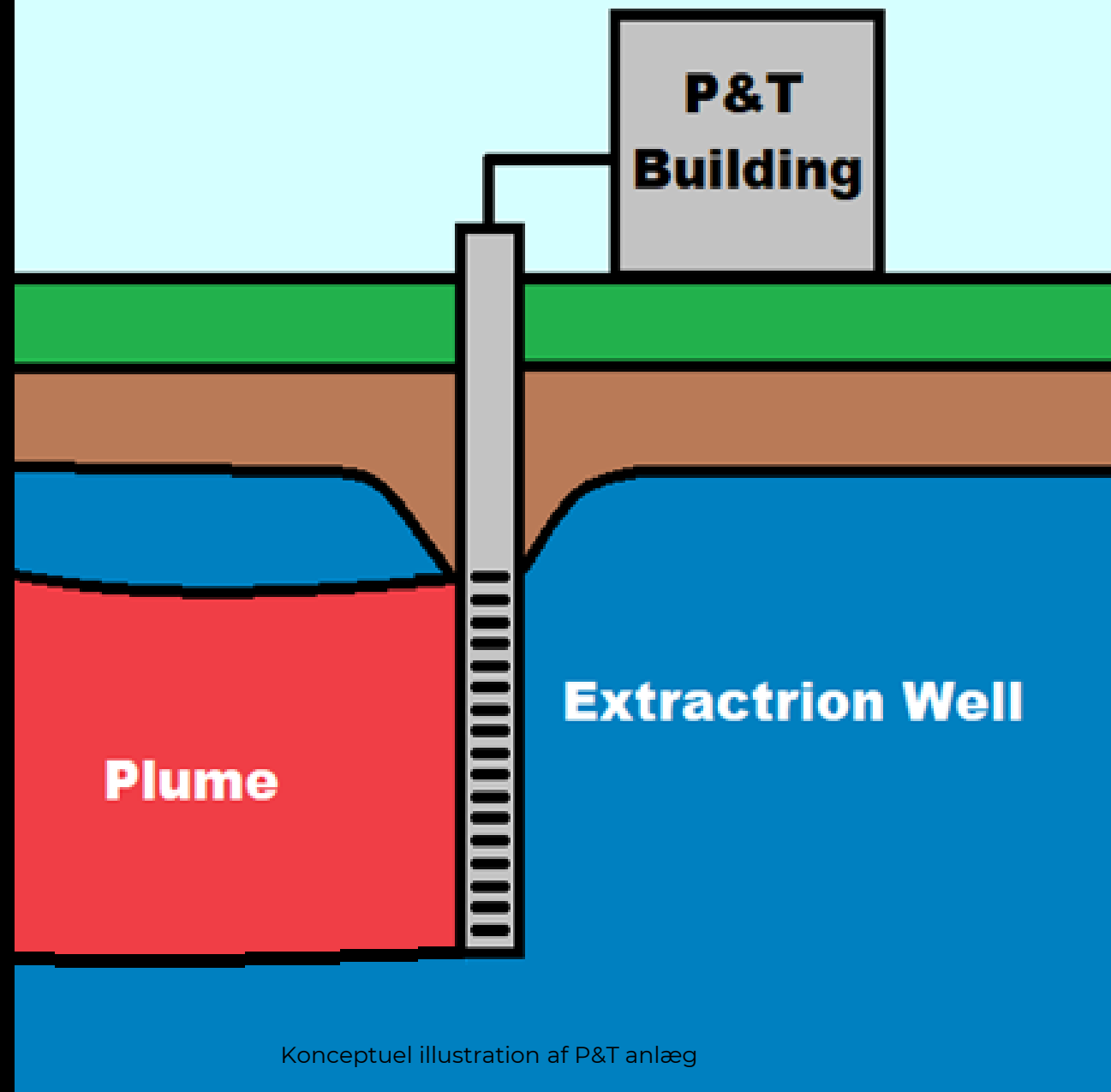
ATV VINTERMØDE 2025

Andreas Sahyoun Sørensen | Marts 2025



Pump & Treat anlæg

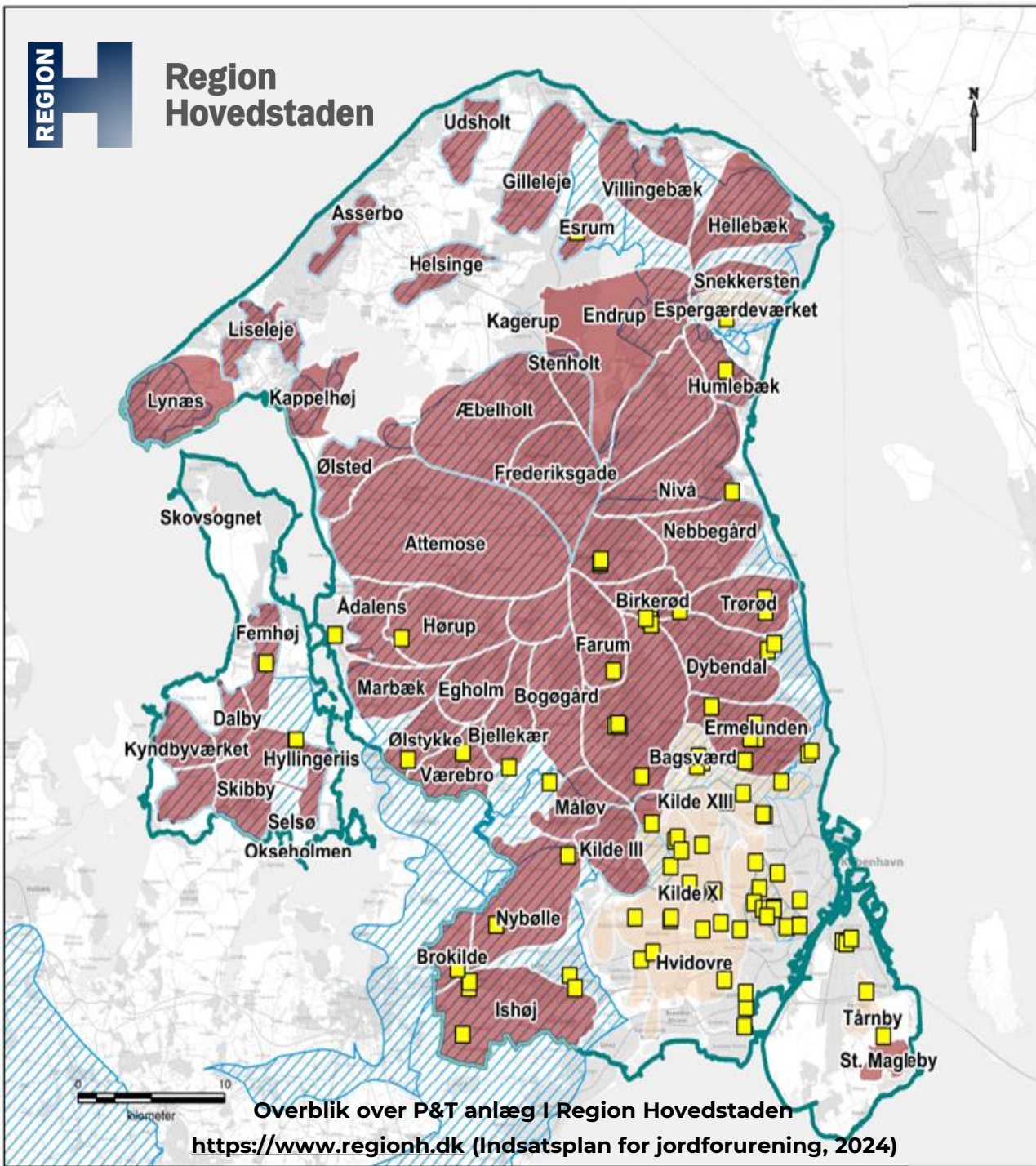
- Pump & Treat (P&T) anlæg placeres direkte på den forurenede grund.
- Placeringen af boringer bestemmes primært ved undersøgelsen af den forurenede grund, hvilket kan føre til ikke-lettilgængelige placeringer.
- Historisk har pumperaten været bestemt baseret på intuition frem for modellering.
- Det mistænkes at flere P&T anlæg i Danmark har en højere pumperate end behøvet.





