

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

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

Introduktion

Kloakker og rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

Typisk opbygning af kloak ledning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

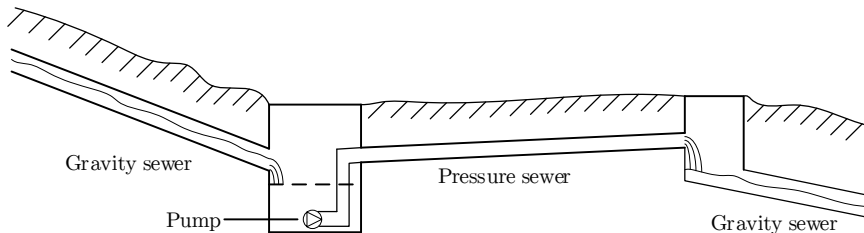
Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

2





Tilstande i kloakken

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Results

3

► Aerob $\rightarrow O_2 \rightarrow H_2O$

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

3



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

3

- ▶ Aerob $\rightarrow O_2 \rightarrow H_2O$
- ▶ Anaerob $\rightarrow SO_4^{-2} \rightarrow H_2S$
- ▶ Anoxisk $\rightarrow NO_3^- \rightarrow N_2$



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

4

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



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

4

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



Udfordringer ved spildevands rensning

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

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 generelt

Problem formulering

5

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

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 generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

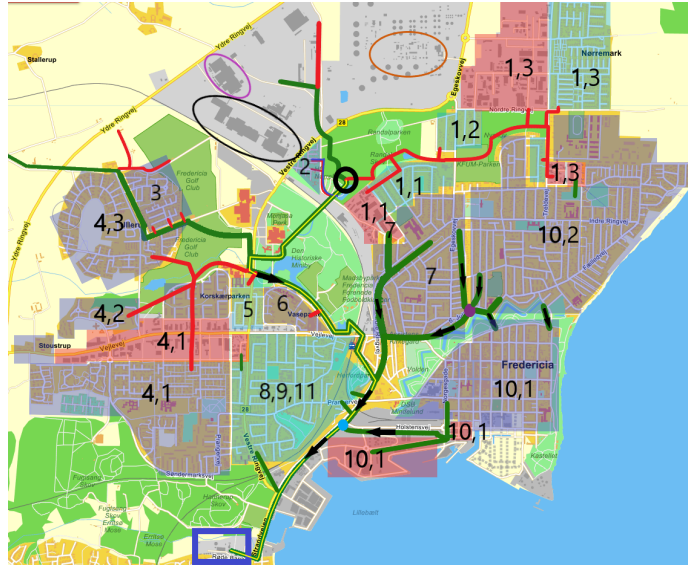
Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

6



18



Udgangspunkt i et virkeligt setup

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

7

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



Valg

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

8

► Indsættelse af tank.

18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

8

- ▶ Indsættelse af tank.
- ▶ Afgrænse simulering til enkelt kemisk component.

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

8

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



4 modeller

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

9

- ▶ Kloak ledning.
- ▶ Transport af koncentrat i kloak ledning.
- ▶ Sammenkobling af kloakledninger.
- ▶ Tank.

18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

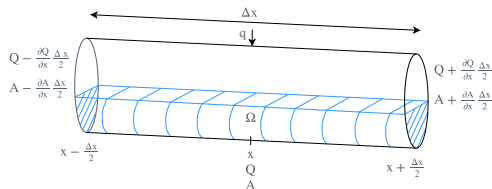
Simulering

Struktur
Preissmann

Results

10

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



18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

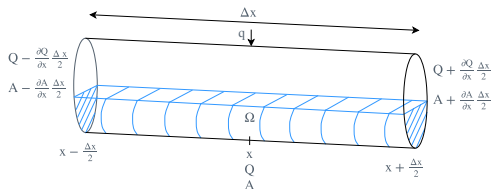
Struktur
Preissmann

Results

10

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

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



18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

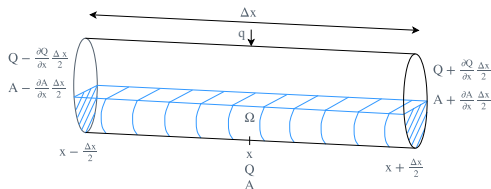
Results

10

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

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

- Approksimationer af momentum ligningen.



