



# Case: Fremtidens indeklimestyring i komplekse kontorbygninger

Prædiktiv teknologi  
møder brugeradfærd

Andreas Egholm Nielsen

Teknologisk Institut



**Andreas Egholm Nielsen**

Projektledelse

Energieeffektivisering & Ventilation

[andn@teknologisk.dk](mailto:andn@teknologisk.dk)

# Agenda

- Introduktion og baggrund
- Den komplekse virkelighed – Opgradering af eksisterende systemer
- Hvordan bliver man "Smart Ready"?
- Brugerinddragelse som værktøj
- Den smarte prædiktive styring – projektets kerne
- Projektets resultater og konklusioner
- Fremtidige anbefalinger og brugeren som bygningssensor

# Introduktion og baggrund



## FORMÅL

Udvikle og demonstrere en selv-lærende prædiktiv CTS-styring, der kan levere det bedste mulige indeklima, samtidig med at optimere energiforbruget.

# Smart Ready Building Control

## Fremtidens ventilationsstyring

### FORMÅL

- Automatisere energioptimering
- Forbedre indeklima gennem intelligent styring
- Demonstrere værdien af brugerinddragelse
- Samle erfaringer til fremtidig implementering af Prædiktiv styring

### BYGNING

- Demonstrationsprojekt i IDA's hovedkontor på Kalvebod Brygge
- 200 medarbejdere påvirket dagligt
- Komplex bygning med både kontorer og mødelokaler
- Historiske udfordringer med indeklima, særligt temperatur

### PARTNERE

- Teknologisk Institut
- Neogrid Technologies
- Pro Bygningsautomatik
- IDA

# Hvorfor smarte bygninger?

## Fremtidens udfordringer

### ENERGIFORBRUG

Bygninger står for 40% af vores energiforbrug

Stigende energipriser (2022)

Krav til CO<sub>2</sub>-udledning

### BRUGERBEHOV

Forskellige krav til indeklima

Variierende belastning over dagen

Behov for fleksible løsninger

Autonomi

### TEKNOLOGI

Integrering af nye komponenter

Stigende krav om dokumentation

Opgradering af eksisterende systemer

### SMART STYRING

Forudse behov baseret på data

Tilpasse sig brugeradfærd

Optimere energiforbrug

Dokumentere resultater

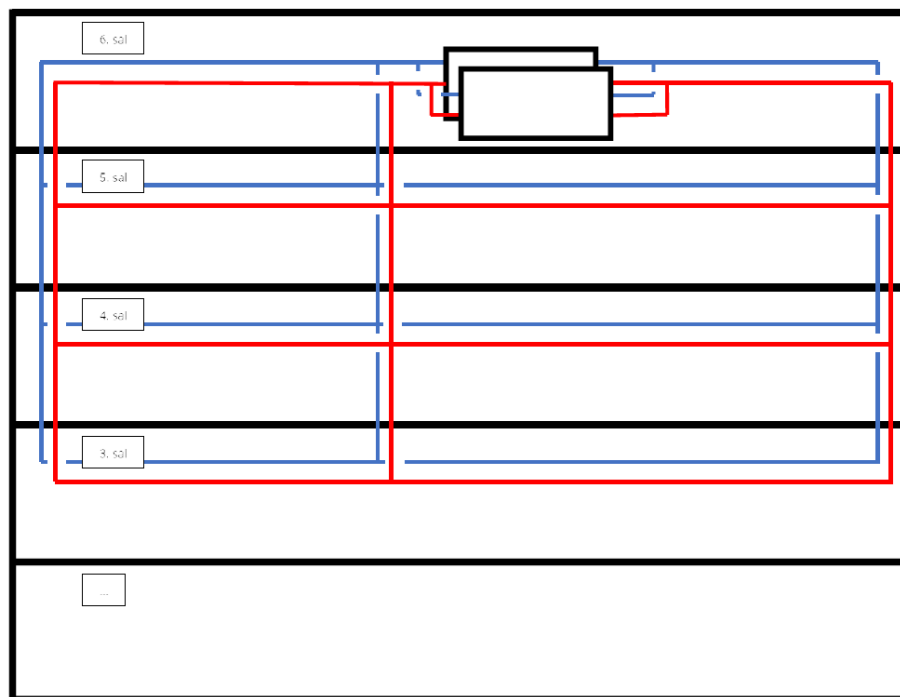
Den komplekse virkelighed -  
Opgradering af eksisterende systemer