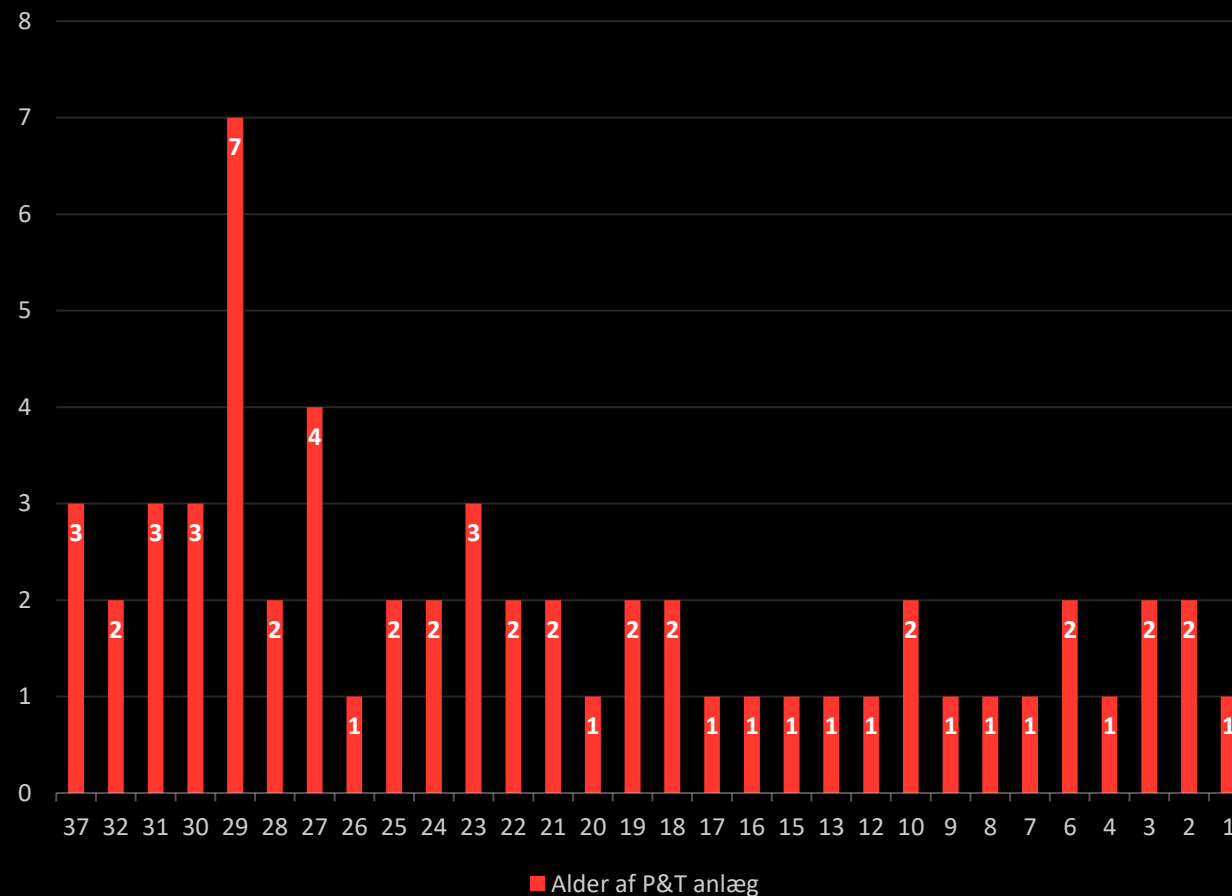
Baggrund

- Der var 59 aktive Pump & Treat anlæg i Region Hovedstaden i 2022
- Der blev i 2022 oppumpet en samlet mængde på 2.439.209 m³ fra region Hovedstadens Pump & Treat anlæg
- Den gennemsnitlige oppumpning per anlæg i 2022 var 41.343 m³
- Den gennemsnitlige samlede pumpeydelse per anlæg var i 2022 på 4,7 m³/t



Baggrund

- P&T anlæg er aktive i mange år, ofte flere årtier
- Gennemsnitsalderen for de nuværende aktive P&T anlæg i Region Hovedstaden er 21 år
- De mange års drift resulterer i et stort energiforbrug og et højt forbrug af aktive kulfiltre
- Mange års drift høje omkostninger og høj CO2 udledning

