

Model Predictive Control of a Sewer System

June 14, 2018

Group 1030

Jacob Naundrup Pedersen

Thomas Holm Pilgaard

Department of Electronic Systems

Aalborg University

Denmark



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

Typisk opbygning af kloak ledning

Agenda

Group 1030

2

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

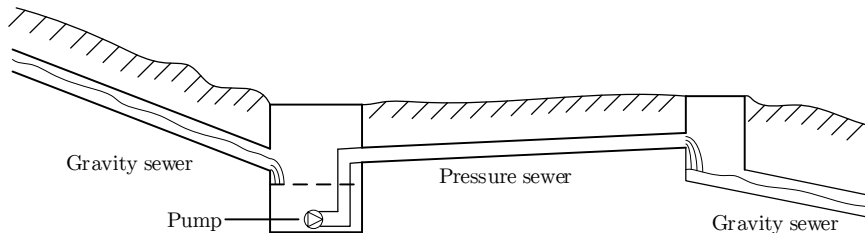
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion





Resning af spildevand

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Mekanisk rensning



Resning af spildevand

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Mekanisk rensning

► Sandfang



Resning af spildevand

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

► Mekanisk rensning

► Sandfang

► Primær rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Mekanisk rensning
- ▶ Sandfang
- ▶ Primær rensning
- ▶ Sekundær rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

3

- ▶ Mekanisk rensning
- ▶ Sandfang
- ▶ Primær rensning
- ▶ Sekundær rensning
- ▶ Kemisk rensning



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

- Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

- ▶ Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
 - ▶ Større udledninger uden varsel

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

- ▶ Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
 - ▶ Større udledninger uden varsel
 - ▶ Problemer for aerobe bakterier

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

4

- ▶ Virksomheds besøg ved Fredericia Spildevand og Energi A/S.
 - ▶ Større udledninger uden varsel
 - ▶ Problemer for aerobe bakterier
 - ▶ Andre forstyrrelser

Problem formulering

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

5

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

How can a simulation environment be constructed, which mimic the behavior of a real sewer system, where MPC is utilized as the control scheme to obtain stable sewage output such that optimal performance can be obtained from a WWTP.

Udgangspunkt i et virkeligt setup

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

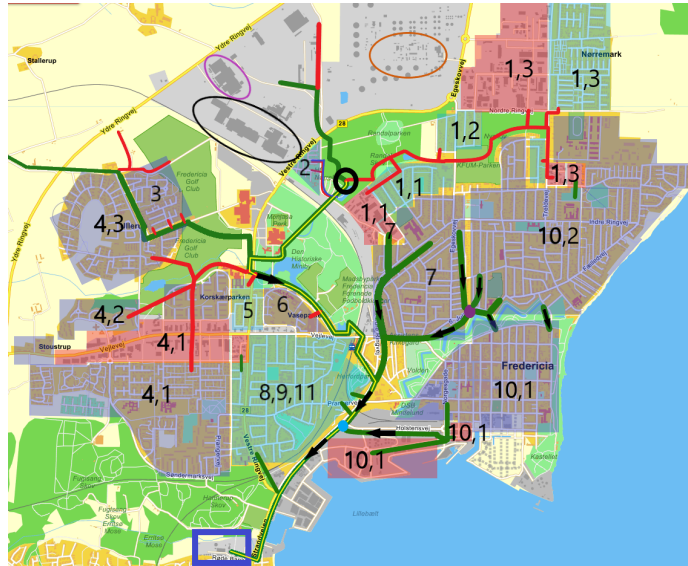
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

6



Udgangspunkt i et virkeligt setup

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

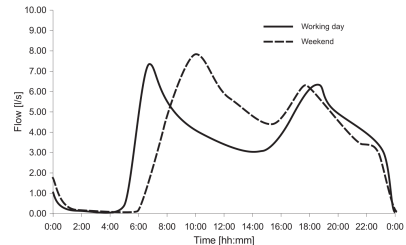
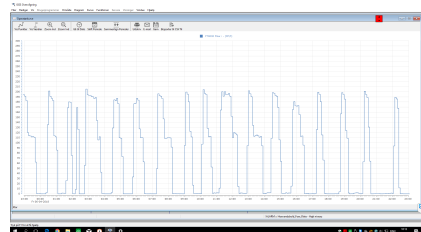
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

7

- Data fra industri.
- Flow profiler af beboelse og mindre industri.



