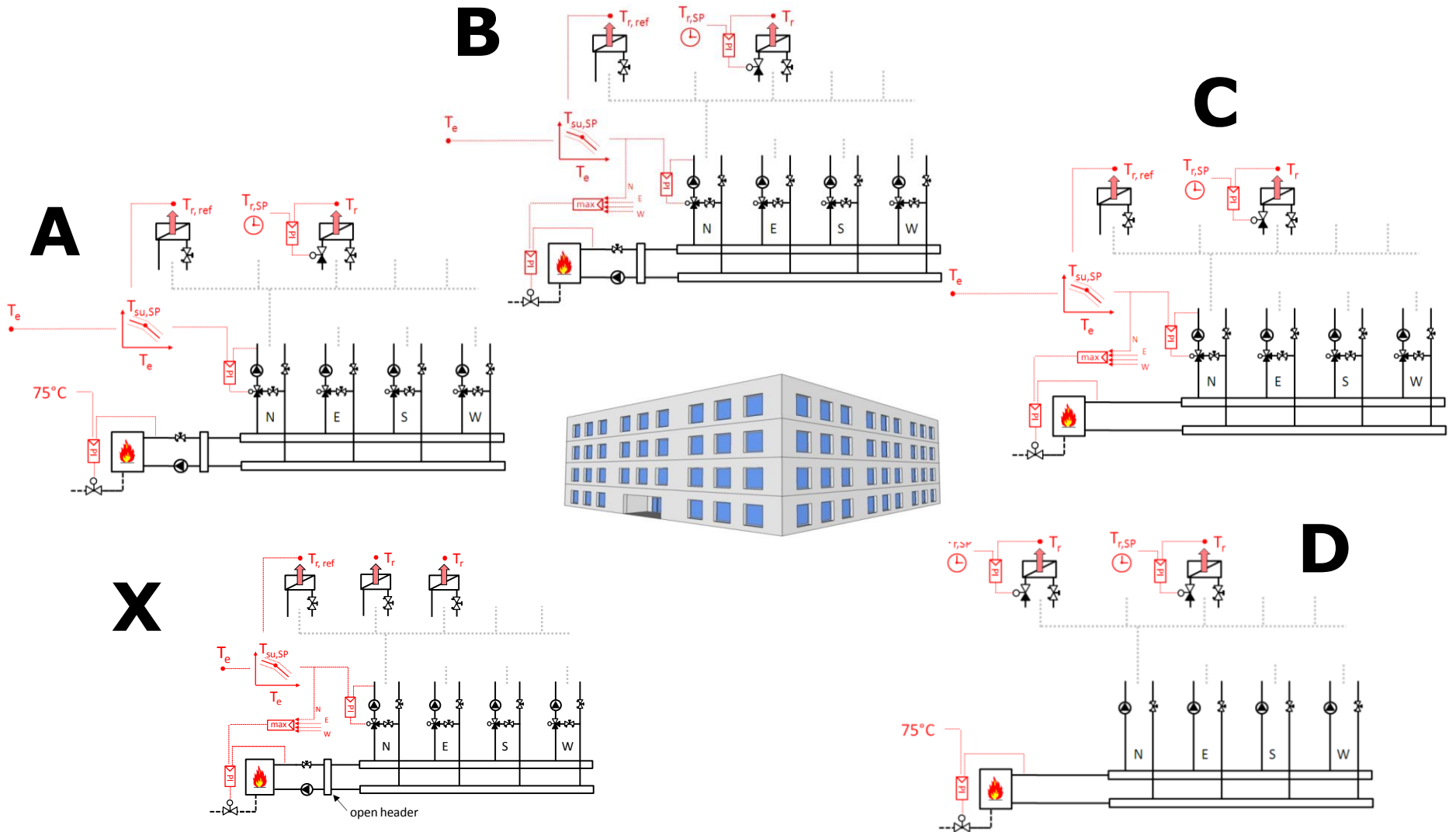


Van constant naar variabel debiet.