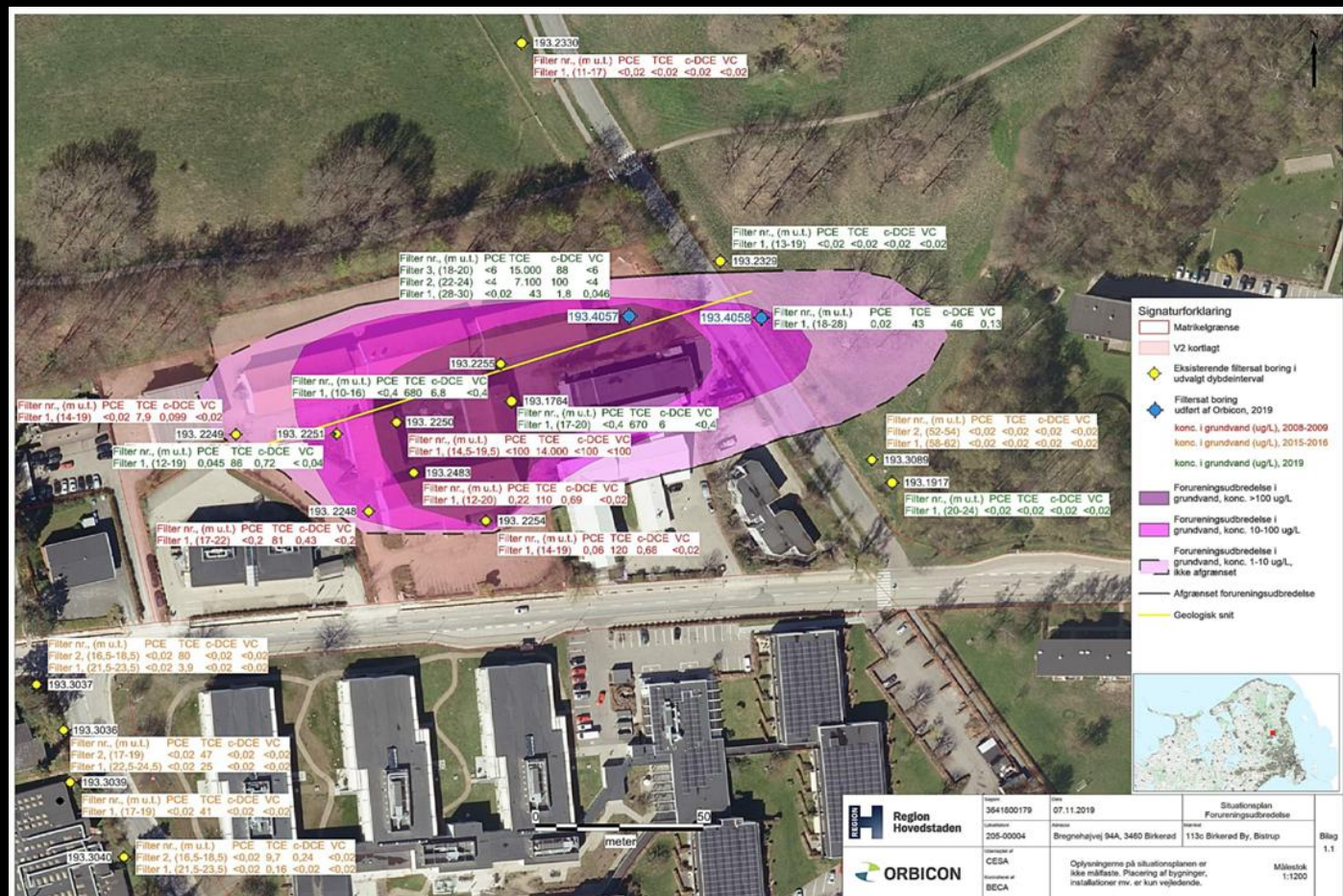


Idéen – Optimering af pumperater med IoT som det bærende element

- **Tilpasning og modificering af en eksisterende 2D analytisk model og partikelbanesimulering til bestemmelse af pumperaten**
- **Automatisering af kørslen af den 2D analytiske model og partikelbanesimuleringerne**
- **Opsætning og opkobling af IoT til Visualisering, kalibrering og verificering af den kørte model**
- **Ved at optimere pumperaten kan én af tre ting ske:**
 - Der findes at der pumpes for meget, så der kan skrues ned. Dette medfører et reduceret energiforbrug og reducerer derved også CO2 udledningen.
 - Det findes at der pumpes for lidt og anlægget ikke fanger alt forureningen der ønskes fanget. Pumperaten sættes op og anlægget fanger nu den forurening der ønskes fanget.
 - Det findes at anlægget kører med allerede optimerede ydelser.