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

► Indsættelse af tank

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

- Indsættelse af tank
- Afgrænse simulering til enkelt kemisk component

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

8

- Indsættelse af tank
- Afgrænse simulering til enkelt kemisk component
- Runde kloak rør

4 modeller

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

► Kloak ledning

- Saint-Venant
- Kontinuitet:
- Impuls:
- Antagelser

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Transport af koncentrat i kloak ledning

► Sammenkobling af kloakledninger

► Tank.

4 modeller

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

► Kloak ledning

- Saint-Venant
- Kontinuitet:
- Impuls:
- Antagelser

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Transport af koncentrat i kloak ledning

- Afhænger af flow i kloak ledning
- Antagelser

► Sammenkobling af kloakledninger

► Tank.

47

4 modeller

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensingsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

► Kloak ledning

- Saint-Venant
- Kontinuitet:
- Impuls:
- Antagelser

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Transport af koncentrat i kloak ledning

- Afhænger af flow i kloak ledning
- Antagelser

► Sammenkobling af kloakledninger

- Summering af flow og koncentrat
- Antagelser

► Tank.

47

4 modeller

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

9

► Kloak ledning

- Saint-Venant
- Kontinuitet:
- Impuls:
- Antagelser

$$\frac{\partial A(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} + S_f - S_b = 0$$

► Transport af koncentrat i kloak ledning

- Afhænger af flow i kloak ledning
- Antagelser

► Sammenkobling af kloakledninger

- Summering af flow og koncentrat
- Antagelser

► Tank.

- Ændring i højde og koncentrat
- Antagelser

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Intialisering

10

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Initialisering

► Opsætning af komponenter

10

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Initialisering

► Opsætning af komponenter

► System i steady state

10

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Intialisering

► Opsætning af komponenter

► System i steady state

► Simulering

10

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

10

► Intialisering

- Opsætning af komponenter
- System i steady state

► Simulering

- Iterativ beregning af komponenterne

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Intialisering

- Opsætning af komponenter
- System i steady state

► Simulering

- Iterativ beregning af komponenterne

► Gennemgang af resultat

Playback funktion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

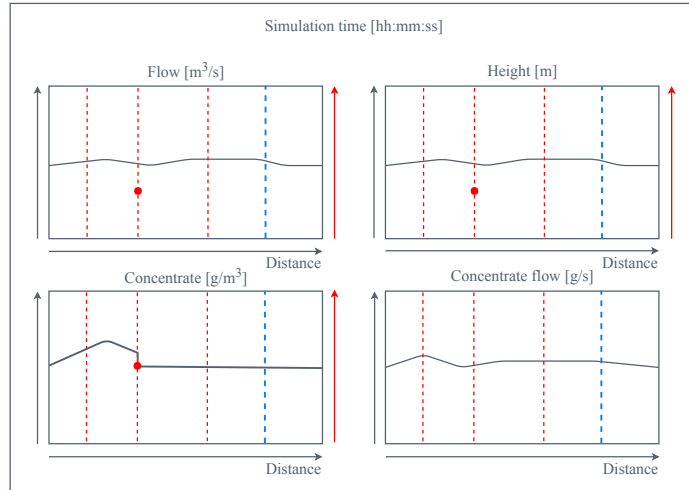
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

11



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Kinematisk bølge aproksimering
- Fyldningsgrad kurve for rør

12

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

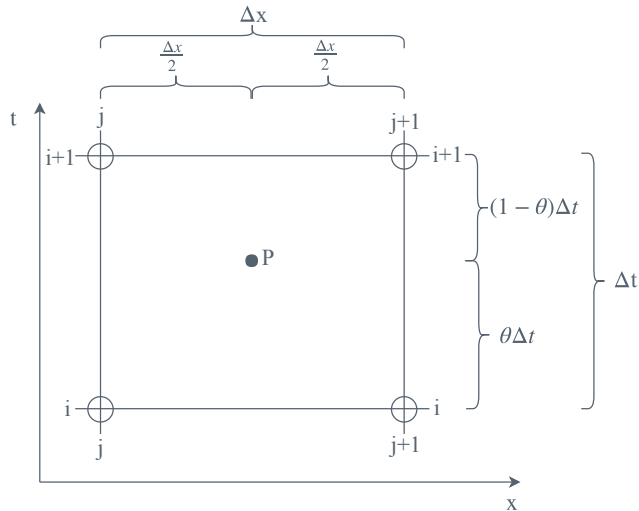
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