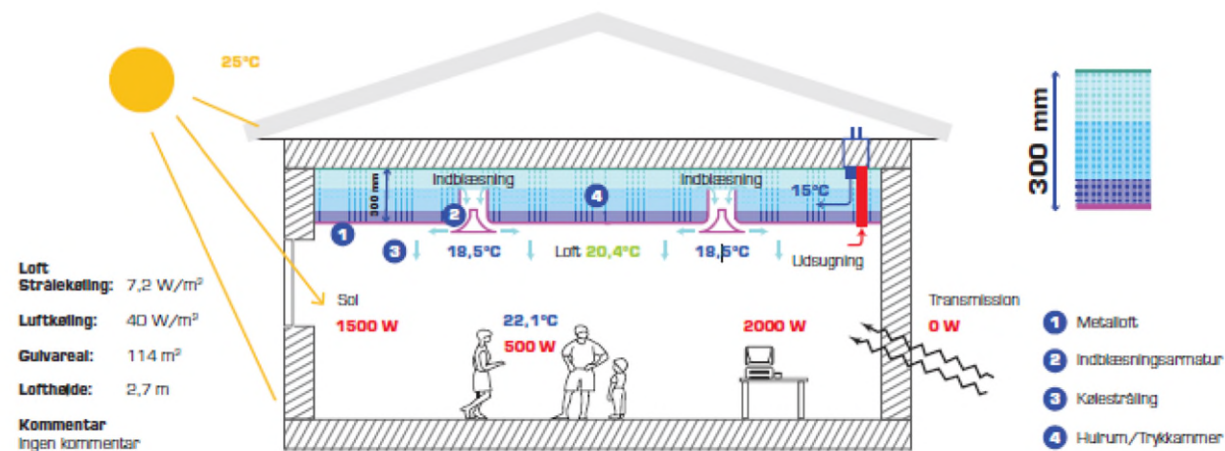
# Opgradering af eksisterende systemer

## En kompleks opgave

### RING-SYSTEM



### COOL CEILING



# Opgradering af eksisterende systemer

## En kompleks opgave



### VENTILATION

Støjgener (flere afarter)

Luftfordeling

Indregulering

Dokumentation



### BRUGERE

Koordinering med 200 brugere

Balancering mellem bruger og drift

Udsatte pladser

Vaner ifm. vinduesåbning og solafskærmning

### CTS

Integration med eksisterende systemer

Konfigurering af zoner

Energimålere

Kalibrering af sensorer

Begrænsninger i ældre systemer



### SOLAFSKÆRMNING

Ældre system

Opgradering til integration med CTS



# Opgradering af eksisterende systemer

En kompleks opgave

## UDFORDRINGER



Udfordringer i systemer viser sig under implementering

Uventede begrænsninger ved integrering

Hvordan bliver man  
"Smart Ready"?

# Hvad er "Smart Ready"?

## Infrastruktur

Målere og sensorer

Styring og regulering

Kommunikation

Integration

## Teknik

Ventilation

Varme og køling

Solafskærmning

Belysning

**SMART  
READY**

## Brugere

"Uddannelse"

Retningslinjer

Forståelse

Inddragelse

## Dokumentation

Systemtegninger

Funktionsoversigt

Tegningsmateriale



# Tjekliste til "Smart Ready" systemer

## Målere og sensorer

---

- Energimålere på anlæg
- Bimålere på betydelige forbrugere
- Temperatur- og CO2-sensorer i alle zoner
- Korrekt placering af zone sensorer
- Kalibrering af zone sensorer
- Målere på frem/retur
- Evt. dagslyssensor (solafskærmning)
- Udetemperatur
- Vejrdata (API)
- Indblæsnings-/udsugningstemperatur
- Trykmålere på anlæg/system