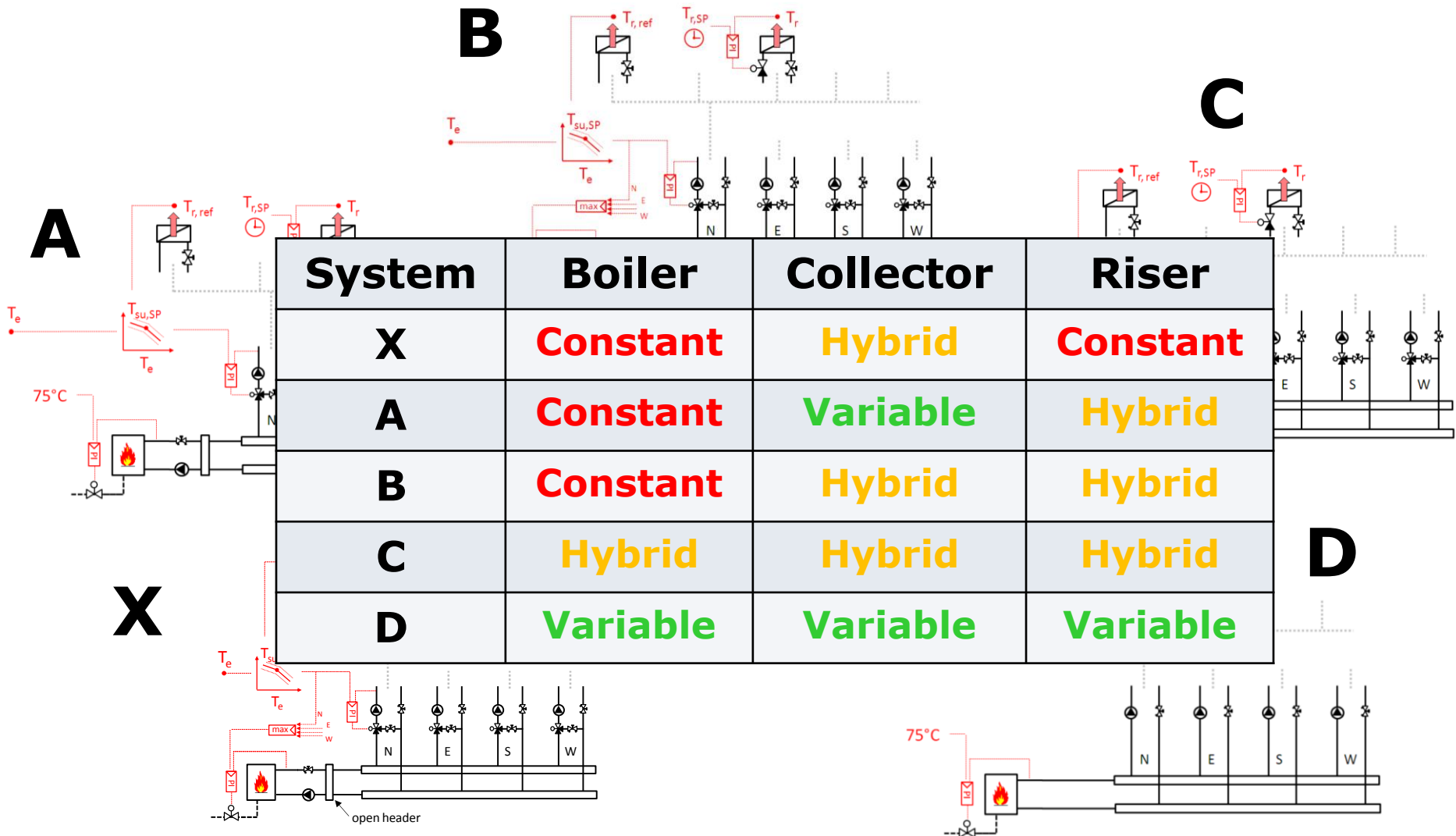
-Resultaten doctoraatstudie -

Dr. Ing. Roel Vandenbulcke

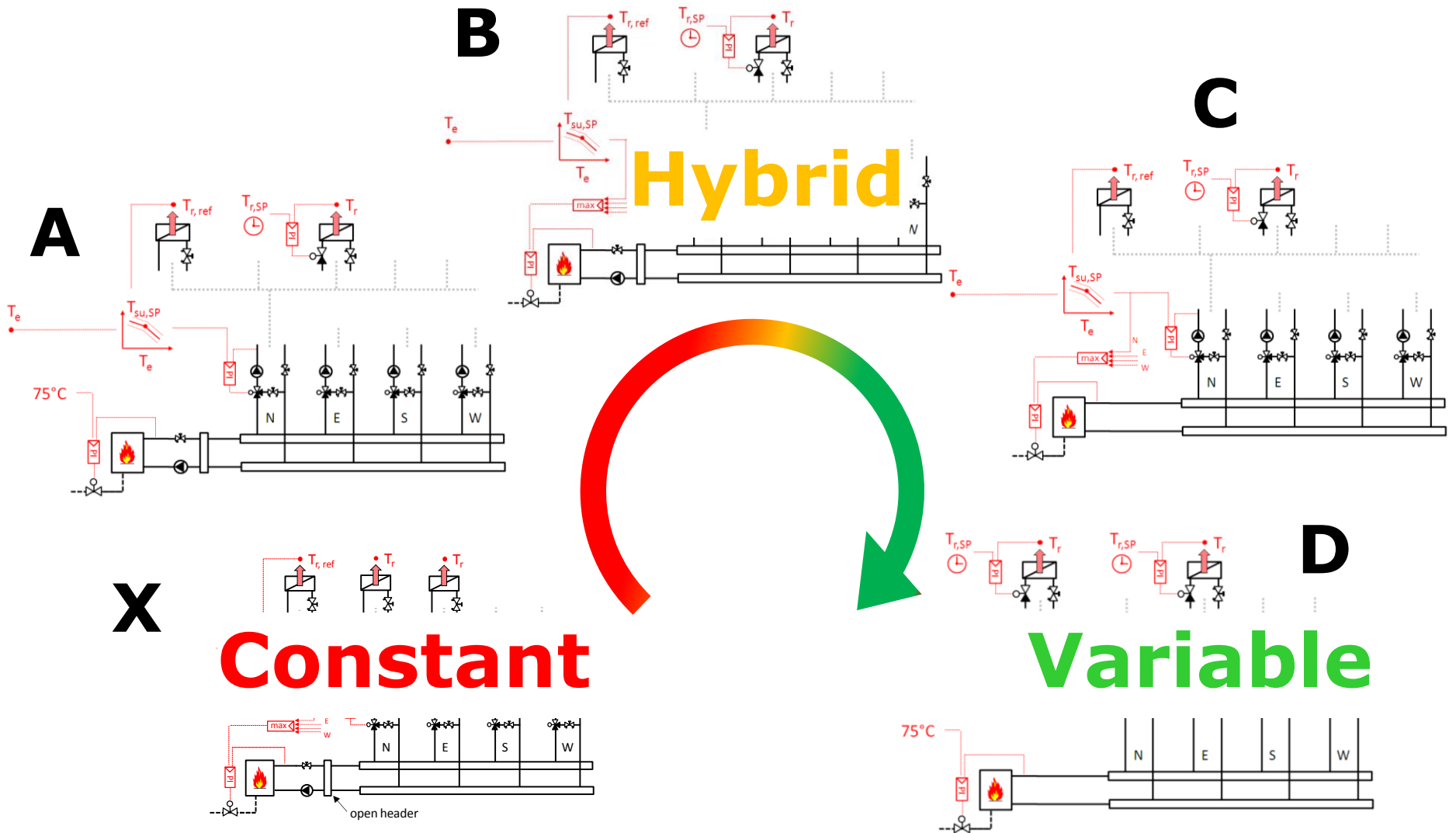
1. Van constant naar variabel debiet



1. Van constant naar variabel debiet

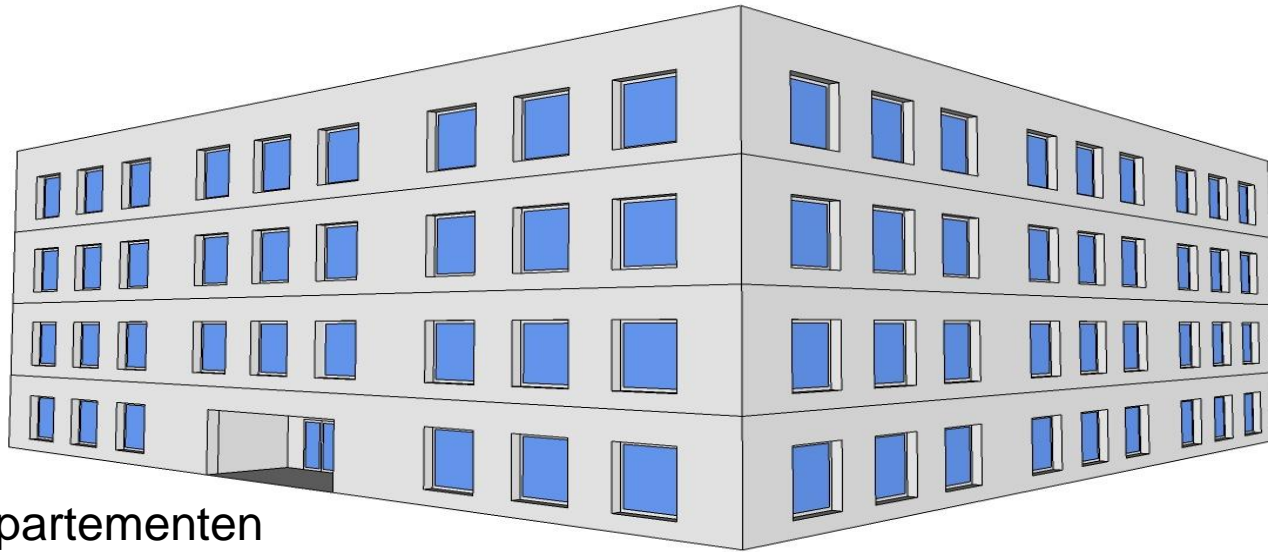


1. Van constant naar variabel debiet

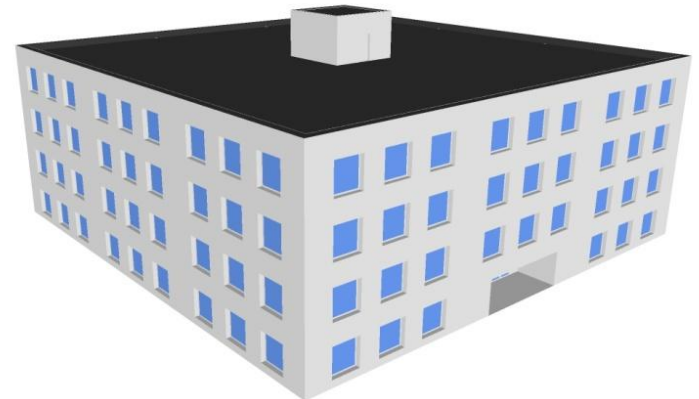


2. Simulatie cases

→ Appartementsgebouw

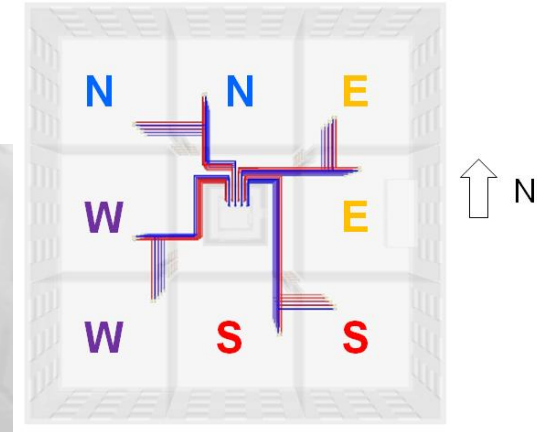
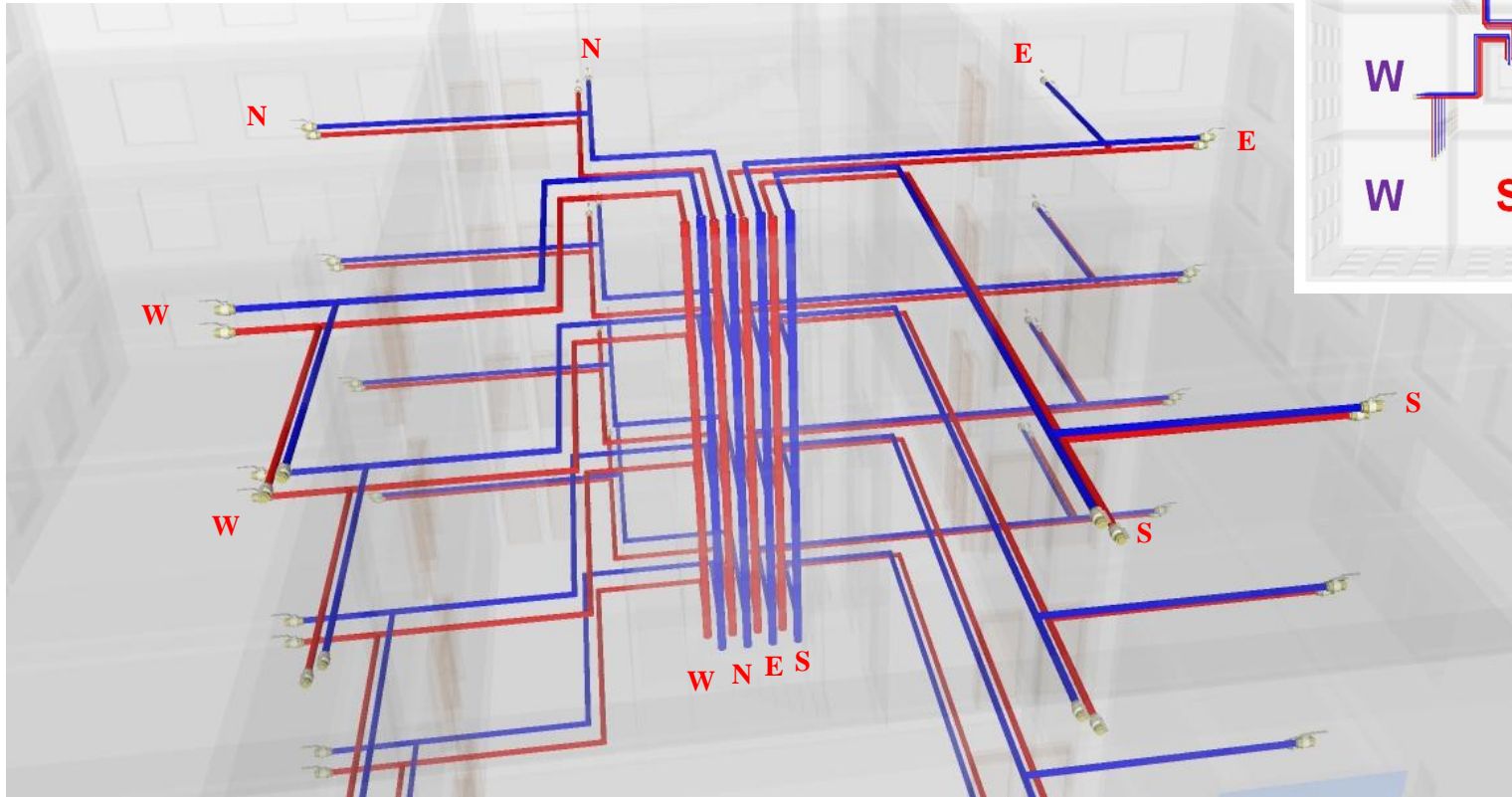


- 32 appartementen
- 4 verdiepingen
- 5184 m²
- compactheid: 3,6
- K-peil: 45
- $U_{\text{gemiddeld}}$: 0,84 W/(m²K)
- warmteverlies 20 °C → -10 °C: 109 kW
- geïnstalleerd vermogen: 120 kW