13



47

Preissmann iteration

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

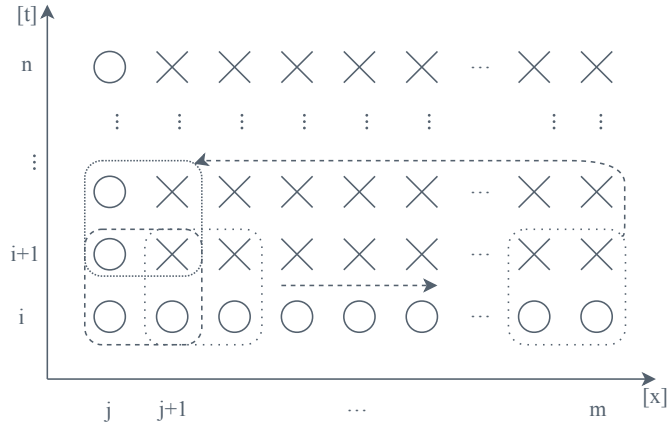
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

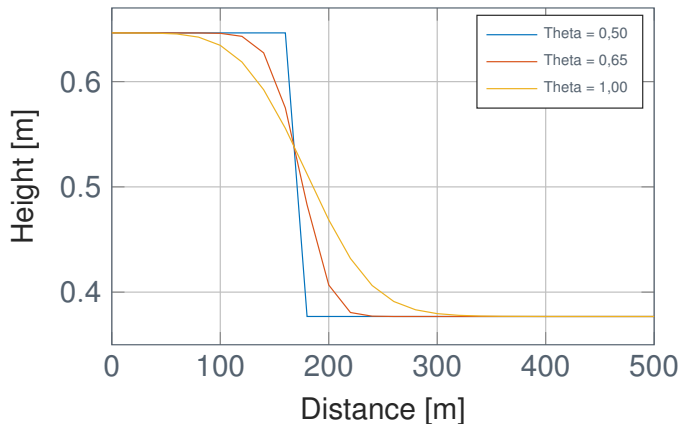
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

15

► Ubetinget
stabilitet



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Indikation af præcision

►
$$C_r = \frac{\sqrt{g \cdot \bar{H} \cdot \Delta t}}{\Delta x}$$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

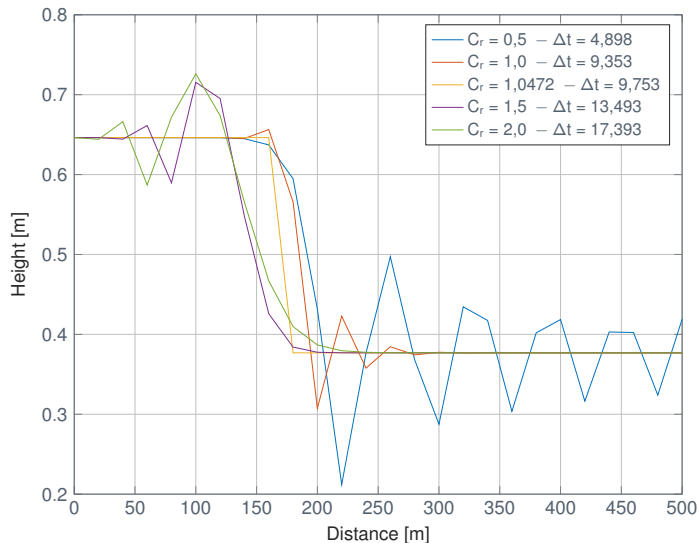
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

17



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann
Implementering

Kontrol

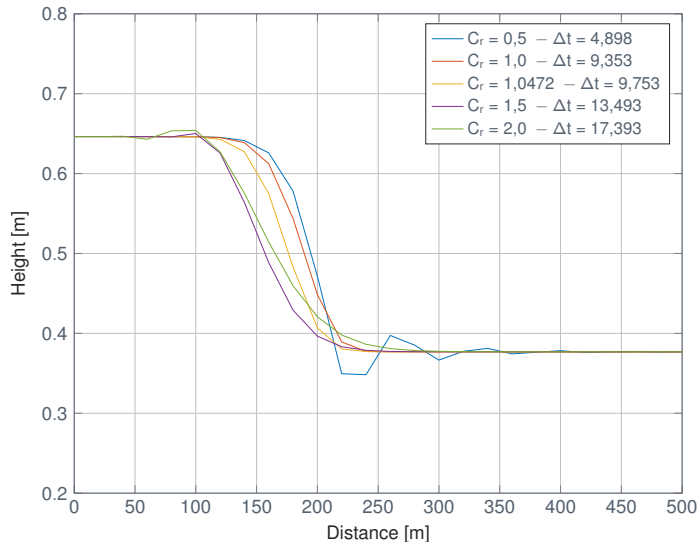
Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