## Styring og regulering

---

- Regulerbare ventiler og spjæld m. flowmåling
- Frekvensomformere på ventilatorer
- Varmegenvinding
- Regulerbare pumper
- Regulerbare blandesløjfer
- Solafskærmning (åben)

## Dokumentation

---

- Systemtegninger
- Komponentlister
- Kalibreringscertifikater

## Kommunikation/data

---

- BACnet, Modbus eller tilsvarende
- Trådløs/trådet kommunikation (husk plads)
- Fejldetektering
- Datakvalitet
- Fall-back-strategy
- Central brugerflade (CTS)
- Manuel overskrivning

## Organisation

---

- Uddannet driftspersonale
- Systemvejledning
- Brugerinddragelsesplan
- Support-system (feedback)

# Brugerinddragelse som værktøj

# Sådan fik vi brugerne med



## **INFORMATION**

---

Løbende nyhedsbreve

Informationsmøder

Digital skiltning

FAQ-database



## **UDDANNELSE**

---

Workshops for nøglebrugere

Vejledninger og guides

Video-tutorials

Hands-on demonstrationer



## **FEEDBACK**

---

Regelmæssige brugerundersøgelser

Opfølgningsmøder

Indberetninger

Dokumentation af forbedringer



# Brugerne som datapunkter

## 411 indberetninger fortæller



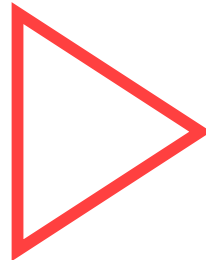
### INDBERETNING

#### QR-koder ved:

- Sensorer
- Kontorpladser

Kort og simpel formular

Dato og tidspunkt



### INDBLIK

Placering


Tidspunkt

Problem

Virkning af projektet

### Indeklimaindberetning

Dato \* 

Tidspunkt \* 

sal \* Du skal udfylde

Lokation f.eks. rum nr. \*

Beskriv problemet og check relevant  \*

Temperatur

Luftkvalitet

Støj

Belysning

**SEND**

**ANULLER**

Upload billede (valgfrit)

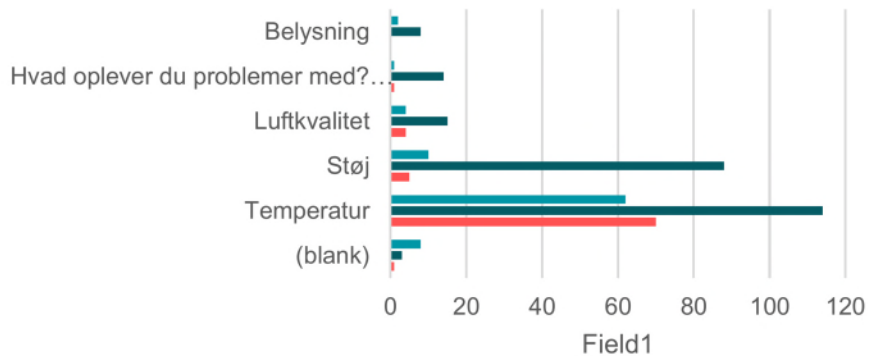
Vælg fil Der er ingen fil valgt

# Brugerne som datapunkter

## 411 indberetninger fortæller

### INDBLIK

Hvad oplever du problemer med?