2. Simulatie cases

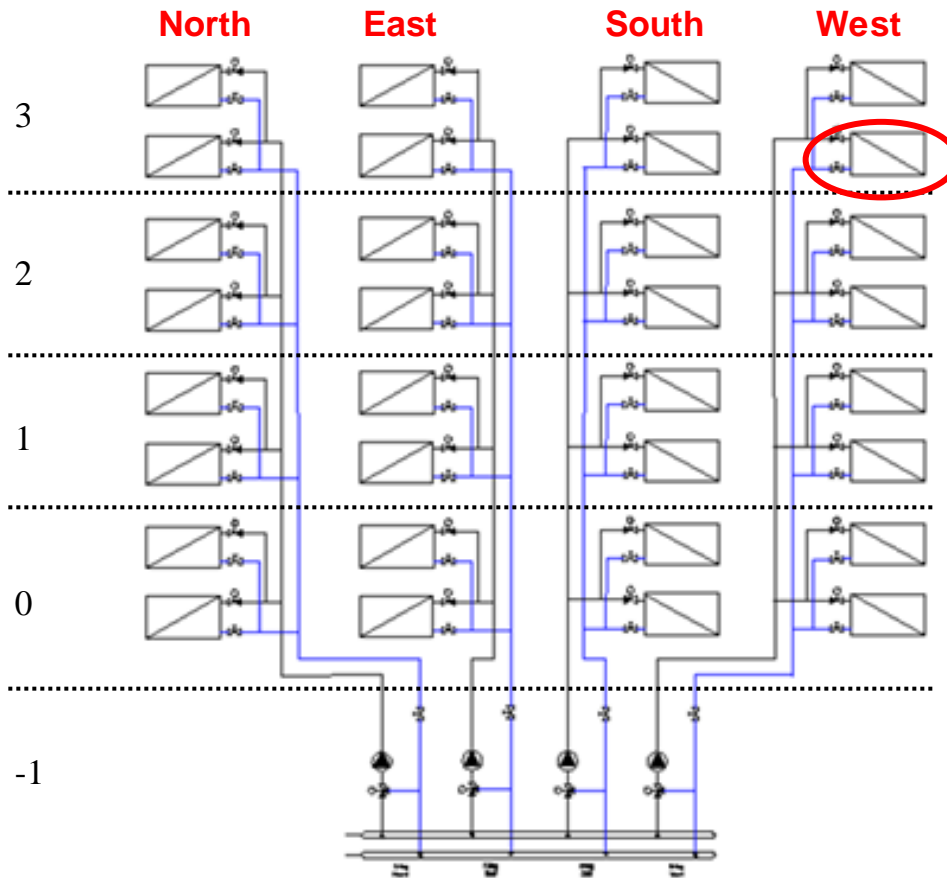
→ Leidingnet



Vertakt leidingnet

2. Simulatie cases

→ Leidingnet: ontwerp



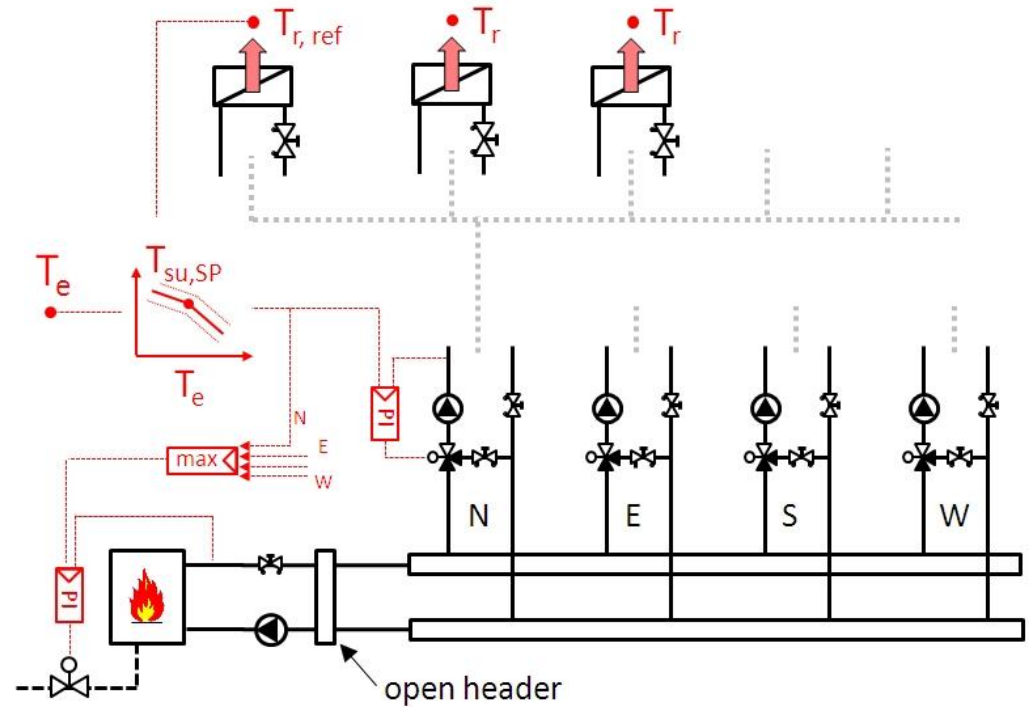
equivalent

- radiatoren 75/65/20 C
- overdimensionering: 10%
- vermogen: 120 kW
- netwerk 100 Pa/m
- β kleppen naregeling $\geq 0,3$
- β kleppen voorregeling $\geq 0,5$
- perfecte hydraulische balans

Vertakt leidingnet

2. Simulatie cases

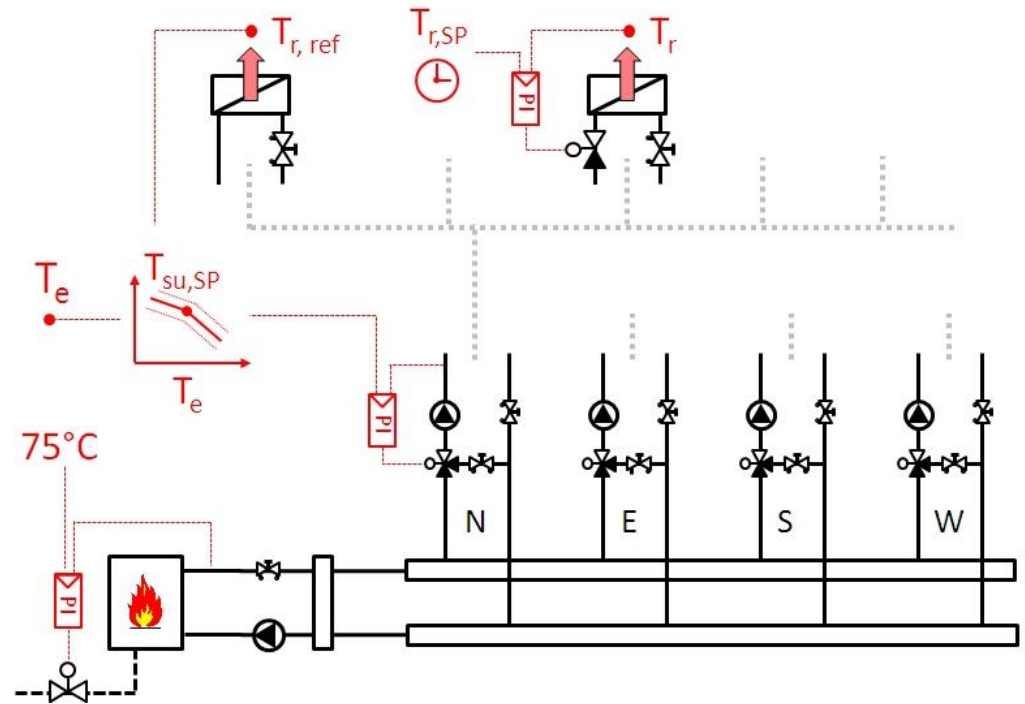
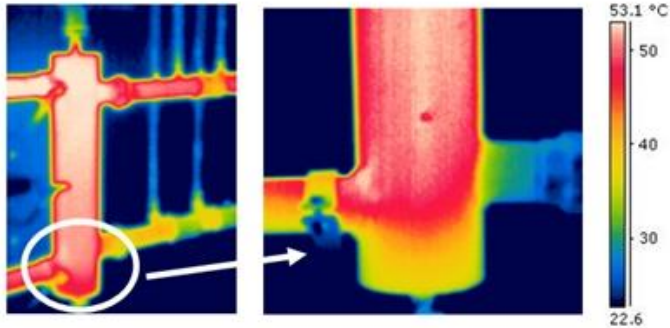
→ **Systeem X**



	REGELING			HYDRONISCHE CONFIGURATIE		DEBIET		
	ketel-temperatuur	voor-regeling	na-regeling	verbinding ketel/collector	voor-regeling	Ketel	collector	end-units
X	vraaggestuurd	stooklijn	-	evenwichtsfles	menging	C^{te}	Hybr.	C^{te}
A	C ^{te} 75°C	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Var.	Hybr.
B	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Hybr.	Hybr.
C	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	direct	menging	Hybr.	Hybr.	Hybr.
D	C ^{te} 75°C	-	PI, klok	direct	-	Var.	Var.	Var.

2. Simulatie cases

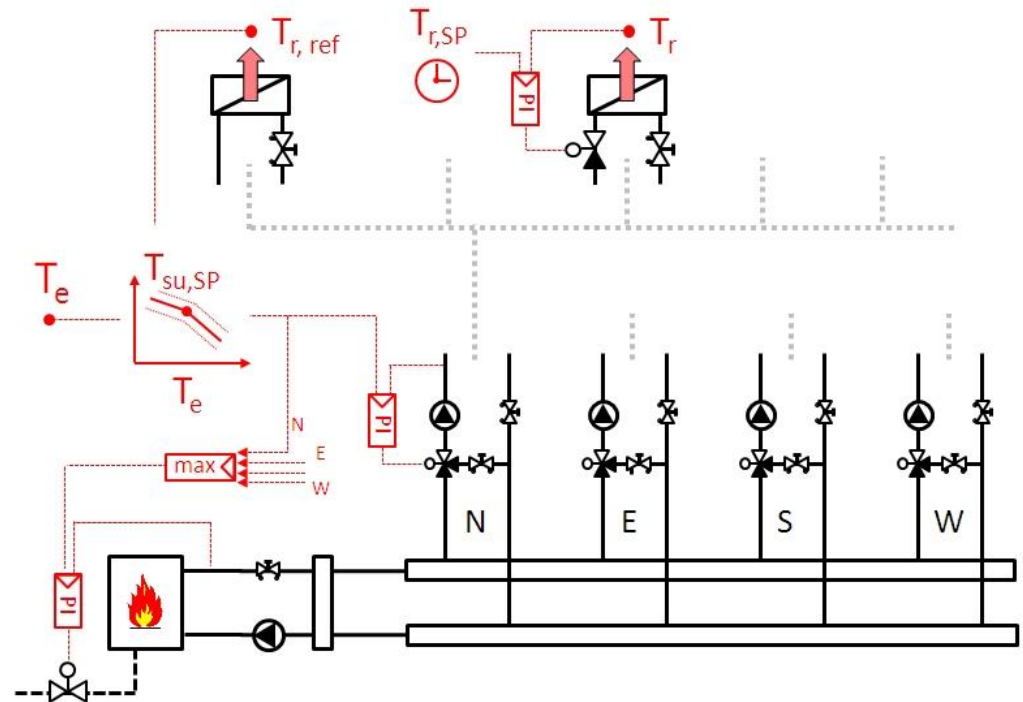
→ **Systeem A**



	REGELING			HYDRONISCHE CONFIGURATIE		DEBIET		
	ketel-temperatuur	voor-regeling	na-regeling	verbinding ketel/collector	voor-regeling	Ketel	collector	end-units
X	vraaggestuurd	stooklijn	-	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Hybr.	C ^{te}
A	C ^{te} 75°C	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Var.	Hybr.
B	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Hybr.	Hybr.
C	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	direct	menging	Hybr.	Hybr.	Hybr.
D	C ^{te} 75°C	-	PI, klok	direct	-	Var.	Var.	Var.

2. Simulatie cases

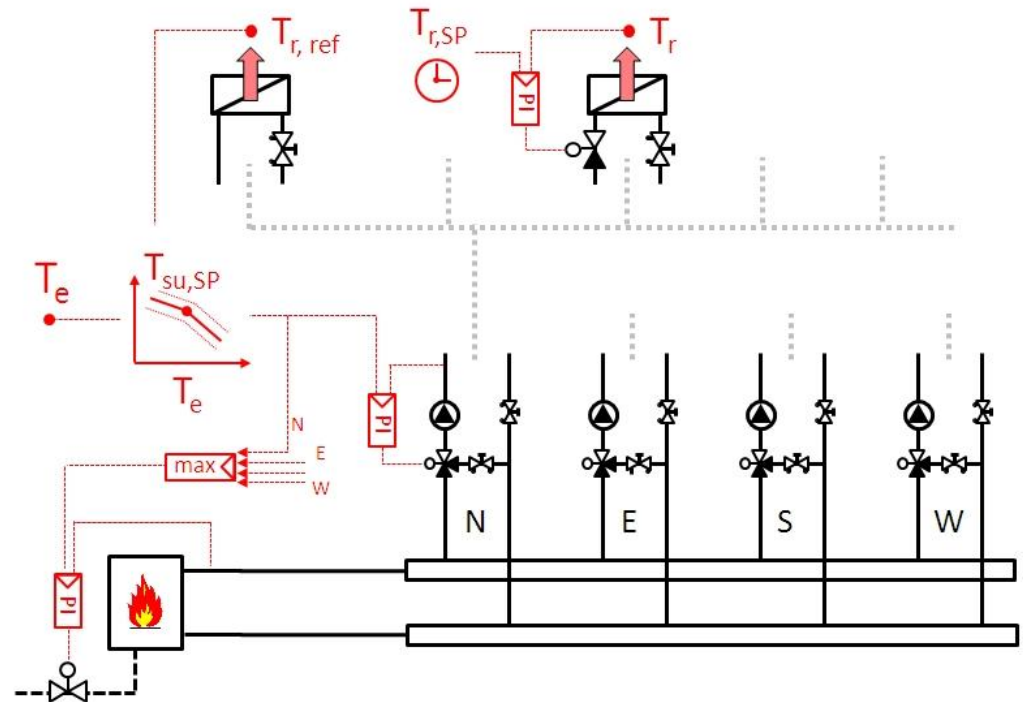
→ **Systeem B**



	REGELING			HYDRONISCHE CONFIGURATIE		DEBIET		
	ketel-temperatuur	voor-regeling	na-regeling	verbinding ketel/collector	voor-regeling	Ketel	collector	end-units
X	vraaggestuurd	stooklijn	-	evenwichtsfles	menging	C^{te}	Hybr.	C^{te}
A	C^{te} 75°C	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C^{te}	Var.	Hybr.
B	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C^{te}	Hybr.	Hybr.
C	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	direct	menging	Hybr.	Hybr.	Hybr.
D	C^{te} 75°C	-	PI, klok	direct	-	Var.	Var.	Var.