18





Overview

Jacob Naundrup Pedersen

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

19

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Implementation
- Kontrol
- Resultater
- Diskussion
- Konklusion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

20

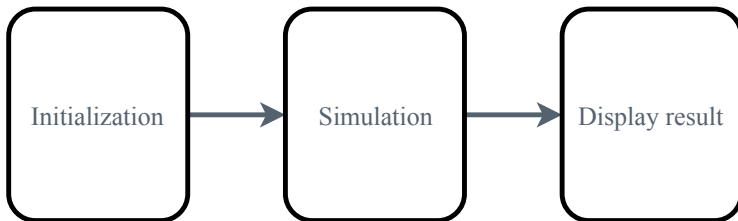
Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

1. Pipe

- ▶ længde [m]
- ▶ sektioner
- ▶ S_b (Hældning) [‰]
- ▶ $\Delta x = \text{Længde/Sektioner}$ [m]
- ▶ Diameter [m]
- ▶ Theta
- ▶ Q_f [m³/s]
- ▶ Side inflow
- ▶ Placering i data

2. Tank

- ▶ Størrelse [m³]
- ▶ Højde [m]
- ▶ Areal = Size / Height [m²]
- ▶ Maximum outflow [m³/s]
- ▶ Placering i data

21

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preisssmann

Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Rør specifikationer

Fields	length	sections	Dx	Sb	d	Theta	Qf	side_inflow	data_location
1	700	35	20	0.0030	0.9000	0.6500	0.9730	0	1
2	303	15	20.2000	0.0030	0.9000	0.6500	0.9730	0	3
3	27	2	13.5000	0.0030	1	0.6500	1.2843	1	4
4	155	8	19.3750	0.0041	1	0.6500	1.5014	0	5
5	295	14	21.0714	0.0122	0.8000	0.6500	1.4386	0	6
6	318	15	21.2000	0.0053	0.9000	0.6500	1.2932	1	8

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

23

Kontrol






Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► Tank specifikationer

Fields	 size	 height	 area	 Q_out_max	 data_location
1	90	10	9	0.9730	2
2	90	10	9	1.2932	7

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol




Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

► System specifikationer

Fields	 type	 component	 sections
1	'Pipe'	1	35
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	4	39
4	'Tank'	1	1
5	'Pipe'	14	206
6	'Total'	21	282

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

25

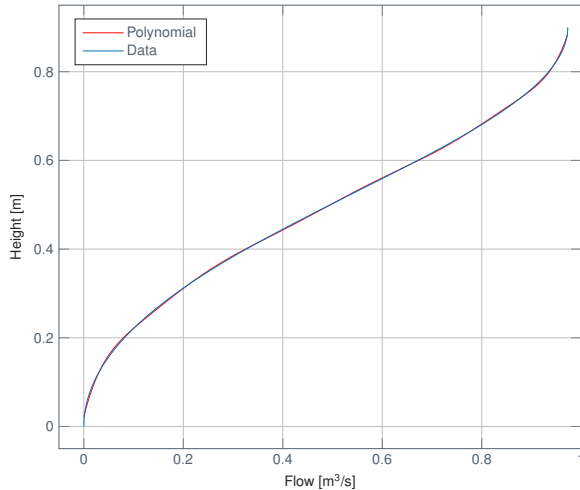
Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Implementering

Kontrol

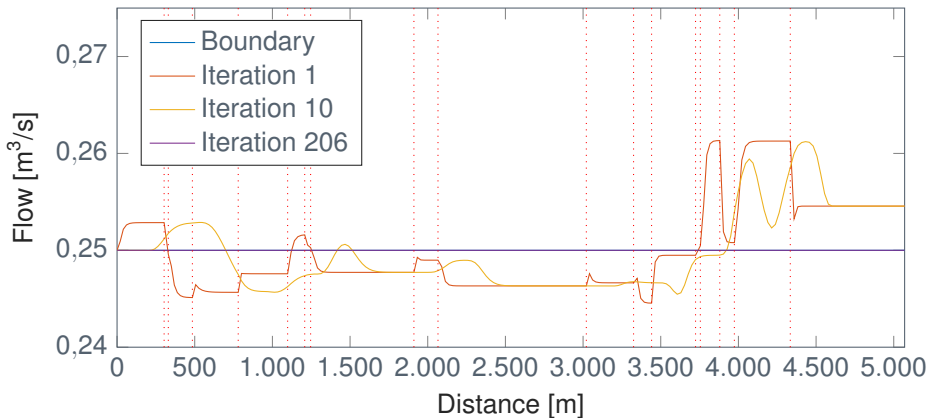
Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