■ 3. sal ■ 4. sal ■ 5. sal



# Brugerne som datapunkter

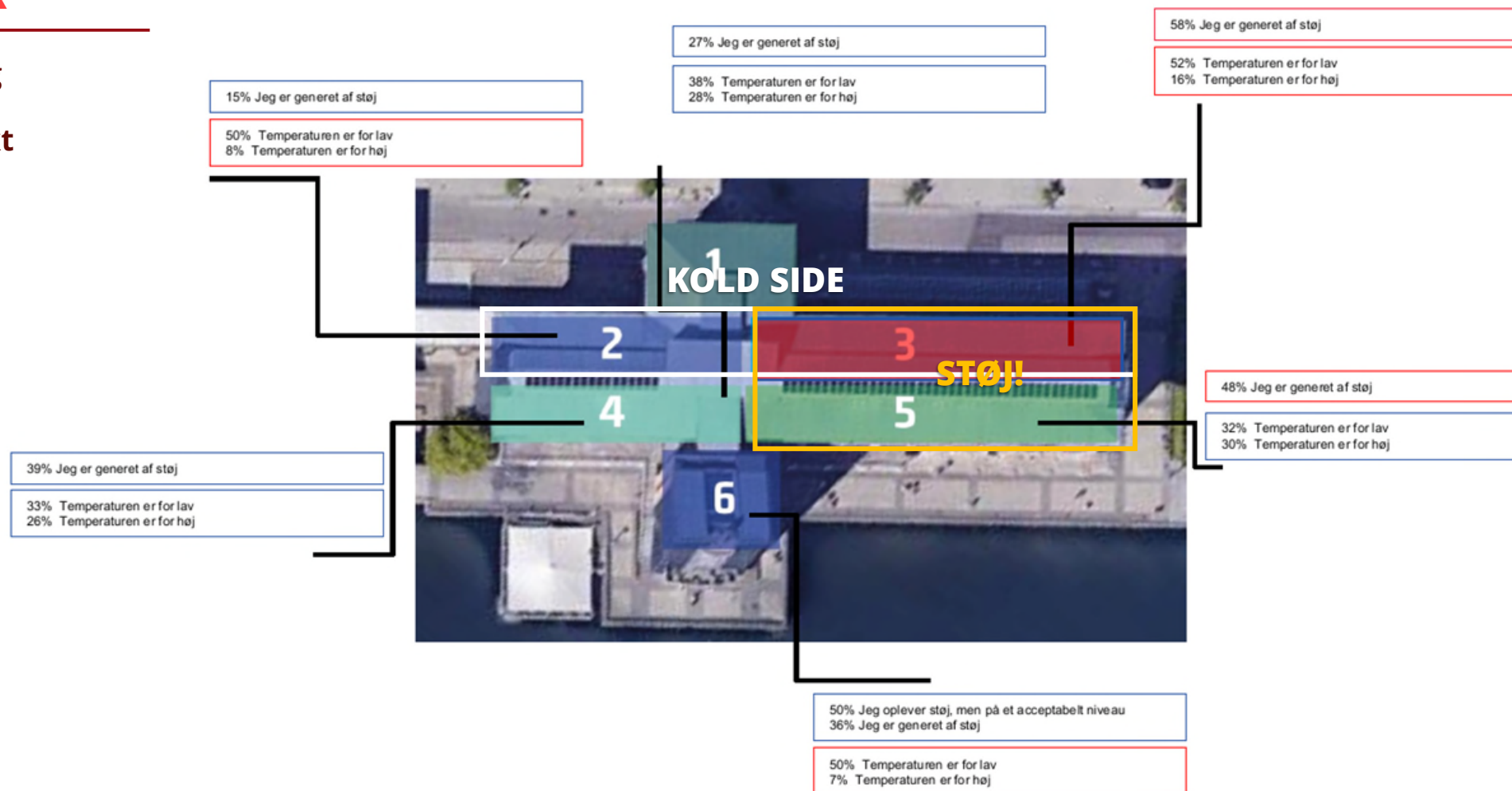
## 411 indberetninger fortæller

### INDBLIK

Placering

Tidspunkt

Problem



## DATAINDSAMLING

QR-Brugerindberetning

Interview

Driftspersonalets observationer

Sensordata

Energidata

## ANALYSE

Identifikation af mønstre

Udsatte zoner

Teknisk fejlfinding

Prioritering af indsatser

## FORBEDRINGER

### Ventilation

- Optimering af indblæsningstemperatur
- Justering af spjældregulering (støj)
- Balancering af luftmængder
- Justering af driftstider

### Solafskærmning

- Forbedret solafskærmningsstrategi

### Brugeruddannelse (information)

- Forståelse for solafskærmning
- Forståelse for vinduesåbning
- Forståelse for systemet og styring