2. Simulatie cases

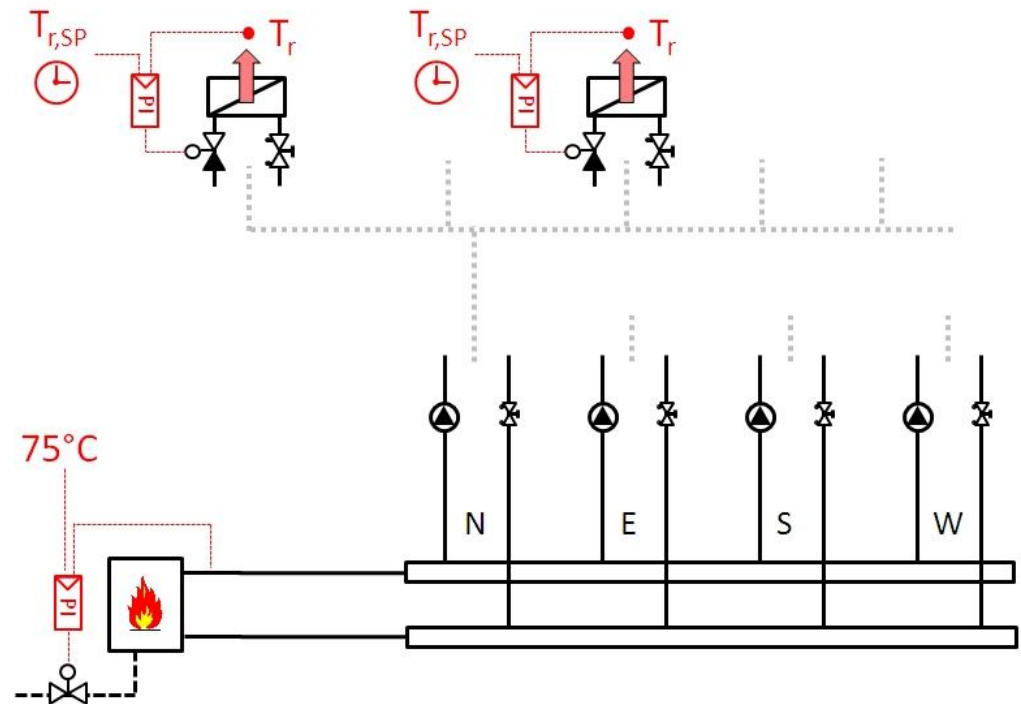
→ **Systeem C**



	REGELING			HYDRONISCHE CONFIGURATIE		DEBIET		
	ketel-temperatuur	voor-regeling	na-regeling	verbinding ketel/collector	voor-regeling	Ketel	collector	end-units
X	vraaggestuurd	stooklijn	-	evenwichtsfles	menging	C^{te}	Hybr.	C^{te}
A	C^{te} 75°C	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C^{te}	Var.	Hybr.
B	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C^{te}	Hybr.	Hybr.
C	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	direct	menging	Hybr.	Hybr.	Hybr.
D	C^{te} 75°C	-	PI, klok	direct	-	Var.	Var.	Var.

2. Simulatie cases

→ **Systeem D**



	REGELING			HYDRONISCHE CONFIGURATIE		DEBIET		
	ketel-temperatuur	voor-regeling	na-regeling	verbinding ketel/collector	voor-regeling	Ketel	collector	end-units
X	vraaggestuurd	stooklijn	-	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Hybr.	C ^{te}
A	C ^{te} 75°C	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Var.	Hybr.
B	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	evenwichtsfles	menging	C ^{te}	Hybr.	Hybr.
C	vraaggestuurd	stooklijn	PI, klok	direct	menging	Hybr.	Hybr.	Hybr.
D	C ^{te} 75°C	-	PI, klok	direct	-	Var.	Var.	Var.

2. Simulatie cases

→ **Simulatie & Analyse**

Simulatie:

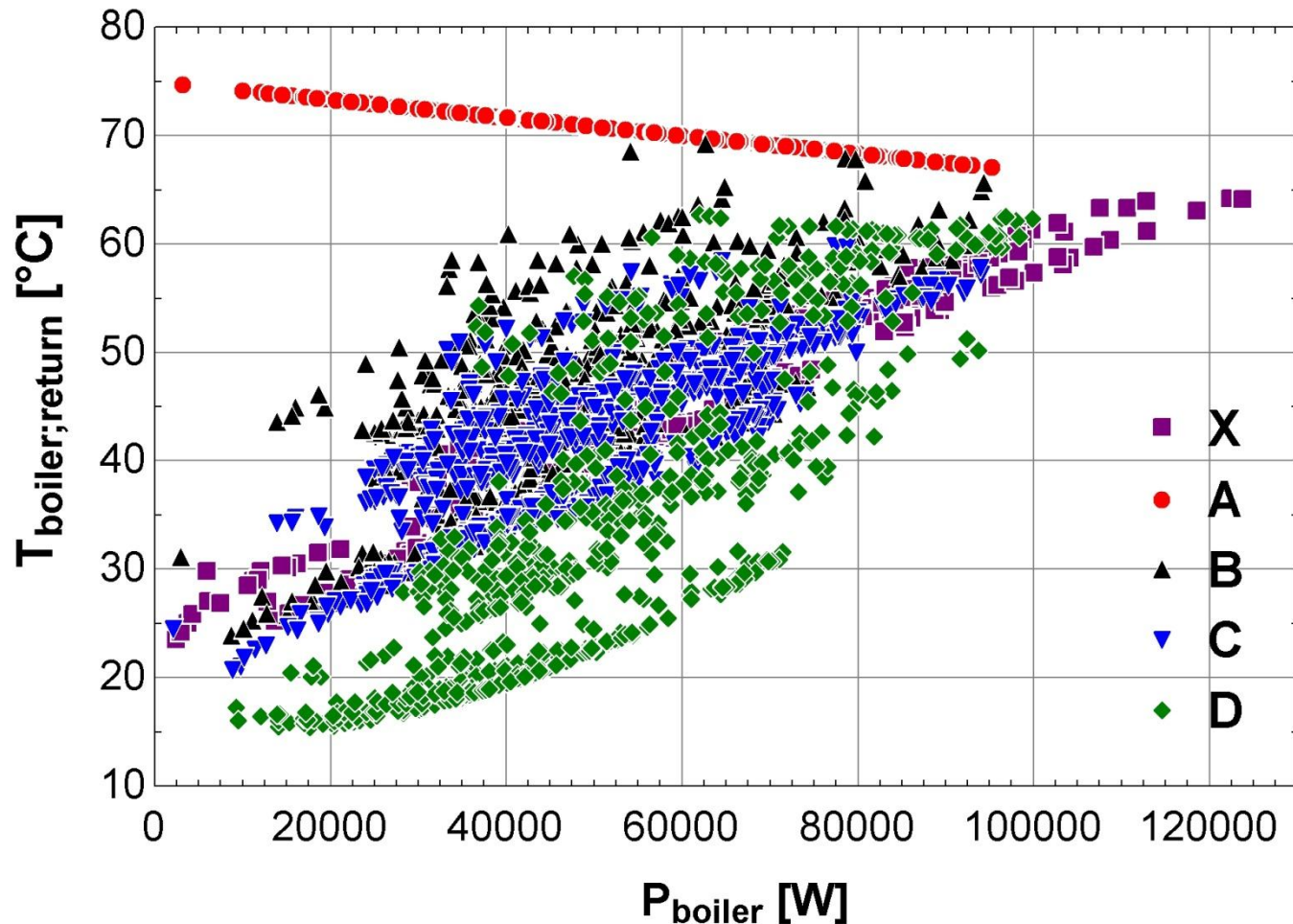
- Thermisch (warmte-afgifte, gebouw,...)
- Hydraulisch netwerk (druk, debiet)
- Regeling (stooklijn, PI, actuatoren,...)
- 1 jan → 31 jan ; stepsize : 2 min

Analyse:

- Productierendement condensatieketel
- Energieverbruik pompen
- Comfort, Pareto comfort ↔ energie
- Investerings, LCC