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

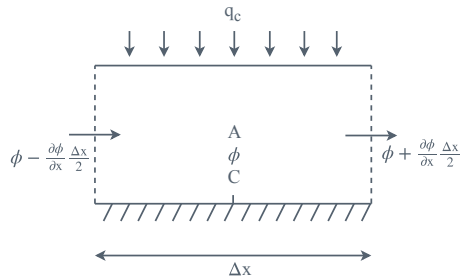
Simulering

Struktur
Preissmann

Results

11

$$\blacktriangleright A \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + Q \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$



18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

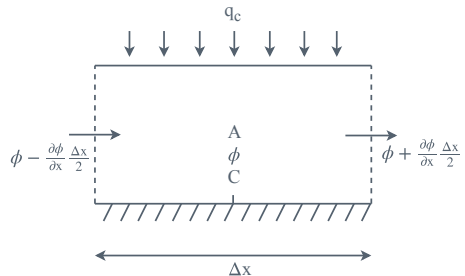
Struktur
Preissmann

Results

11

$$\blacktriangleright A \cdot \frac{\partial C}{\partial t} + Q \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

\blacktriangleright Afhænger af kendt A og Q .



Sammenkobling af kloak ledninger

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

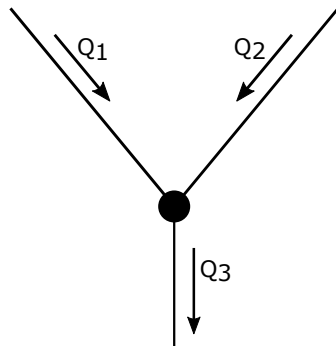
12

$$\blacktriangleright Q_3 = Q_1 + Q_2$$

Simulering

Struktur
Preissmann

Results



Sammenkobling af kloak ledninger

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

12

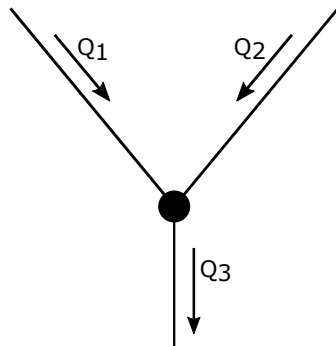
Simulering

Struktur
Preissmann

Results

$$\blacktriangleright Q_3 = Q_1 + Q_2$$

$$\blacktriangleright C_3 = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_1 + Q_2}$$



Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

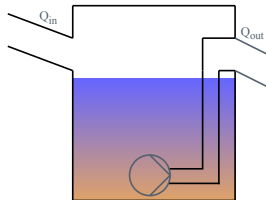
Simulering

Struktur
Preissmann

Results

13

$$\blacktriangleright \frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{in}(t) - u(t) \cdot \bar{Q})$$



18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

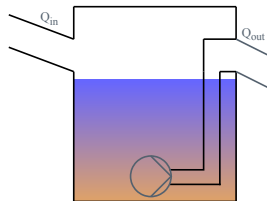
Struktur
Preissmann

Results

13

$$\blacktriangleright \frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{A} \left(Q_{in}(t) - u(t) \cdot \bar{Q} \right)$$

$$\blacktriangleright \frac{dC_{tank}(t)}{dt} = \frac{1}{A} \left(C_{in}(t) \cdot \frac{Q_{in}(t)}{h(t)} - C_{tank}(t) \cdot \frac{Q_{out}(t)}{h(t)} \right)$$



18



Tre dele

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt

Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur

Preissmann

Results

14

- **Intialisering**
- Opsætning af komponenter.

18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

14

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.