## RESULTATER

### Temperaturklager

**65%** reduktion

### Støjklager

**80%** reduktion

### Udluftning hver dag

56% til **13%**

### Brugerne

Bedre forståelse for systemet

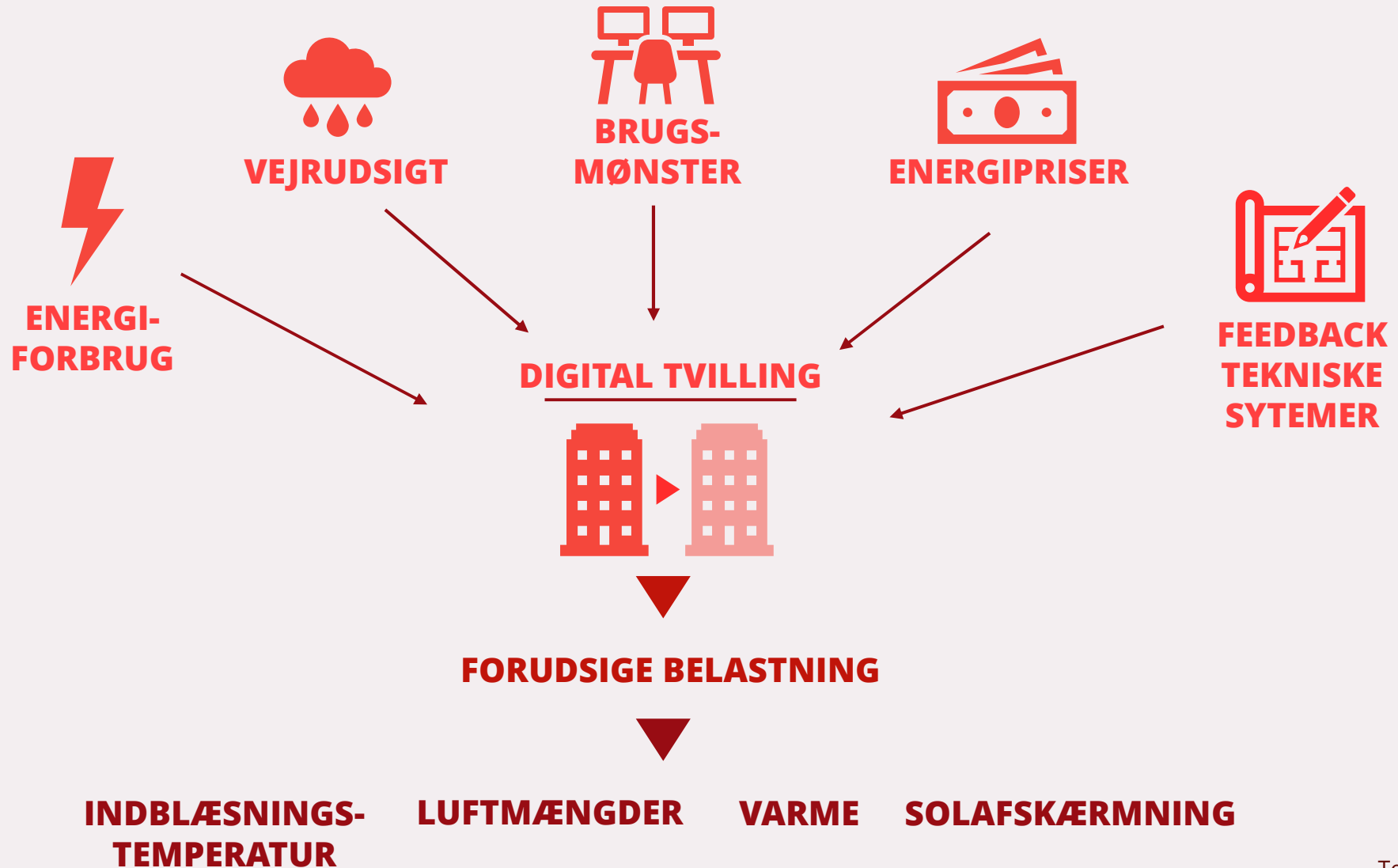