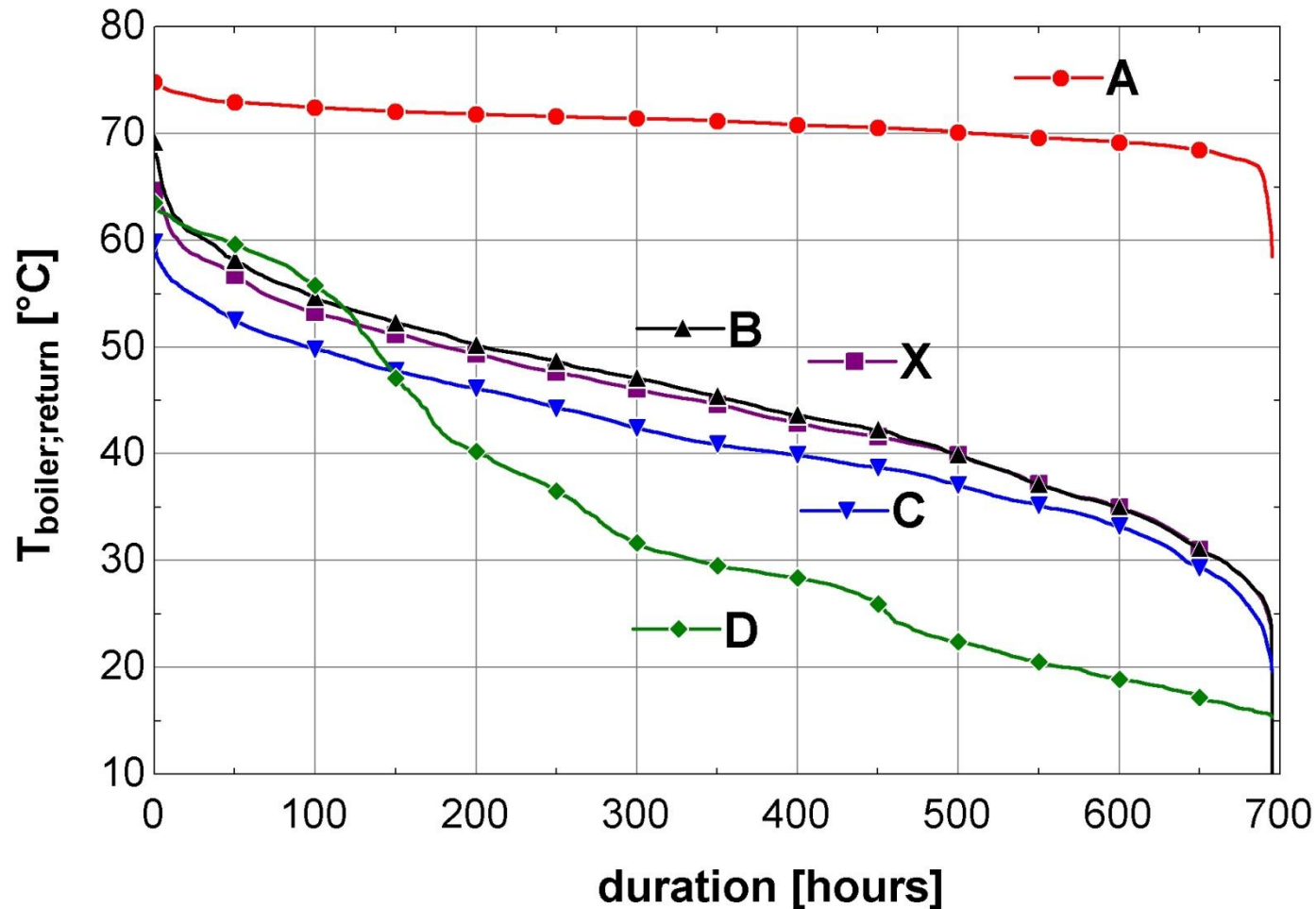
3. Rendement condensatieketel

→ Retourtemperatuur



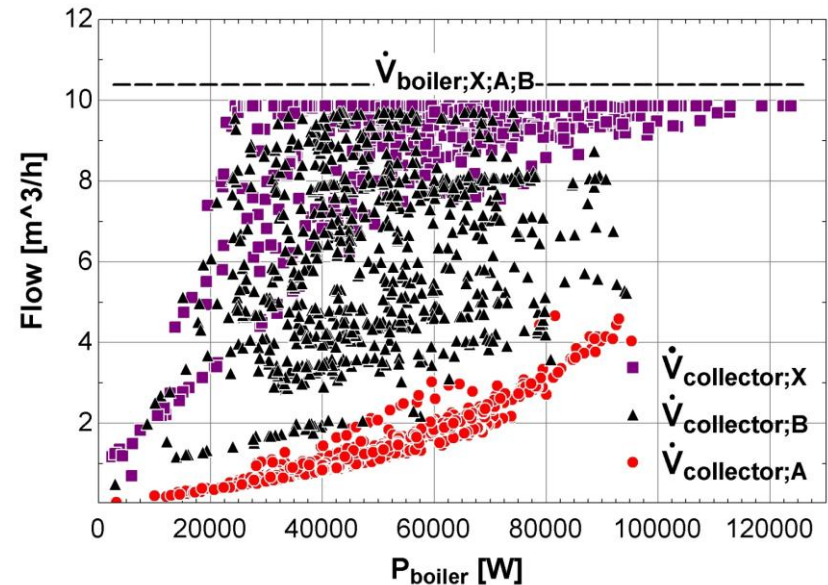
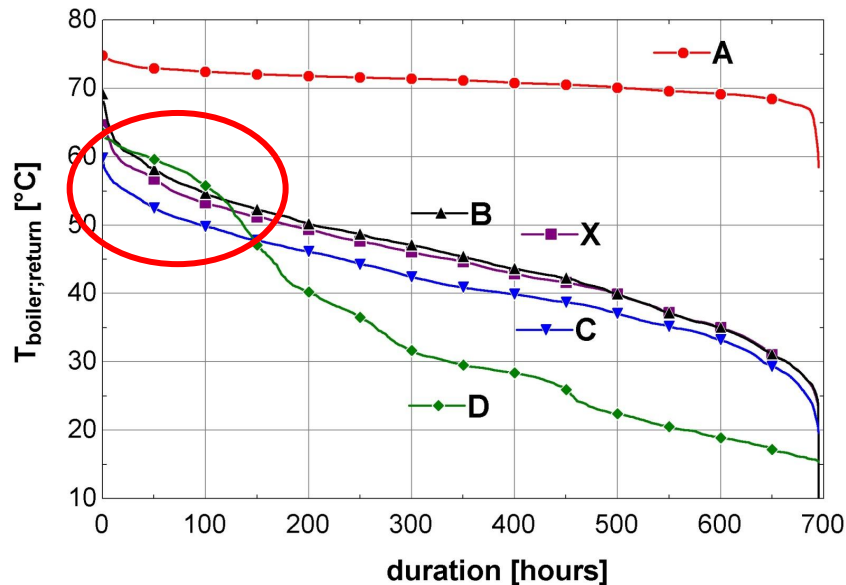
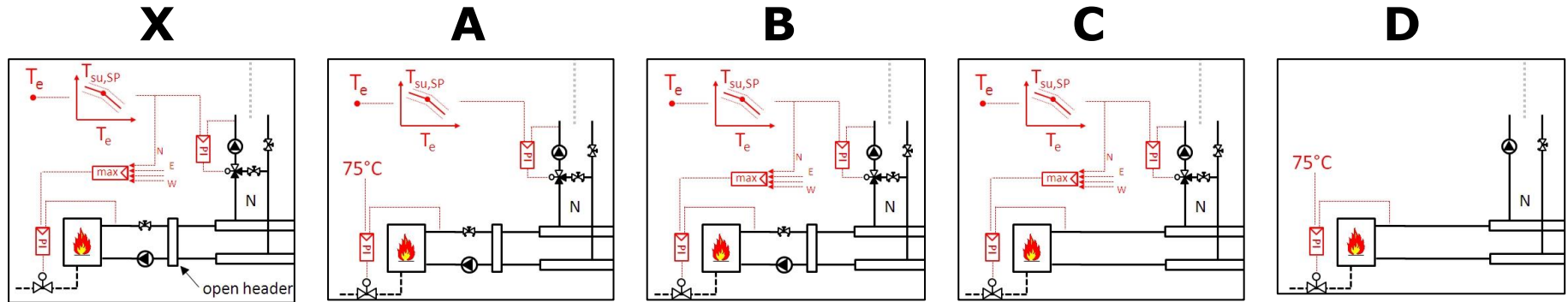
3. Rendement condensatieketel

→ Retourtemperatuur



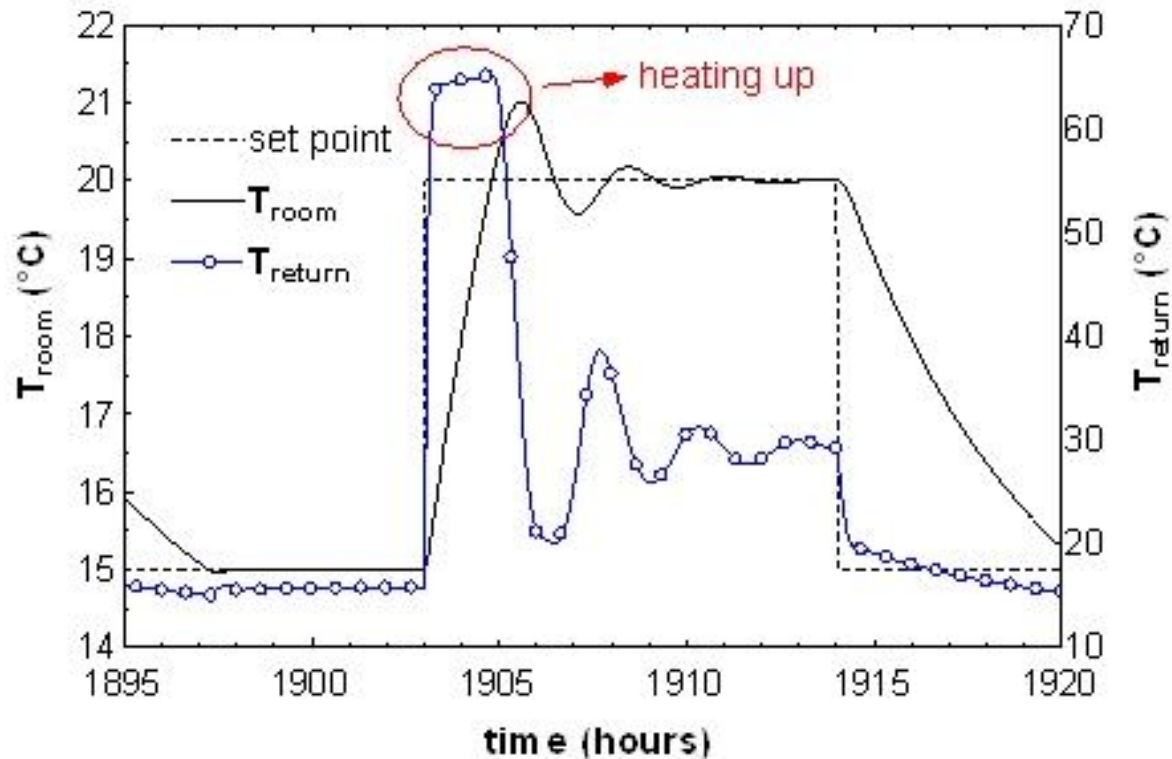
3. Rendement condensatieketel

→ Retourtemperatuur



3. Rendement condensatieketel

→ Retourtemperatuur

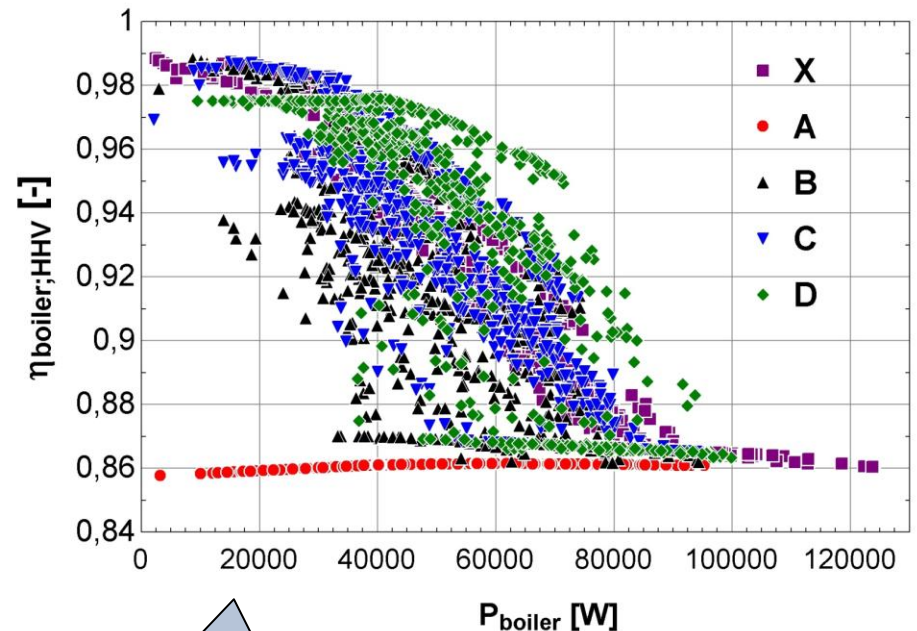
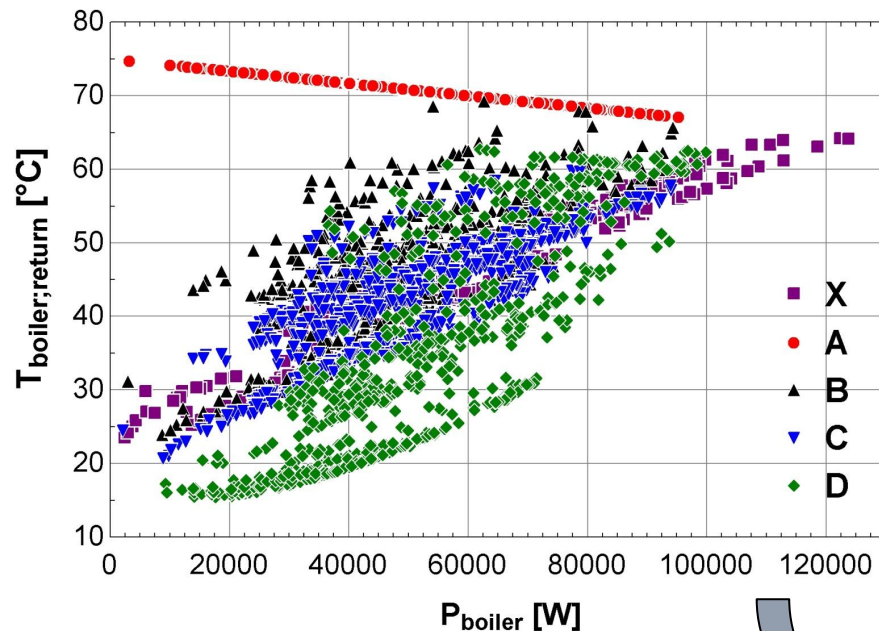


Tijdelijk verhoogde retourtemperatuur tijdens het opwarmen in systeem D.