26



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

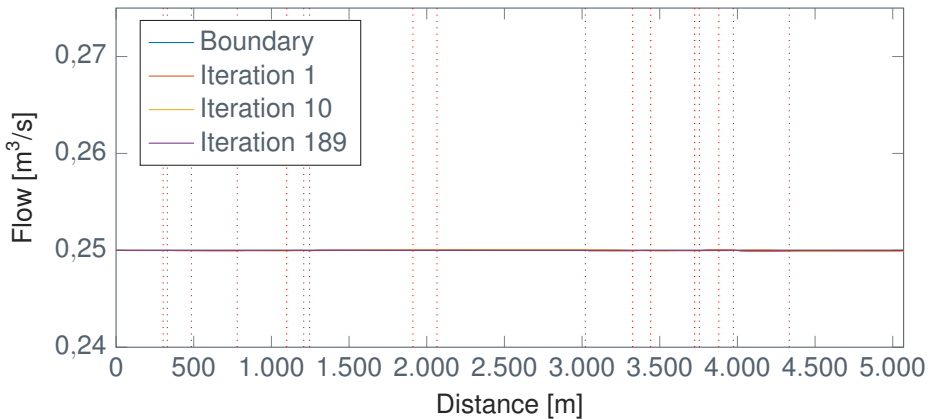
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

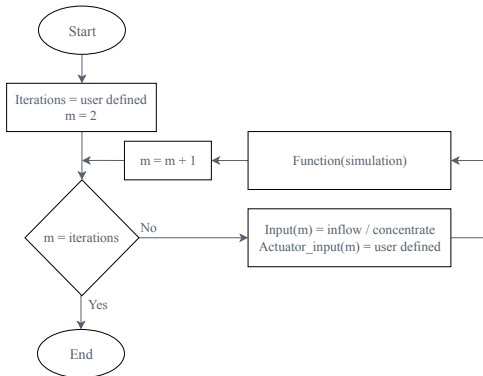
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

28

- Itererer igennem rør og tank for hvert tidsskridt



Implementering Display

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

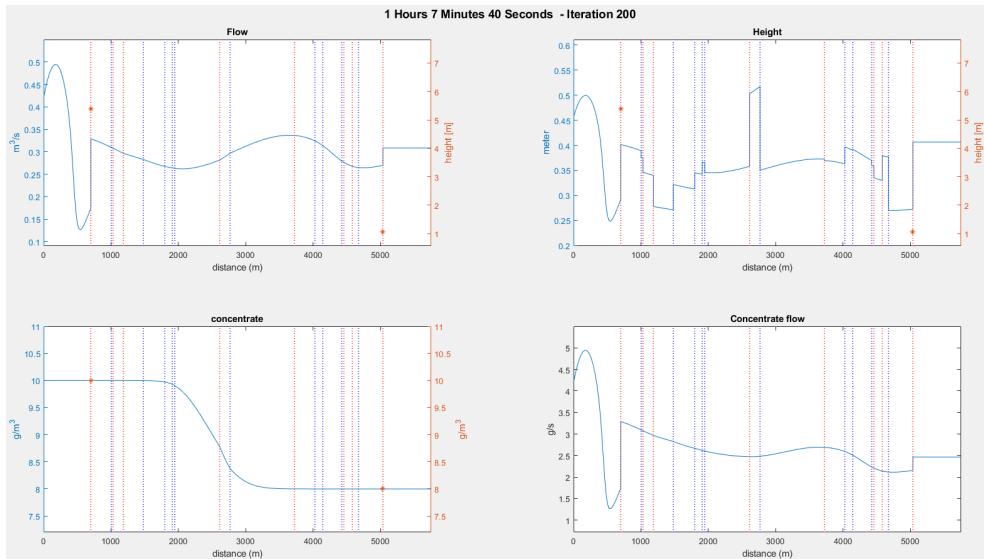
Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

29

47



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

30

► Linearisering af ulineær model

► Opstilles på state space form

$$\frac{\partial A(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial A(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(h)}{\partial h} \frac{\partial h(x, t)}{\partial x} = 0$$