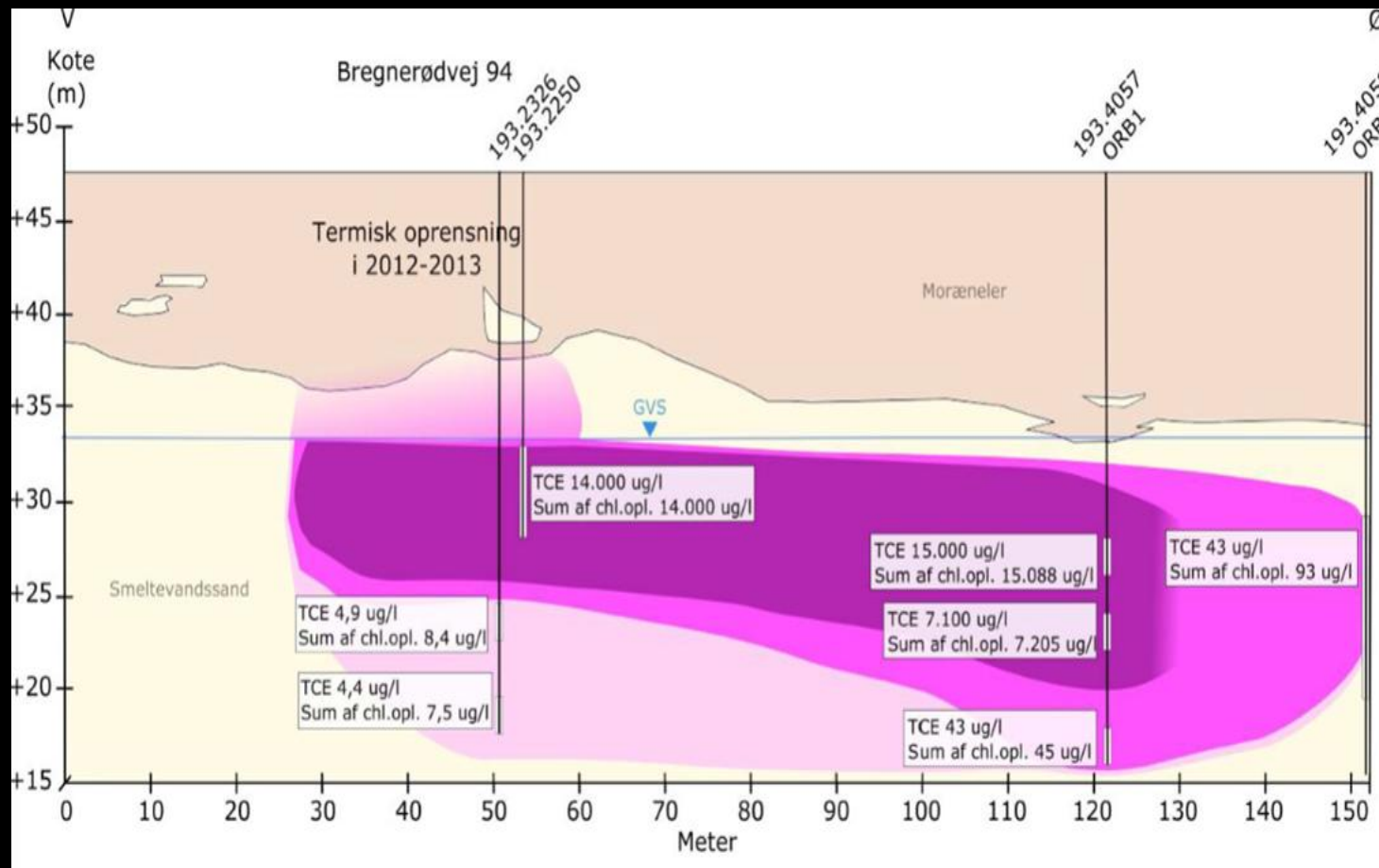
Testgrunden: Bregnerødvej 94, Birkerød

- Anlægget er beliggende i, og varetaget Region Hovedstaden
- Forureningen der afværges er bestående af klorerede opløsningsmidler
- Der har tidligere været udført en termisk oprensning i de øvre jordlag
- Forureningsudbredelsen er velbeskrevet og veldefineret



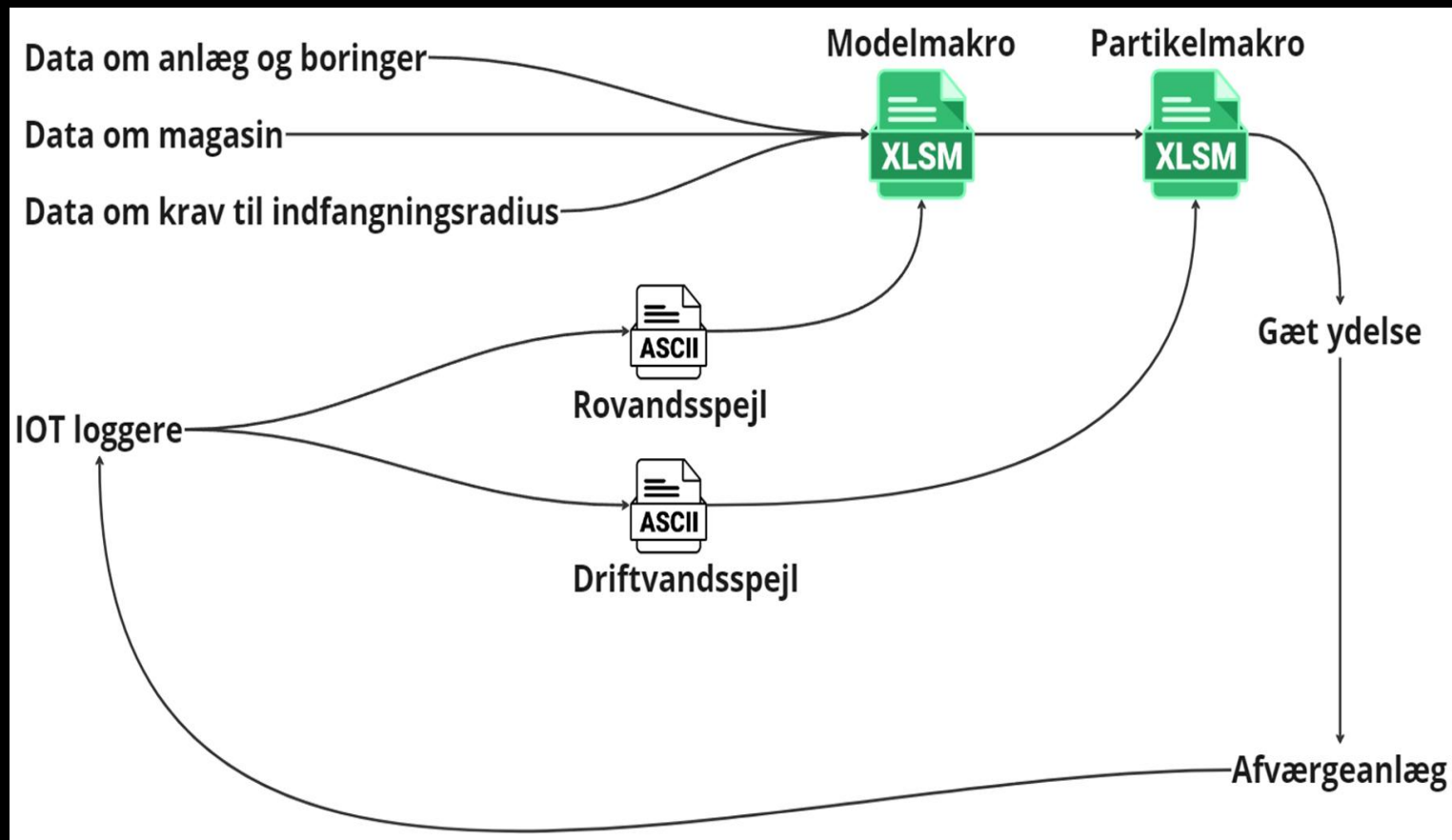
Testgrunden: Bregnerødvej 94, Birkerød

- **Der er en simpel geologi på lokaliteten**
 - Et magasin bestående smeltevandssand
- **Forureningen kan anskues fra et 2D perspektiv**
- **God beskrivelse af boringer og magasinforhold**
- **Et kendt anlæg med pumperater der mistænkes at være for høje**
- **To afværgeboringer der hver oppumper 3 m³/t**



Implementering af systemet

- IoT loggere installereres
- Data for anlæg og boringer implementeres i modellen
- Hydrauliske egenskaber for magasinet implementeres i modellen
- Den ønskede indfangning defineres
- Rovandsspejl integreres i modellen
- Første bud på pumpeydelse bestemmes
- Anlæg justeres til værdier
- Driftsvandsspejlet fra IoT sammenholdes med modelleret data
- Ydelser verificeres eller forkastes
- Transmissivitet justeres og processen gentages



Flowchart, visualisering af systemet (WSP, 2024)

Installation af IoT

- Ventilerede IoT sensorer installeres i monitoringsboringer
- Eksisterende sensorer i afværgeboringer benyttes
- Data afleveres online til WSP's dataportal tilgængeligt for den automatiserede model
- Boringer nivelleres til forøget præcision
- Rovandspejlet findes ved en indledende pejlerunde
- Pejlinger benyttes til at kalibrere IoT sensorerne



Installation af IoT-udstyr (WSP, 2024)