3. Rendement condensatieketel

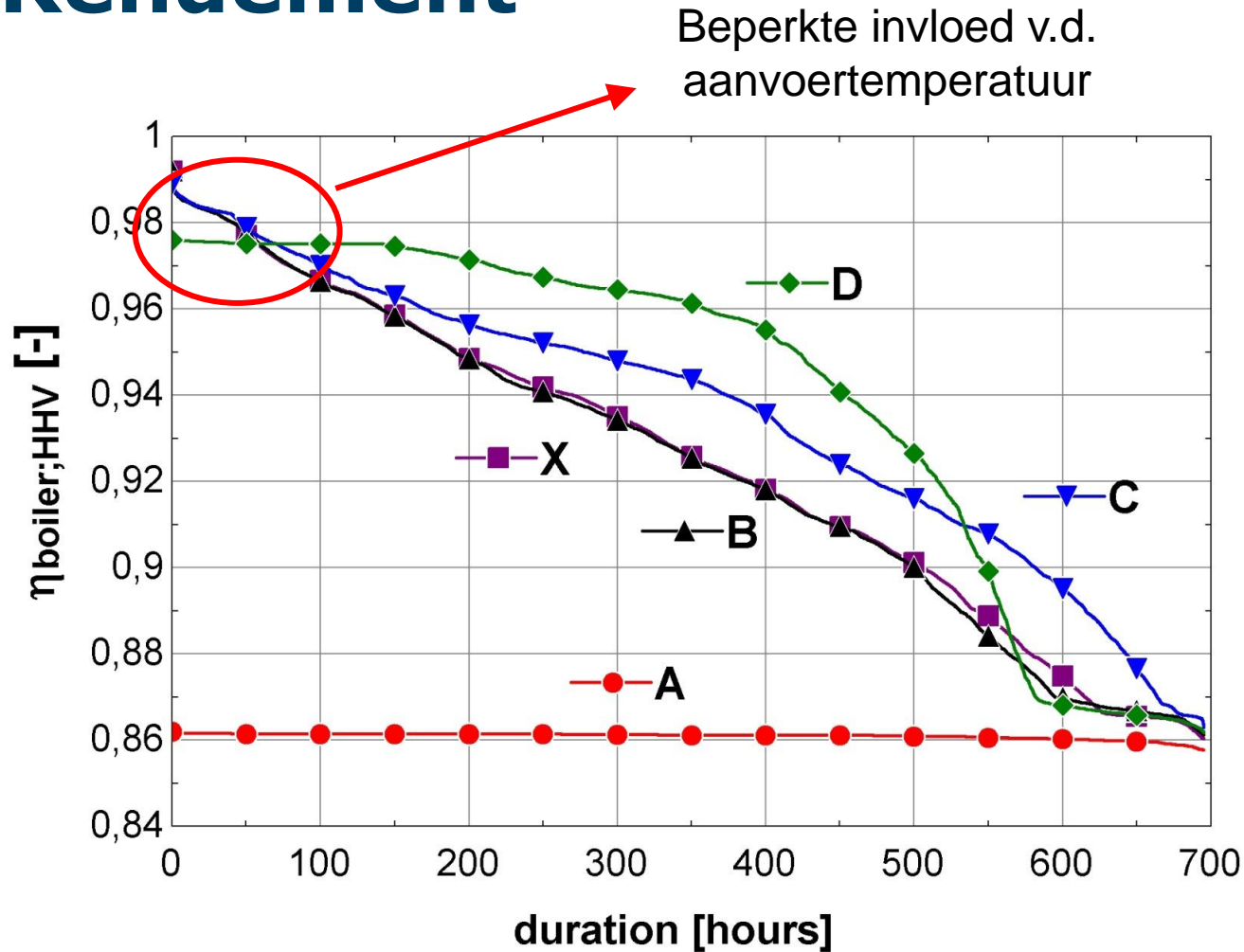
→ Rendement

$$\eta_{\text{ketel}} = f (T_{\text{retour}} ; P\% ; \text{debiet})$$



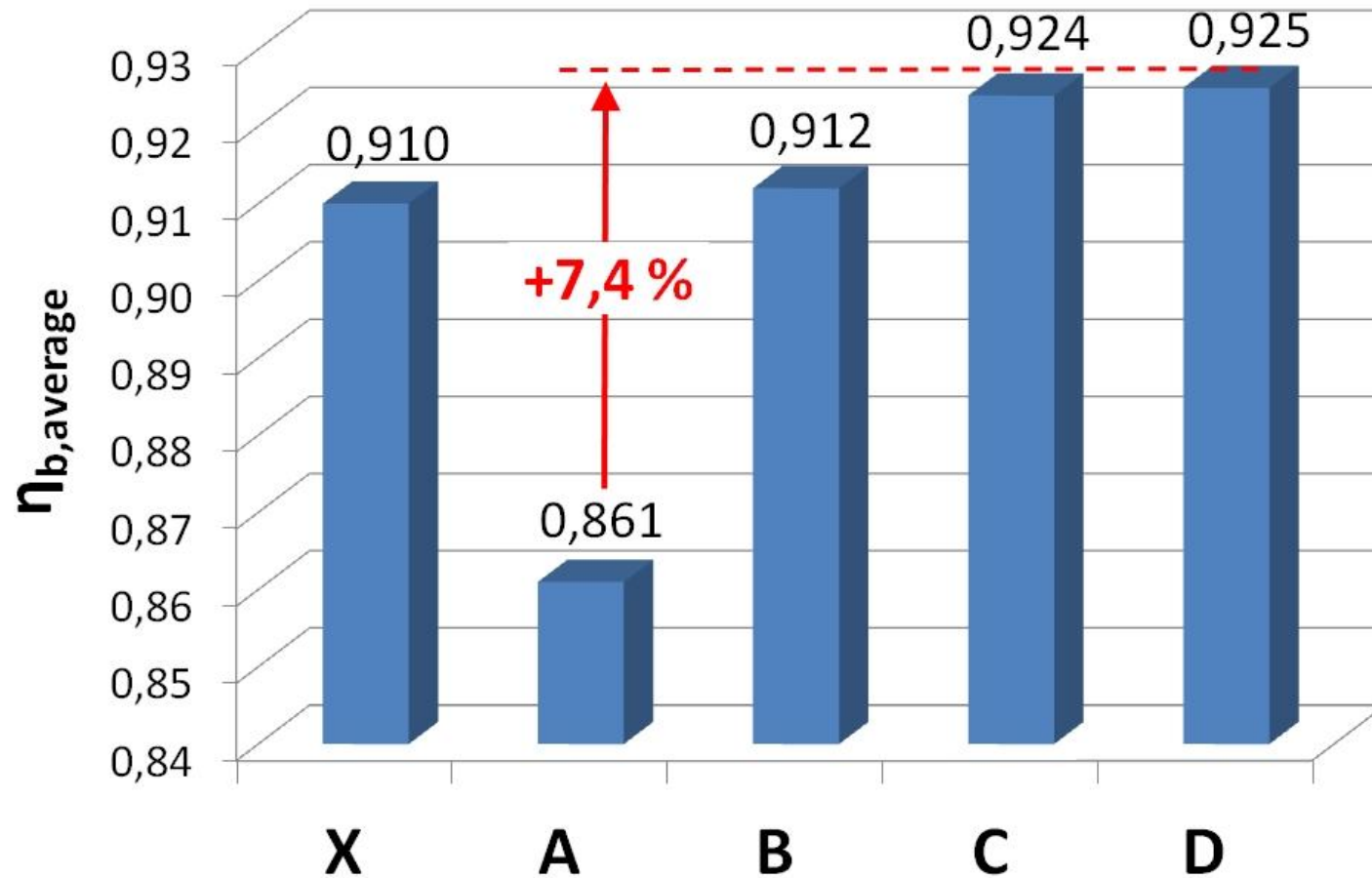
3. Rendement condensatieketel

→ Rendement



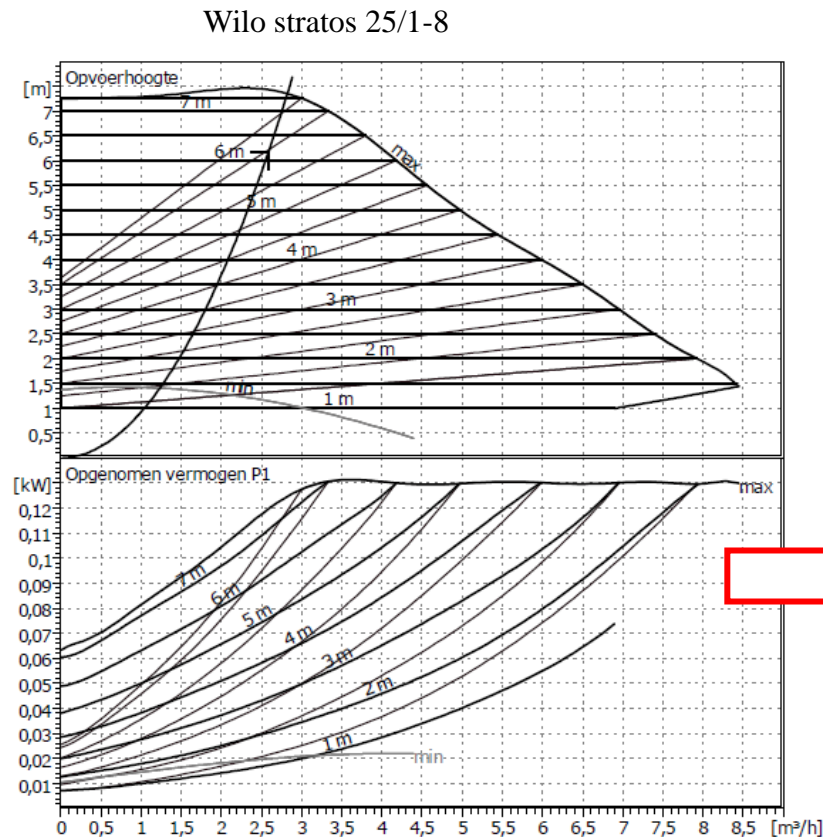
3. Rendement condensatieketel