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Priessmann scheme
- Opsat på matrix og vektor form

$$\begin{aligned}
 & \left[\underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_a \quad \underbrace{\frac{1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{\theta}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_b \right] \begin{bmatrix} h_j^{i+1} \\ h_{j+1}^{i+1} \end{bmatrix} = \\
 & - \left[\underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} - \frac{(1-\theta)}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_c \quad \underbrace{\frac{-1}{2\Delta t} \frac{\partial A}{\partial h} + \frac{(1-\theta)}{\Delta x} \frac{\partial Q}{\partial h}}_d \right] \begin{bmatrix} h_j^i \\ h_{j+1}^i \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Kontrol

Opsætning på state space

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & b_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_1 & b_2 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{m-1} & b_m \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ h_1^{i+1} \\ h_2^{i+1} \\ \vdots \\ h_m^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_0 & d_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_1 & d_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & c_{m-1} & d_m \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_0^i \\ h_1^i \\ h_2^i \\ \vdots \\ h_m^i \end{bmatrix}}_{x(k)} +$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ -a_0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_B h_0^{i+1} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{dh}{dQ} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_d} d_0^{i+1}$$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- e - Forøgelse af højde i tank(inflow)
- f - Reducering af højde i tank(Outflow)
- g - Inflow i efterfølgende rør

$$\underbrace{\begin{bmatrix} b_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & a_{2,1} & b_{2,2} \end{bmatrix}}_{\xi} \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^{i+1} \\ h_{tank}^{i+1} \\ h_{2,0}^{i+1} \\ h_{2,1}^{i+1} \end{bmatrix}}_{x(k+1)} \\
 = \underbrace{\begin{bmatrix} d_{1,2} & 0 & 0 & 0 \\ e & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{2,0} & d_{2,1} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} h_{1,2}^i \\ h_{tank}^i \\ h_{2,0}^i \\ h_{2,1}^i \end{bmatrix}}_{x(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -f \\ 0 & g \\ 0 & 0 \end{bmatrix}}_B \begin{bmatrix} h_0^{i+1} \\ u_{tank} \end{bmatrix}$$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Samligning af ulineær og linear model
- System setup
- Sinus input

Type	Components	Sections
Pipe	1	35
Tank	1	1
Pipe	18	227
Total	20	263

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

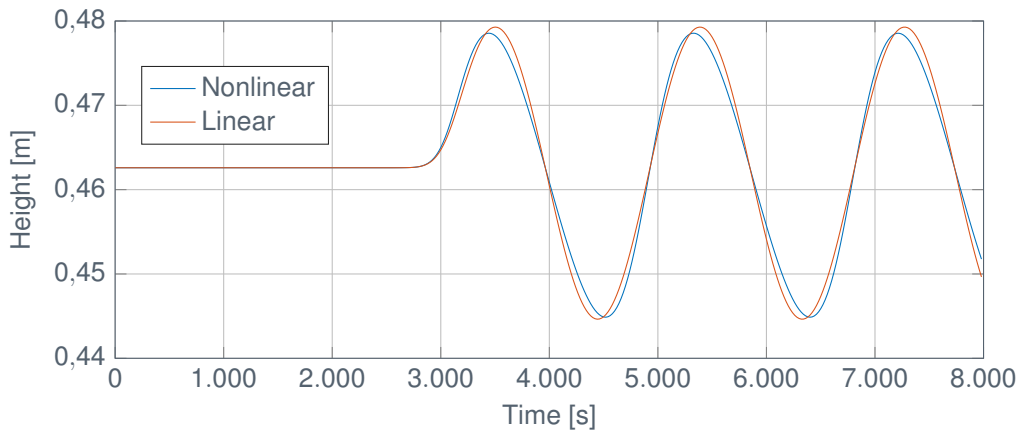
Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

35



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ Cost function
 - ▶ Afgrænset til at minimiere output variationer
- ▶ Constraints
 - ▶ Højde
 - ▶ Kontrol input
- ▶ Prediction model

36

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering




Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- ▶ Bestemmelse af Prediction horizon
 - ▶ Flow profiler
 - ▶ Industri
- ▶ Begrænsning af Prediction horizon
- ▶ System setup
- ▶ Forstyrrelses input

Fields	 type	 component	 sections
1	'Pipe'	1	5
2	'Tank'	1	1
3	'Pipe'	1	5
4	'Total'	3	11