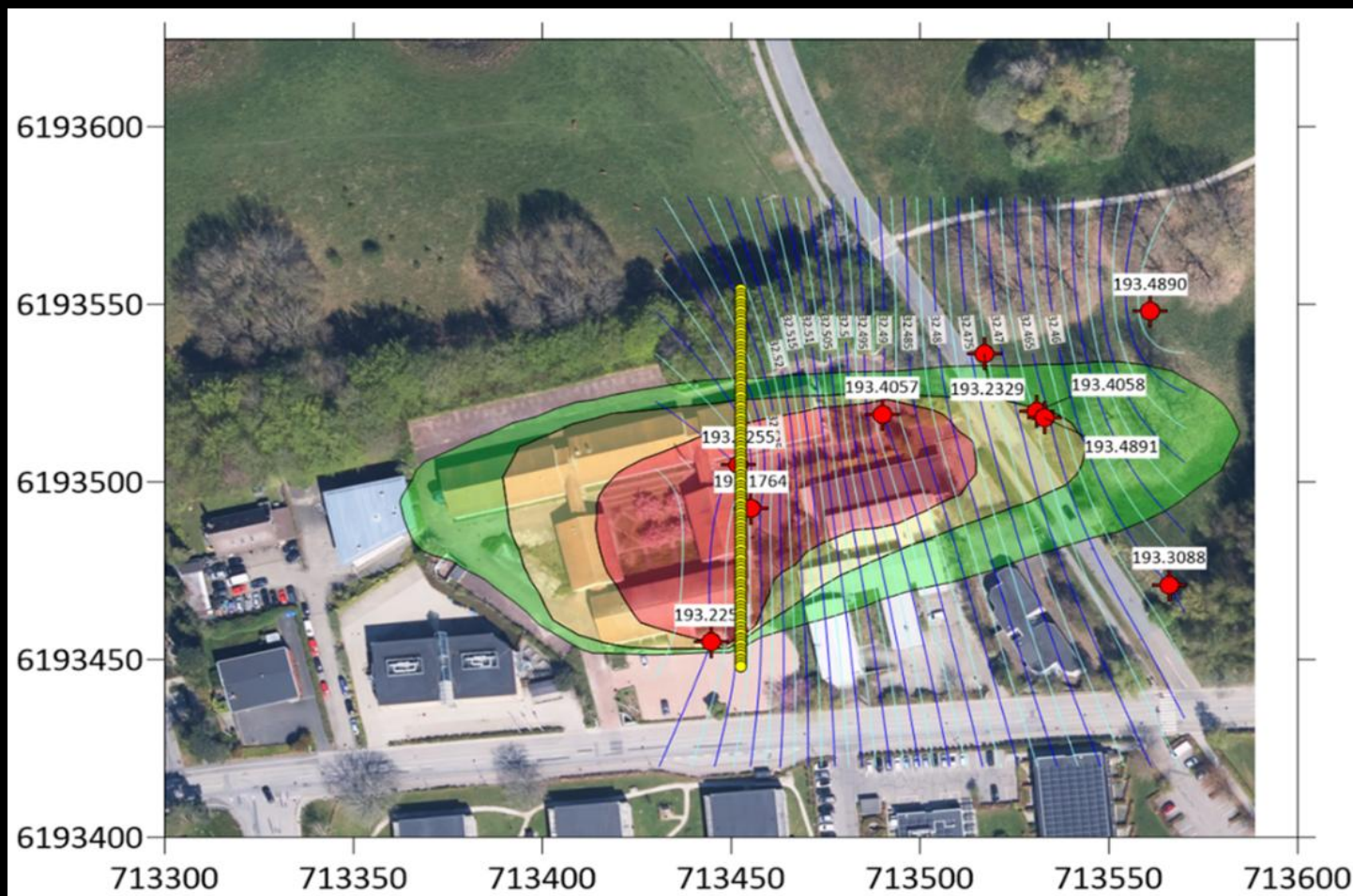
Data til baseline

Rovandsspejl

- Der er en naturlig grundvandsstrømning fra vest mod øst
- Rovandsspejlet benyttes som "baseline" i den analytiske model
- Grid størrelsen af modellen bestemmes baseret på mængden og kvaliteten af data, her sættes den til 1x1 m

Ønsket indfangningsradius

- Indfangningsradiussen defineres som det tværsnit af forureningsudbredelsen der ønskes fanget
- Indfangningsradiussen visualiseres med partikler
- Der placeres 1 partikel i hver celle i tværsnittet



Visualisering af rovandsspejl (WSP, 2024)

2D analytisk model

- Den 2D analytiske model automatiseres
- Alt magasindata benyttes i modellen
- Pumperaterne varieres mellem 0 og 5 m³/t for hver af de to pumpeboringer i et interval på 0,25 m³/t
- Der dannes 441 scenarier som lagres som grids
- For hvert scenarie køres en forlæns partikeltracking og den procentuelle indfangning af det prædefinerede tværsnit registreres

BEREGNING AF EFFEKT AF PUMPNING PÅ GRUNDVANDSSPEJL

Revision

Områdedata	dimension	Grid:
x min	713430	cellestørrelse
x max	713570	1 meter
y min	6193420	ncol
y max	6193580	141
		nrow
		161
		nodata_value
		1.70E+38

Indhent rovandspejl fra ASCII-grid
Juster beregningsgrids til det angivne område

Navn	boring	x	y	Negativ oppumpning			Boredim.	Egensenkning	r0	Celle X	Celle Y	Lokal T
				rate m ³ /h	rate m ³ /år	rate m ³ /s	mm	meter	meter			
AFV1		713531.1	6193520.1	-3	-26280	-0.000833	250	-0.15	1816.2	102	61	0.00848
AFV2		713533.1	6193518.1	-3	-26280	-0.000833	250	-0.15	1816.2	104	63	0.00848
					0	0	250					
					0	0	250					
					0	0	1000					
Netto				-6.00								

Magasinforhold

S	5.00E-03	Tabelværdi
t pumpetid	864000 sek	10 dage 14400 minutter

EKSPORT AF DATA TIL SURFER:
Titel på kørsel:
 .asc

Afprøvning af konstante værdier for grid:

T	8.48E-03	m ² /s
Rovandsspejl	0	m

Kopier konstant T-værdi til grid
Kopier konstant rovand til grid

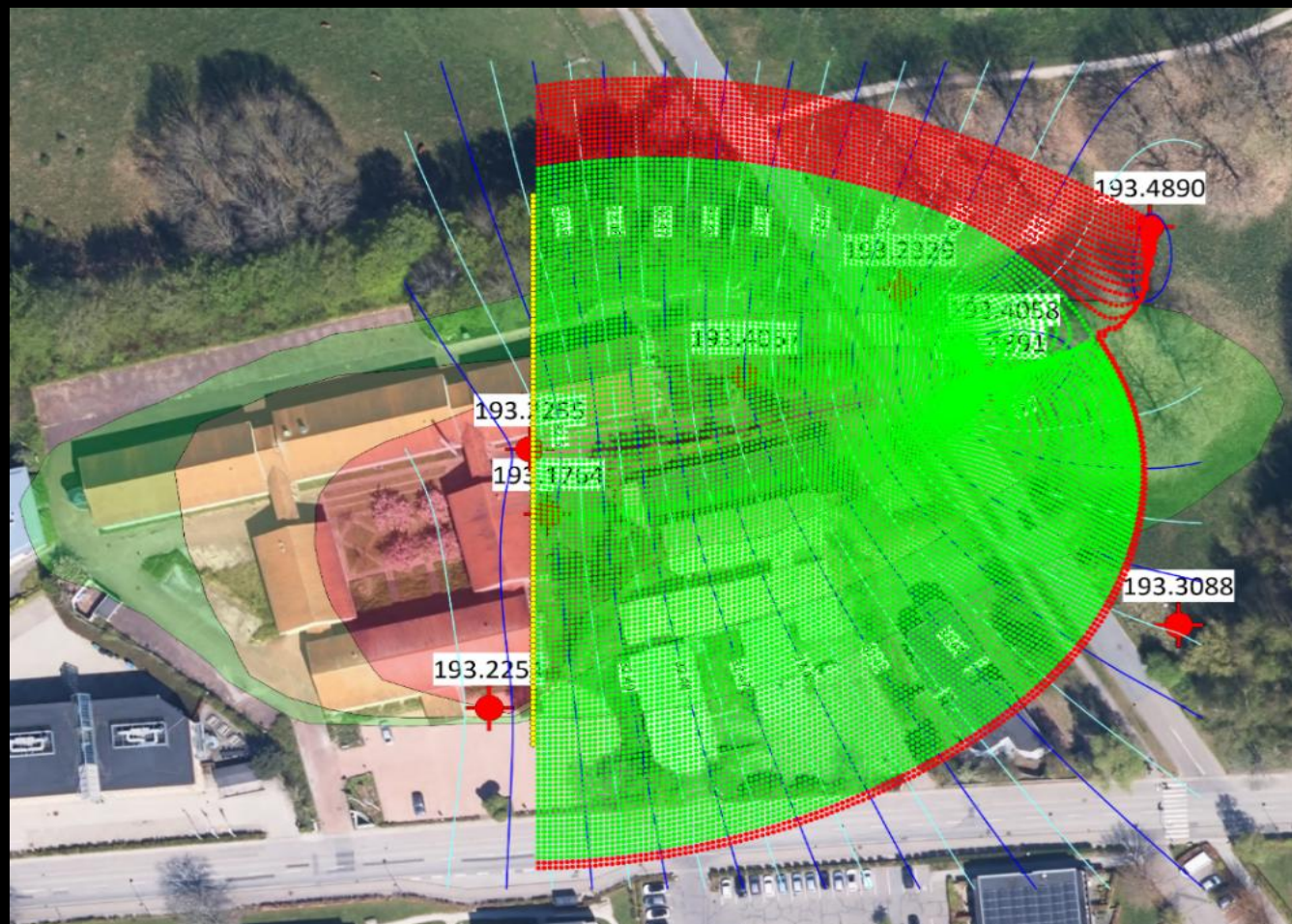
Eksporter rovandspejl
Eksporter driftvandspejl
Eksporter Σ sækning
Eksporter boringer > 0 m³/h i txt-format

Inddata | Strømlinjer | Tracks | S Sum | Rovandspejl | Driftvandspejl | Tgrid | S P1

2D analytisk model som Excel baseret makro (WSP, 2024)

Partikeltracking

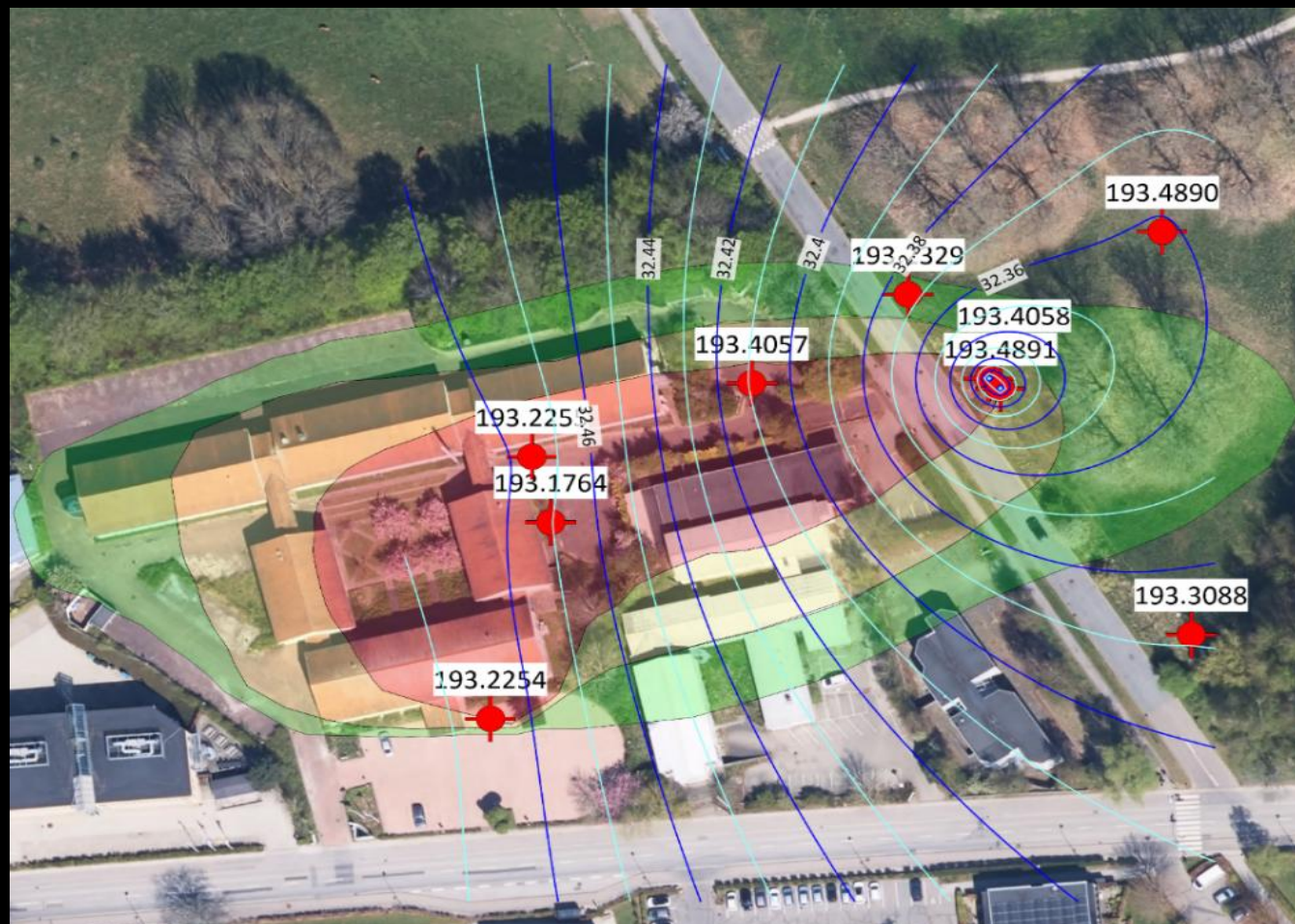
- Partikler der ender i afværgeboringerne defineres som "fangede" og visualiseres som grønne
- Partikler der ender andre steder defineres som "ikke fangede" og visualiseres som røde
- Mængden af de placerede partikler der indfanges registreres som en indfangningsprocent
- Udelukkende scenarier med en indfangningsprocent på 100% benyttes til at finde de optimale pumperater