→ Gemiddeld rendement

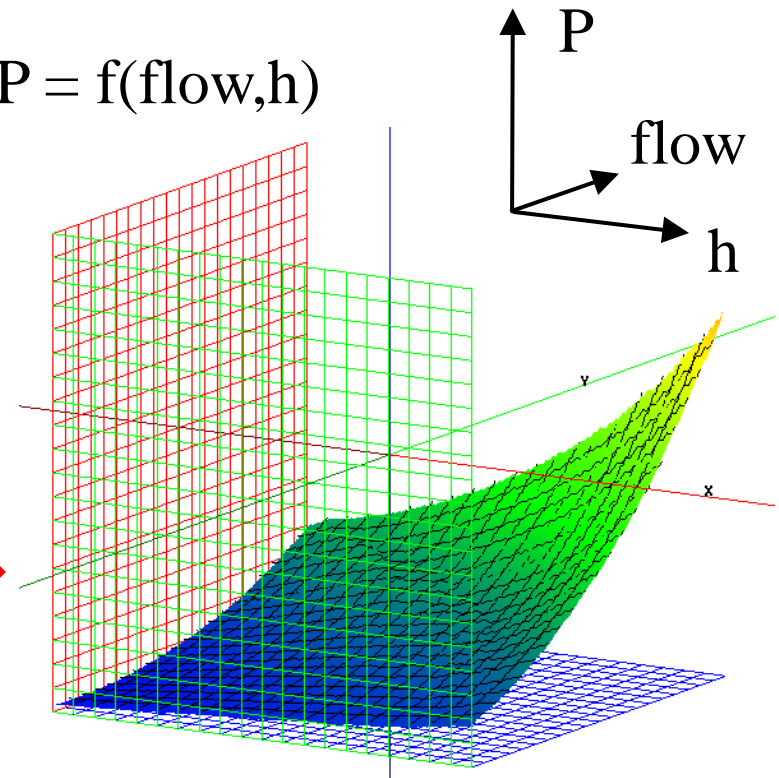


4. Energieverbruik pompen

→ Simulatiemodel

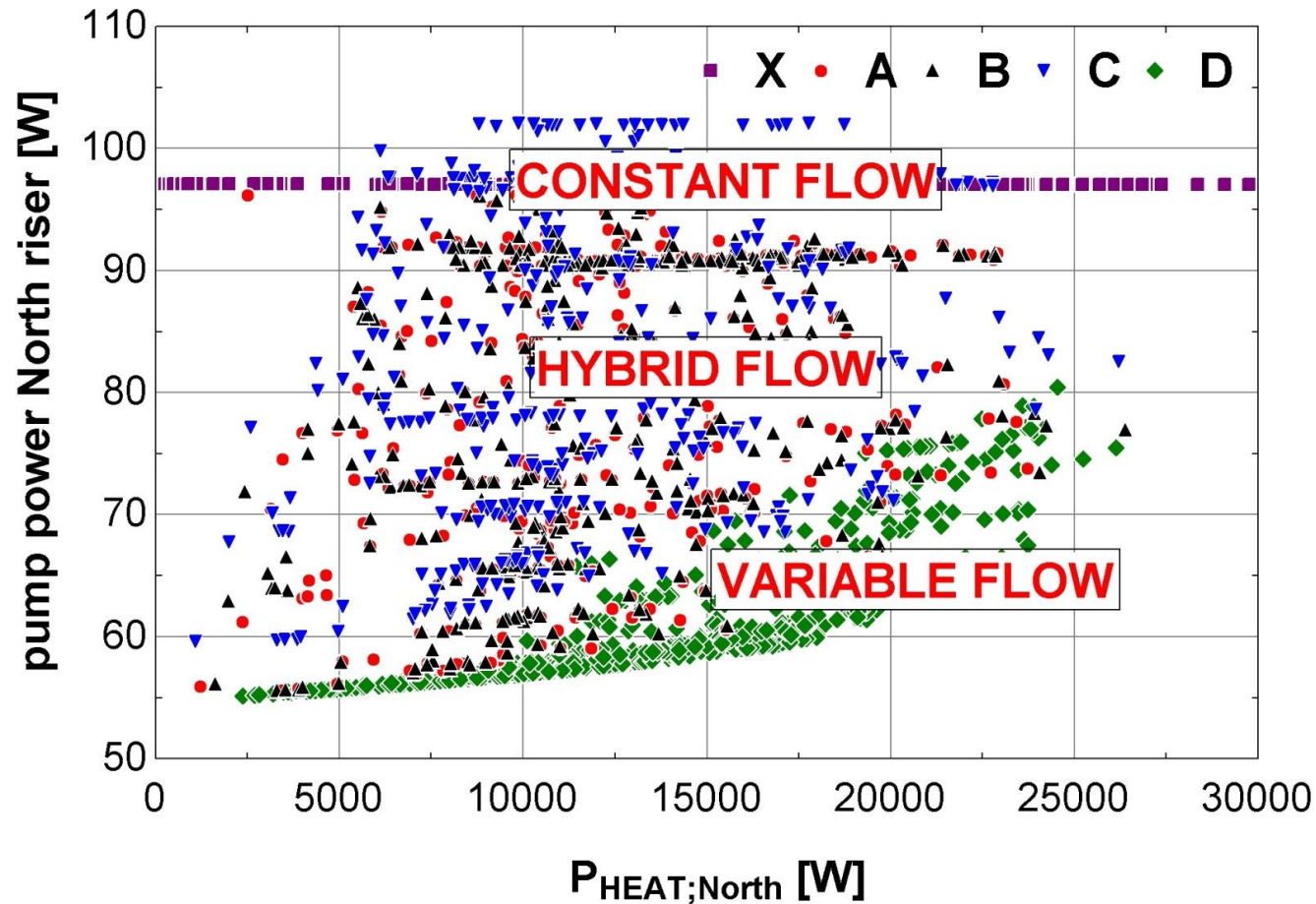


$$P = f(\text{flow}, h)$$



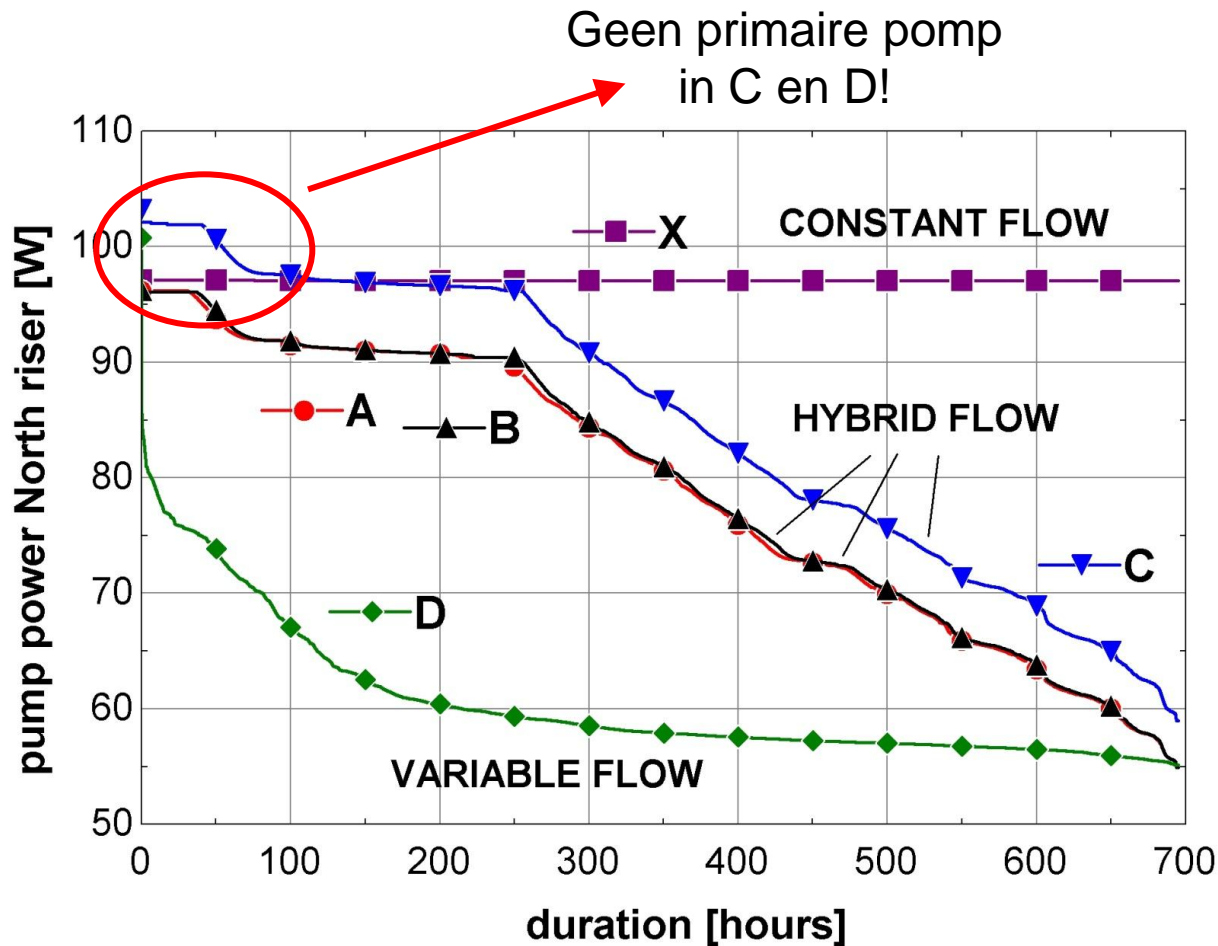
4. Energieverbruik pompen

→ Elektrisch vermogen



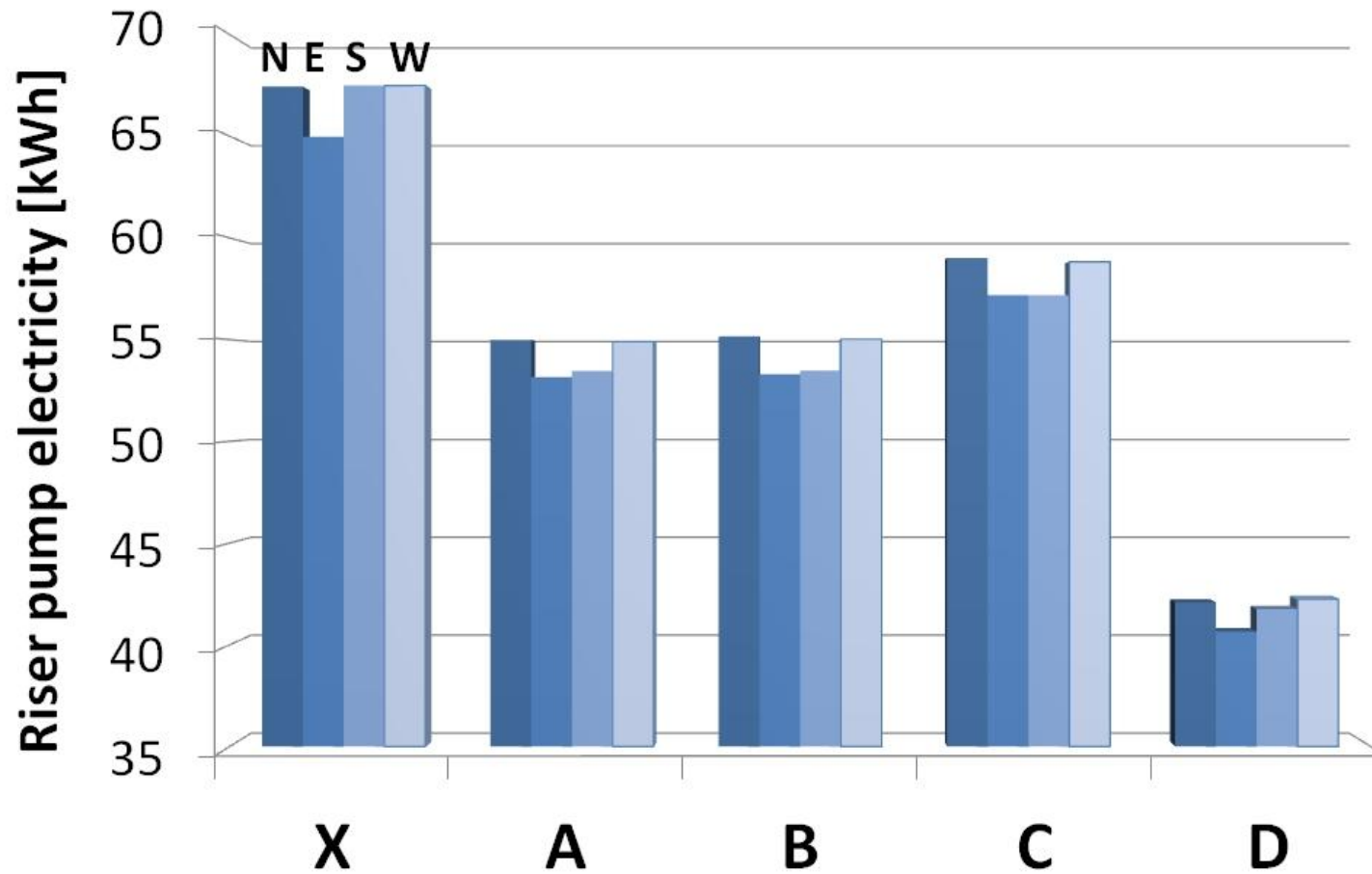