37

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

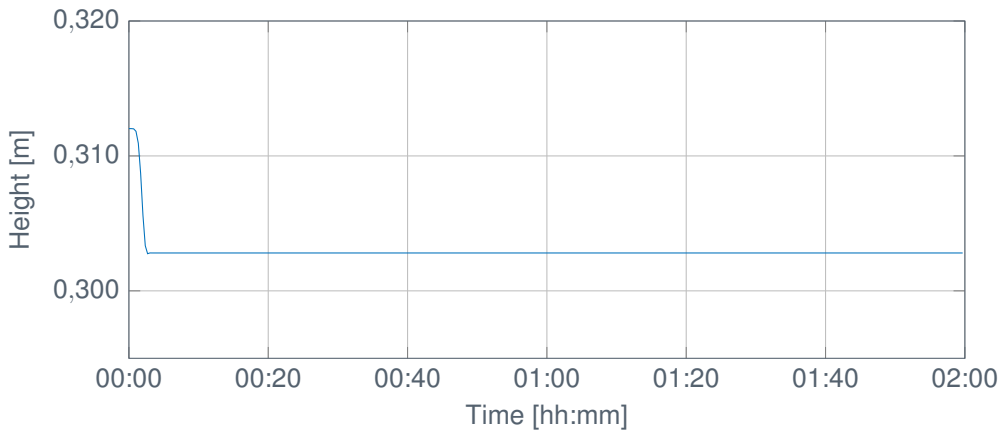
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



38

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

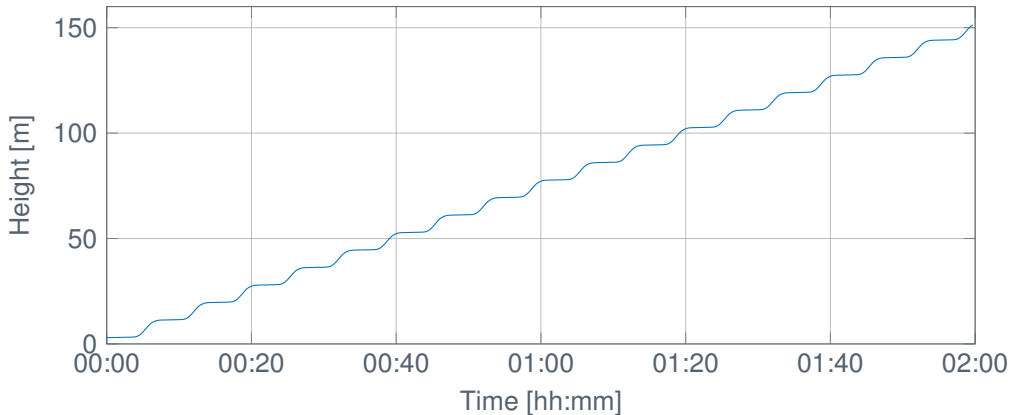
Kontrol

Linearisering

MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



39

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

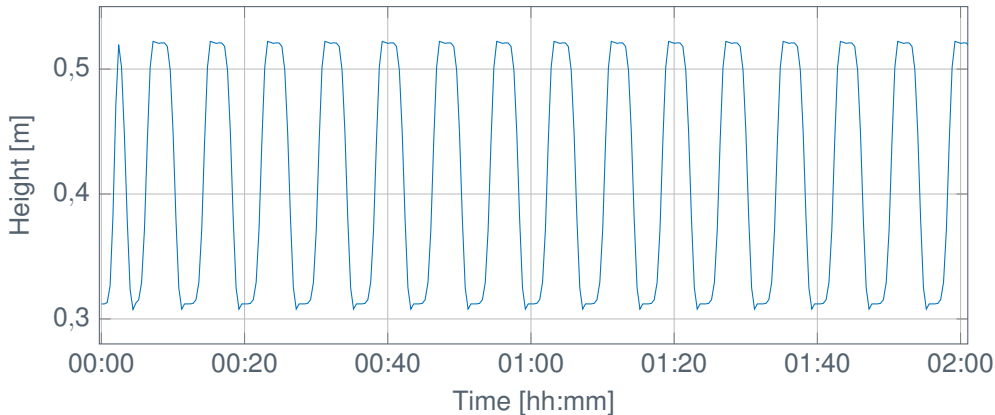
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



40

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- System setup, efterligning af Fredericia
- Flow profiler

Type	Component	Sections
Pipe	1	35
Tank	1	1
Pipe	17	207
Tank	1	1
Pipe	1	38
Total	21	282