Færre klager over systemet

**1,3 pr. dag til 0,5 pr. dag**

**OG MEGET MERE!**

# Den smarte prædiktive styring - Projektets kerne

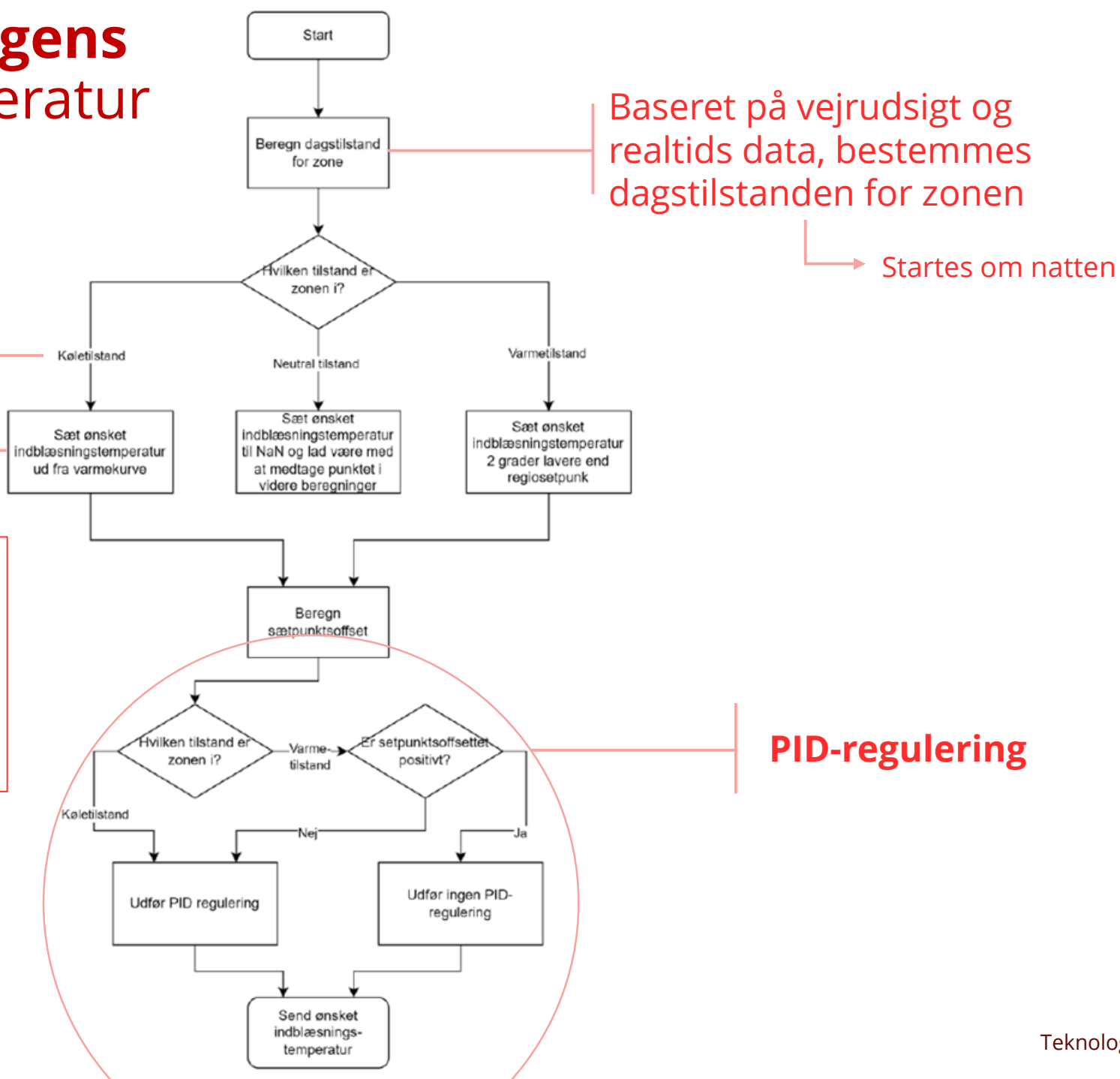
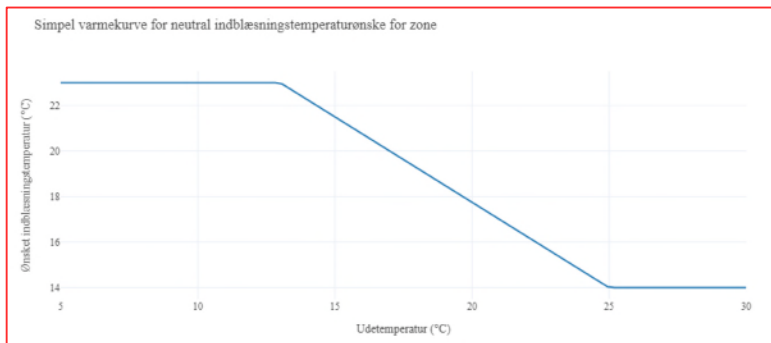
# Prædiktiv styring