18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

14

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**

18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

14

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**
- ▶ Iterativ beregning af komponenterne

18

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

14

- ▶ **Intialisering**
- ▶ Opsætning af komponenter.
- ▶ System i steady state.
- ▶ **Simulering**
- ▶ Iterativ beregning af komponenterne
- ▶ **Gennemgang af resultat**

18

Playback funktion

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

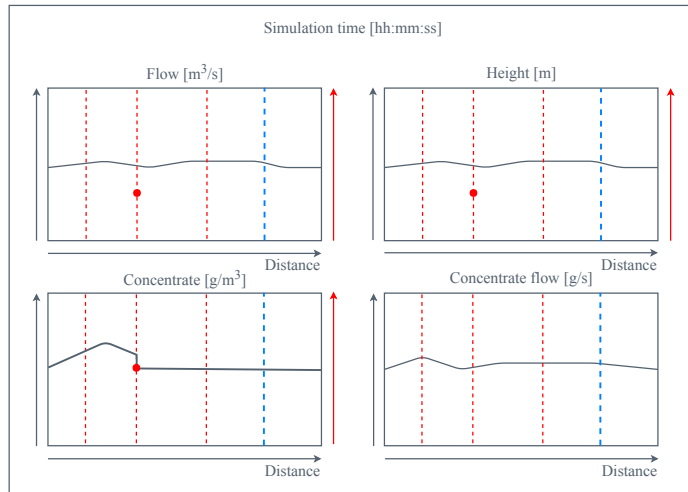
Simulering

Struktur

Preissmann

Results

15



18

Preissmann basic

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

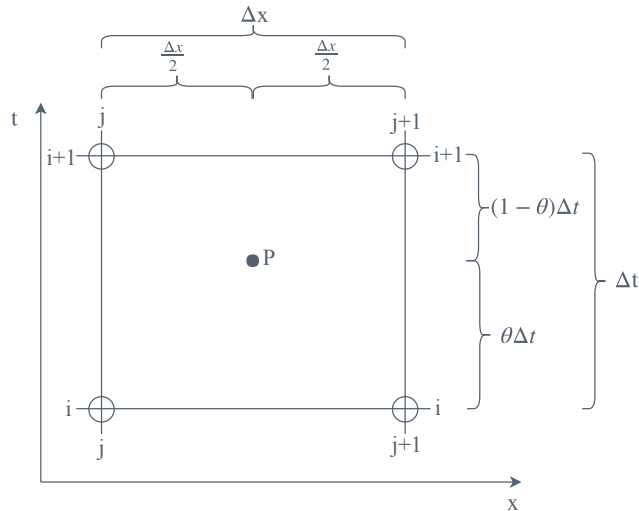
Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

16



18

Preissmann iteration

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

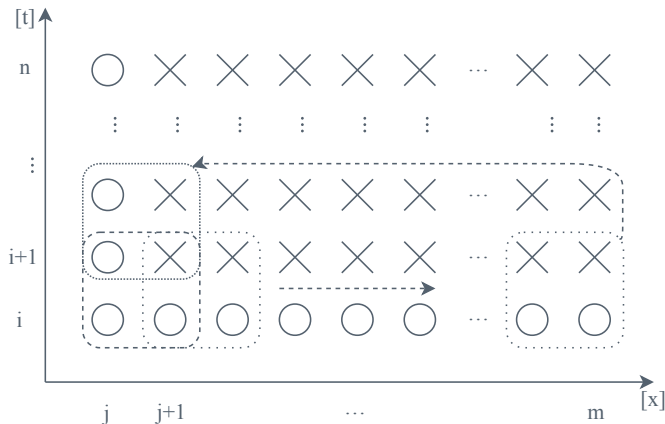
Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

17



18



Overview

Jacob Naundrup Pedersen

Agenda

Group 1030

Introduktion

Kloakker og
rensningsanlæg generelt
Problem formulering

System beskrivelse

Løsninger og
begrænsninger

Modellering

Simulering

Struktur
Preissmann

Results

- Implementation
- Control
- Results
- Discussion/Conclusion

18

18