Visualisering af forlæns partikeltracking (WSP, 2024)

Visualisering

- Det optimale teoretiske scenarie der findes visualiseres med isopotentielle linjer for et 1x1m grid
- Cellestørrelsen på 1x1 m vælges for at have en bedre detaljegrad ved partikeltracking
- Sammenligningen af det teoretiske driftspotentiale og det målte er besværligt pga. mængden af datapunkter



Visualisering af teoretisk dritspotentialekort (WSP, 2024)

Visualisering

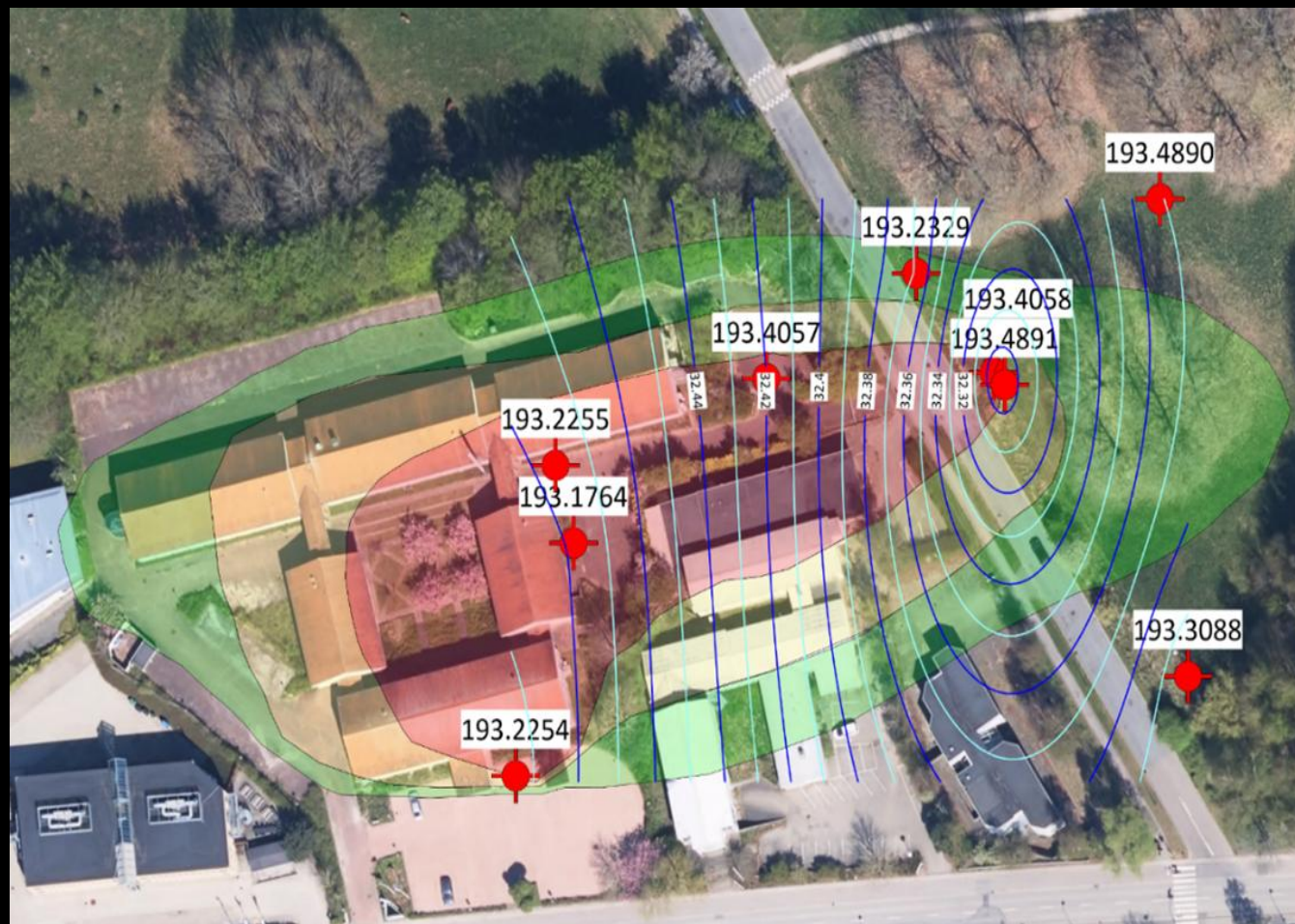
- **Det observerede vandspejl målt i monitoringsboringer og afværgeboringer interpoleres ved kriging**
- **Vandspejlet i afværgeboringerne kompenseres for tryktabet fra modstanden i filtre og gruskastning**
 - Kompenseringen baseres på en tidligere udregnet boringseffektivitet estimeret på baggrund af en pumpetest
 - Boringseffektiviteten defineres som den procentuelle forskel mellem den observerede sænkning og den teoretiske sænkning i magasinet ved den ydreperimeter for pumpeboringen



Visualisering af observeret interpoleret driftspotentialekort (WSP, 2024)