# Styringens intelligens

## Indblæsningstemperatur

**Dagstilstande:**  
Køle, varme el. neutral



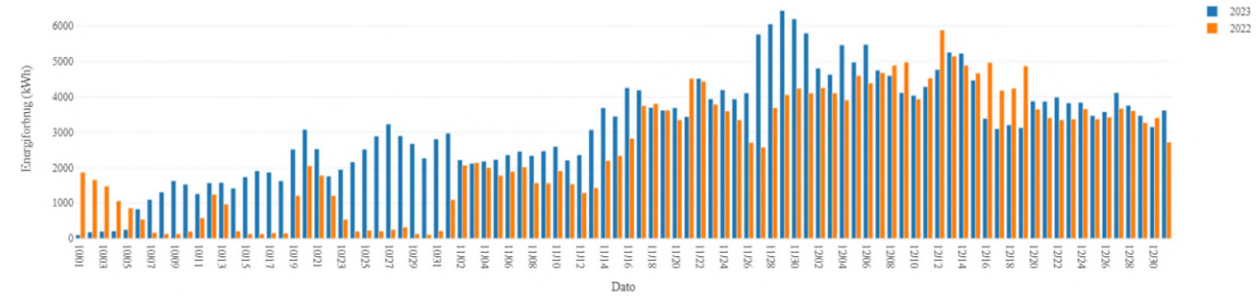
# Projektets resultater og konklusioner



# Energiforbrug "Besparelser"

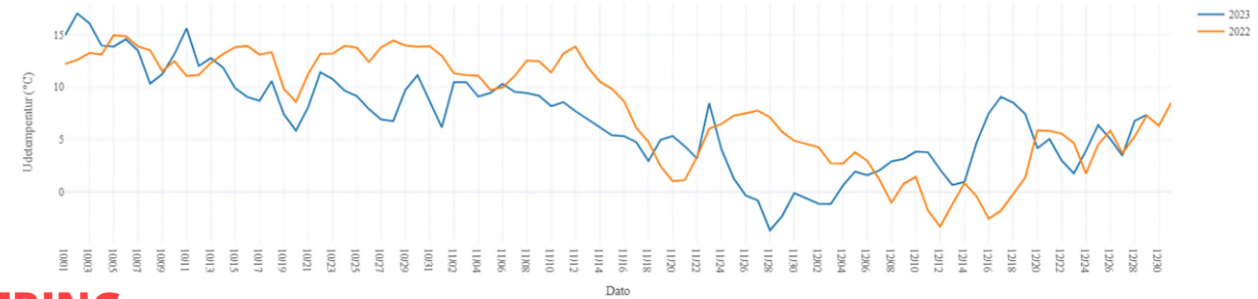
## RÅ DATA 2020 / 2023

Højere energiforbrug  
efter **SMART STYRING...**



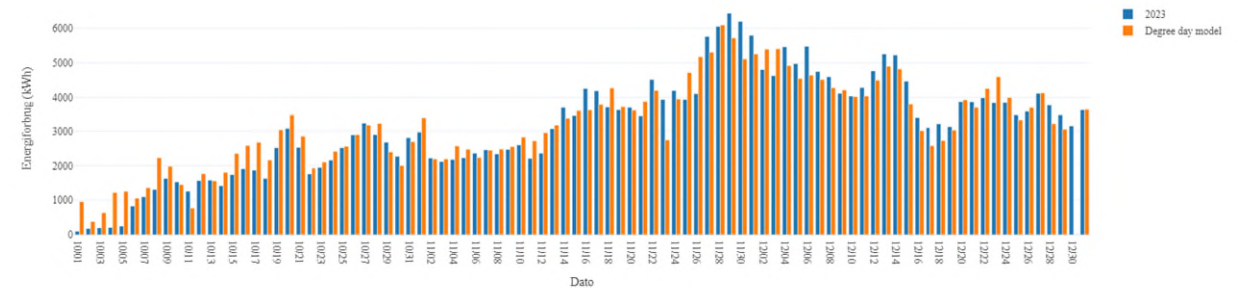
## UDE TEMPERATUR

Rå data skal korrigeres  
for udetemperatur



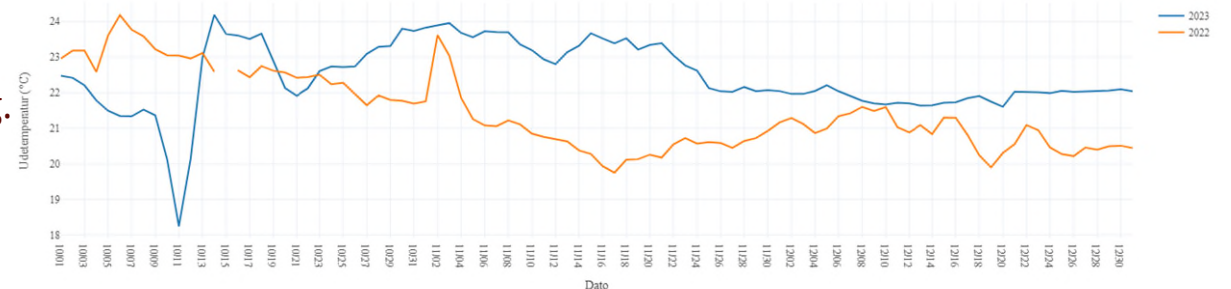
## FORBRUG EFTER KORRIGERING

13,5 % højere forbrug  
efter **SMART STYRING...**



## INDE TEMPERATUR

Markant lavere inde temperatur  
pga. Energistyrelsens anbefaling.



# Konklusioner



## SMART READY

- Kræver et næsten fejlfrit system
- Gennemgang af eksisterende system
- Opgradering af eksisterende system
- Klare krav forud for SMART STYRING



## BRUGERE

- Kræver grundig kommunikation
- Inddragelse i opgradering
- Inkludér tidligt
- Vigtig viden og feedback
- Autonomy
- Markant bedre brugeradfærd
- Markant bedre brugeraccept



## ENERGI & INDEKLIMA

- Ingen energibesparelser i demonstrationsperioden
- Markant forbedret indeklima
- **29%** oplever nu ingen gener ifm. indeklimaet (5% før)