41

47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

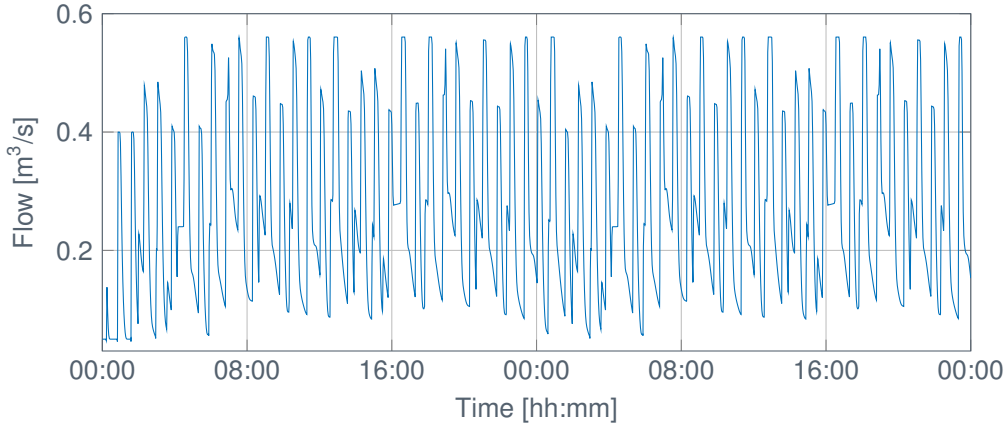
Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



42

47

Resultat

Første test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

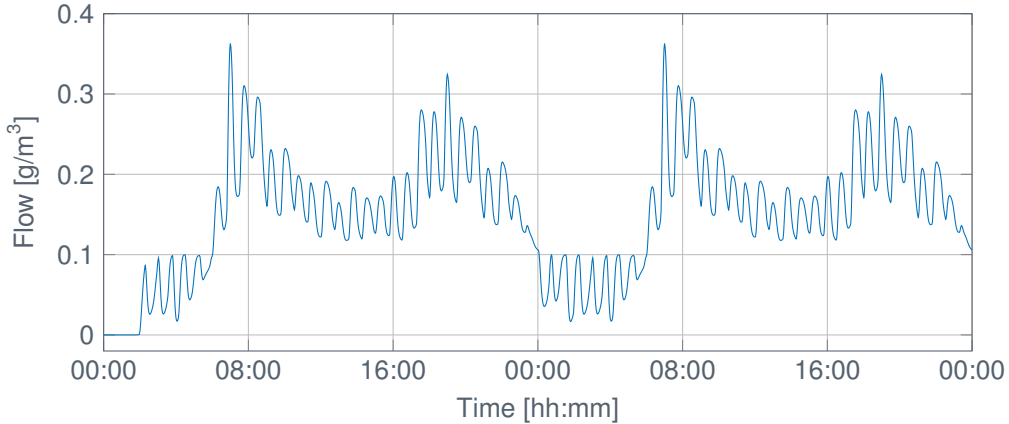
Struktur
Preisemann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion



43

47



Resultat

Anden test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

- Over dimensioneret tank
- Konstant output af tank

44

47

Resultat

Anden test

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

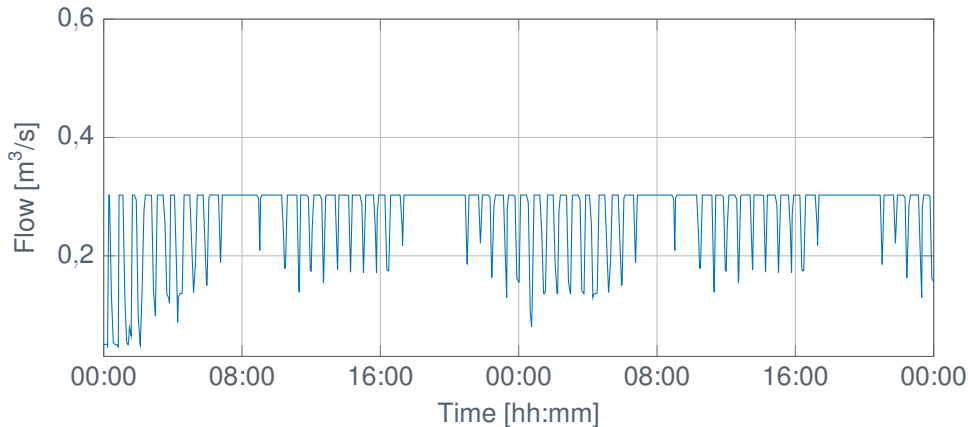
Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

45



47

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

46

- ▶ Courant's tal
- ▶ Model reduction
- ▶ Wastewater of Aerobic/Anaerobic Transformations in Sewers (WATS)

47



Konklusion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann
Implementering

Kontrol

Linearisering
MPC

Resultat

Diskussion/Konklusion

47

- ▶ Simulering
- ▶ MPC

47