Kalibrering

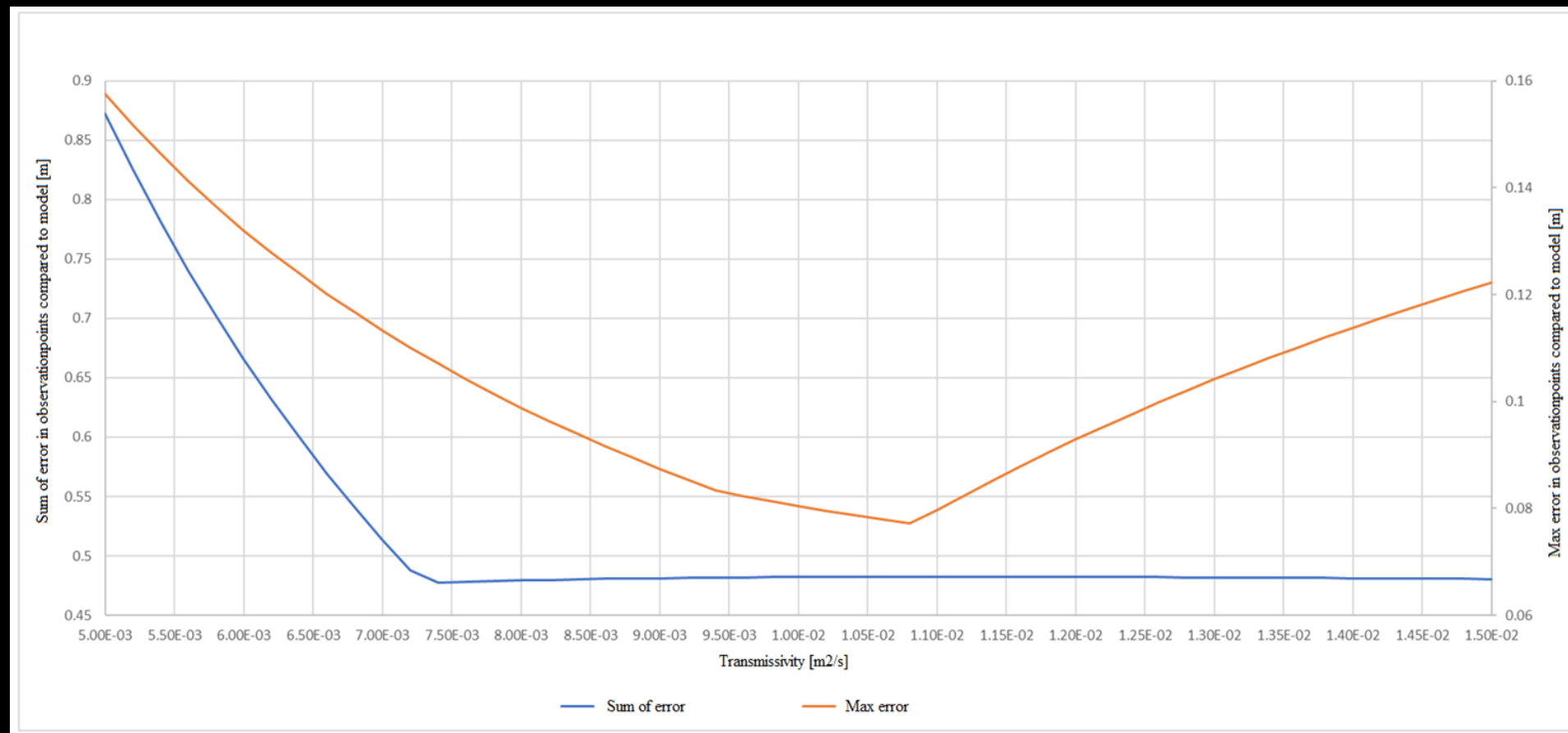
- Ved at benytte celleværdien i griddet for det teoretiske driftspotentiale i punkterne for observationerne kan de to grids sammenlignes
- Forskellen i hvert punkt logges og benyttes til en verificering/kalibrering
- Hvis forskellen mellem observeret data og modelleret data vurderes for stort, ændres magasinverdier så forskellen minimeres
- Hvis magasinverdier ændres køres processen igen



Visualisering af teoretisk interpoleret dritspotentialekort (WSP, 2024)

Resultater: Kalibrering

- **Transmissiviteten justeres og forskellen logges**
- **Her ændres T fra $8,5E-3$ til $1,08E-2$ m²/s**
- **Der vælges det punkt hvor summen af fejl og den maksimale fejl er lavest**



Kalibrering af transmissivitet ift. maksimal fejl og sum af fejl (WSP, 2024)

Resultater: Optimeringsmatrix

- Scenariernes indfangningsprocent visualiseres som en matrix
 - Der opsættes et regelsæt for at kunne bestemme de optimale pumpeydelse
1. Indfangningsprocenten skal være 100 %
 2. Summen af pumperaterne skal være så lav som muligt
 3. Den maksimale ydelse for borerne skal være så lav som muligt

		AFV2											
		0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3
AFV1	0.25	20.6	32.7	43.9	53.3	63.6	72.9	82.2	93.5	99.1	100	100	100
	0.5	32.7	43.9	53.3	62.6	72.0	82.2	93.5	99.1	100	100	100	100
	0.75	43.0	52.3	62.6	72.9	82.2	92.5	99.1	100	100	100	100	100
	1	53.3	62.6	72.0	81.3	92.5	99.1	100	100	100	100	100	100
	1.25	61.7	72.0	81.3	91.6	99.1	100	100	100	100	100	100	100
	1.5	72.0	81.3	91.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	1.75	81.3	91.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2	90.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2.25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2.75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Optimeringsmatrix for korte pumpescenarier (WSP, 2024)

Resultater

- **Resultatet af optimeringskørslen viser at pumpeydelerne kan reduceres fra 3 og 3 m³/t til 1,5 og 1,0 m³/t**
- **Da AFV1 og AFV2 ikke er filtersat ens og som sikkerhedsbuffer, vælges scenariet 1,5 og 1,5 m³/t**

AFV1 [m ³ /t]	AFV2 [m ³ /t]	Sum [m ³ /t]	Maks [m ³ /t]	Rang#
1.5	1.0	2.5	1.5	1
1.75	0.75	2.5	1.75	2
2.0	0.5	2.5	2.0	3
2.25	0.25	2.5	2.25	4
1.5	1.25	2.75	1.5	5

Resultater for scenarieberegninger (WSP, 2024)

Konklusion og takeaways

Pumperater

- Der findes et potentiale til en 50 % reducere af pumperater hvor ved den ønskede forurening stadig indfanges
- Optimeringspotentialet afhænger af de individuelle anlæg og dets konfiguration

Elektricitet

- Ved en 50 % reducere i pumpeydelse ses der ikke nødvendigvis en 50 % reducere i strømforbrug
- Reducere af strøm ved reducere af pumpeydelse afhænger af pumpefunktion for de aktuelle pumper i afværgeboringerne
- Overdimensionerede pumper fører til en lavere reducere i strøm ved reducere af pumpeydelse
- I dette projekt blev strømforbruget reduceret med ca. 20 %

Aktivt kulfilter

- En reducere i oppumpningen af ikke forurenede vand vil i teorien føre til højere koncentrationer i det oppumpede vand uden massejernelsen reduceres
- Forhøjede koncentrationer kan forlænge levetiden af kulfiltre, da der går længere tid før der ses et gennembrud
- Et aktivt kulfilter udgør en signifikant del af et afværgeanlæggs CO₂ udledning, da der udledes ca. 7 kg CO₂eq ved produktionen af 1 kg aktivt kul
- Derudover udledes der ca. 2 kg CO₂eq ved destruktions af 1 kg aktivt kul

Spørgsmål?



wsp.com