- **65%** færre klager ifm. temperatur
- **80%** færre klager ifm. støj

Anbefalinger og brugeren som  
bygningssensor

# Fremtidens smarte bygninger

## Vores anbefalinger

### SMART READY

Det tager lang tid, at sikre sig, at det eksisterende system er SMART READY!

Mange system forbedringer kan hentes fra en grundig gennemgang af systemet.

#### Infrastruktur

Målere og sensorer  
Styring og regulering  
Kommunikation  
Integration

#### Teknik

Ventilation  
Varme og køling  
Solafskærmning  
Belysning

**SMART  
READY**

#### Brugere

"Uddannelse"  
Retningslinjer  
Forståelse  
Inddragelse

#### Dokumentation

Systemtegninger  
Funktionsoversigt  
Tegningsmateriale

### BRUGERE

#### INFORMATION

Løbende nyhedsbreve  
Informationsmøder  
Digital skiltning  
FAQ-database

#### UDDANNELSE

Workshops for nøglebrugere  
Vejledninger og guides  
Video-tutorials  
Hands-on demonstrationer

#### FEEDBACK

Regelmæssige brugerundersøgelser  
Opfølgingsmøder  
Indberetninger  
Dokumentation af forbedringer

### FREMTIDSSIKRING

#### SKALERBARHED

Modulær opbygning  
Åbne protokoller  
Åbne systemer

# Spørgsmål?

Andreas Egholm Nielsen

Teknologisk Institut

ANDN@teknologisk.dk

# Teknologi for en bedre fremtid