4. Energieverbruik pompen

→ Elektrisch vermogen



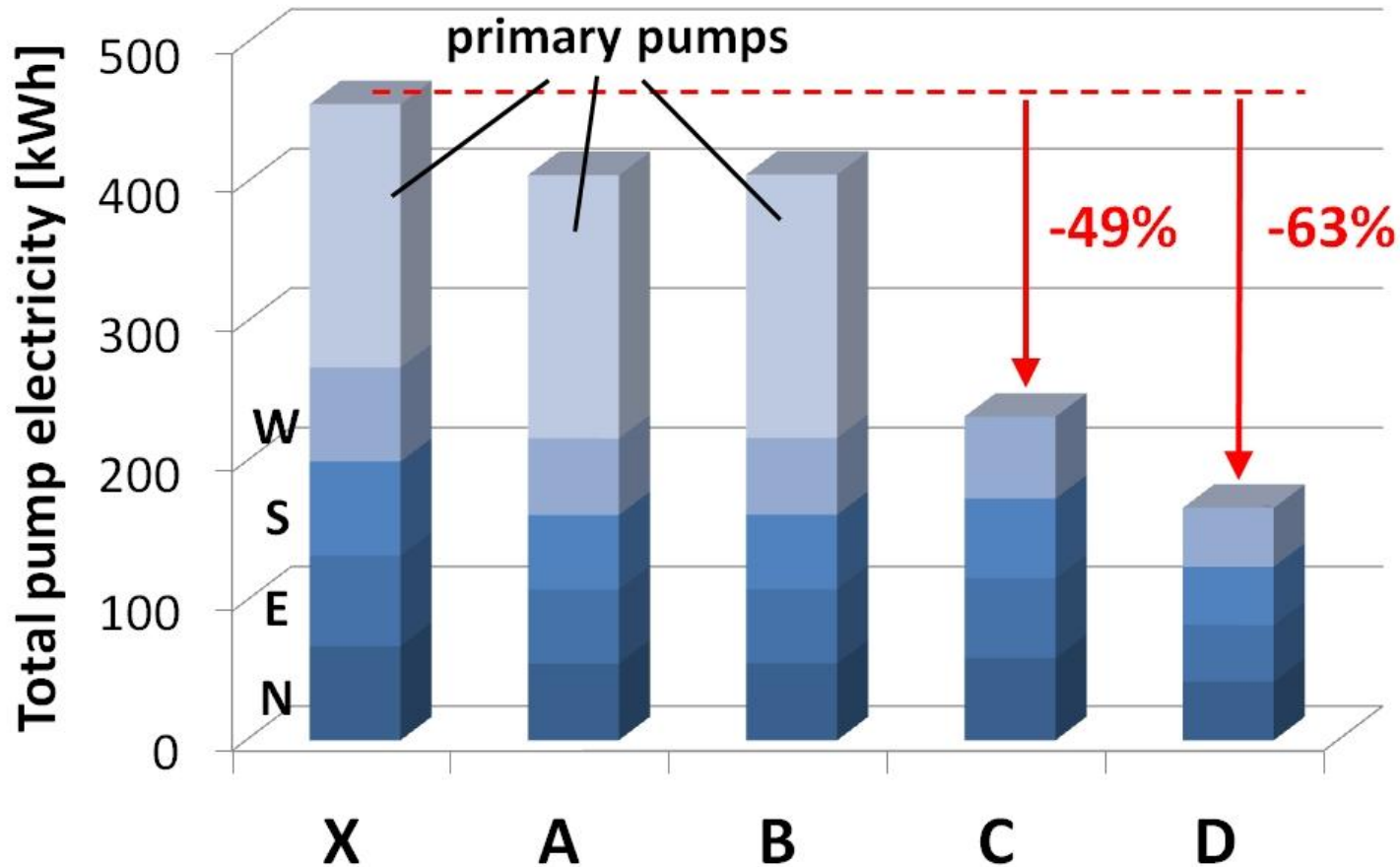
4. Energieverbruik pompen

→ Elektriciteitsverbruik



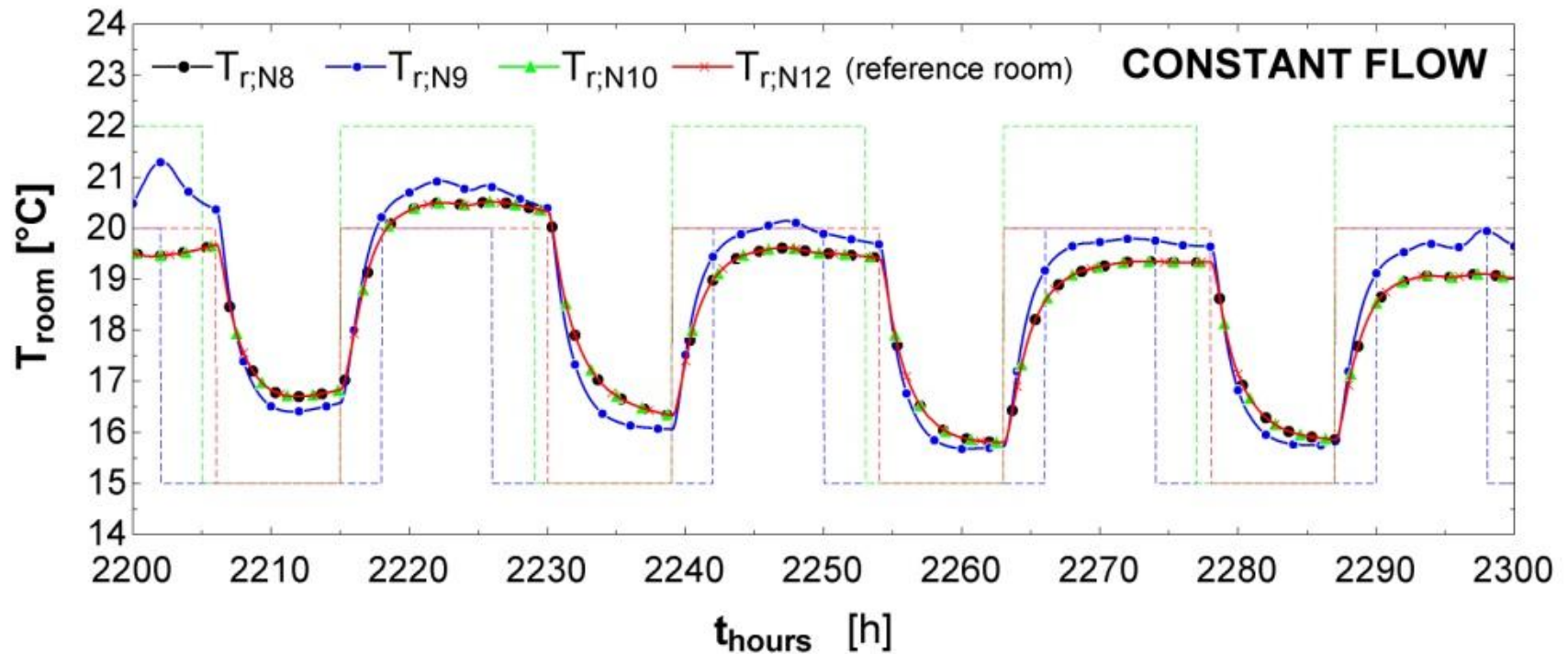
4. Energieverbruik pompen

→ Elektriciteitsverbruik



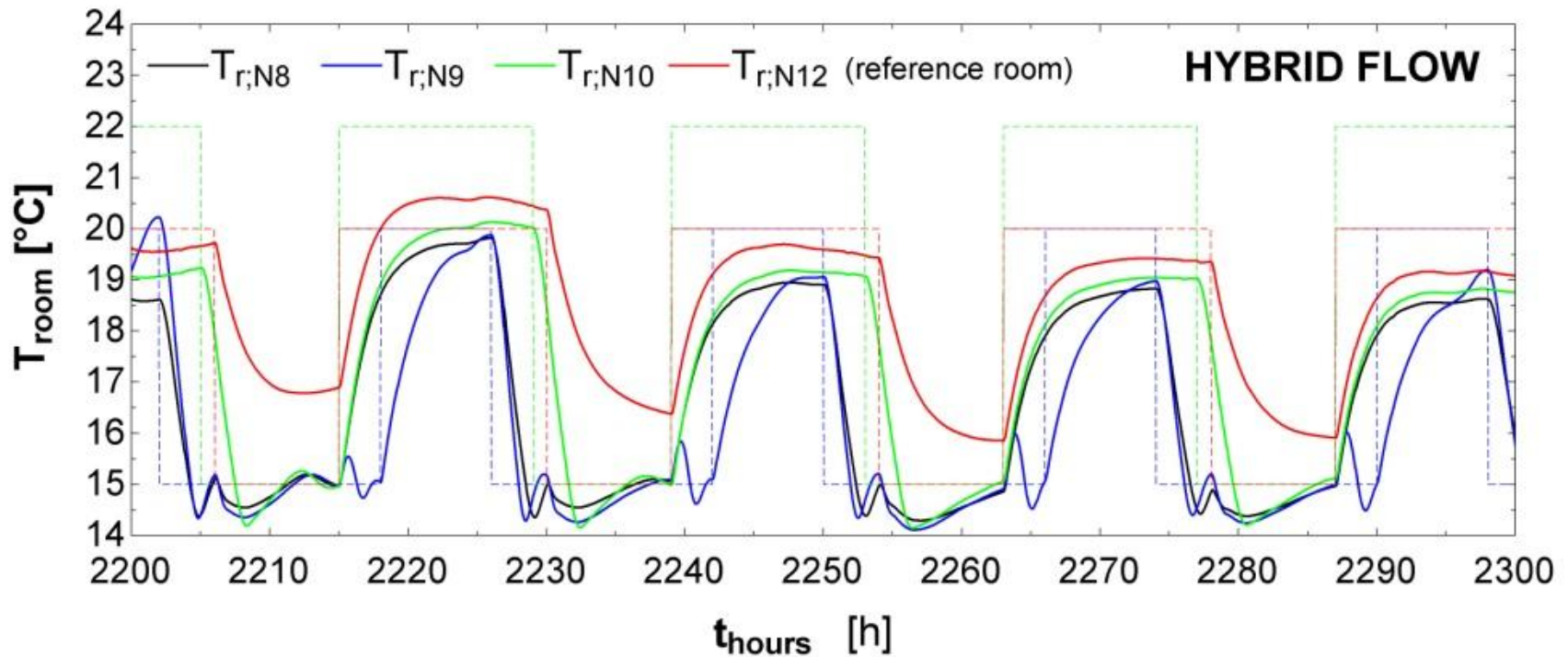
5. Thermisch comfort

→ Gedrag ruimtetemperatuur



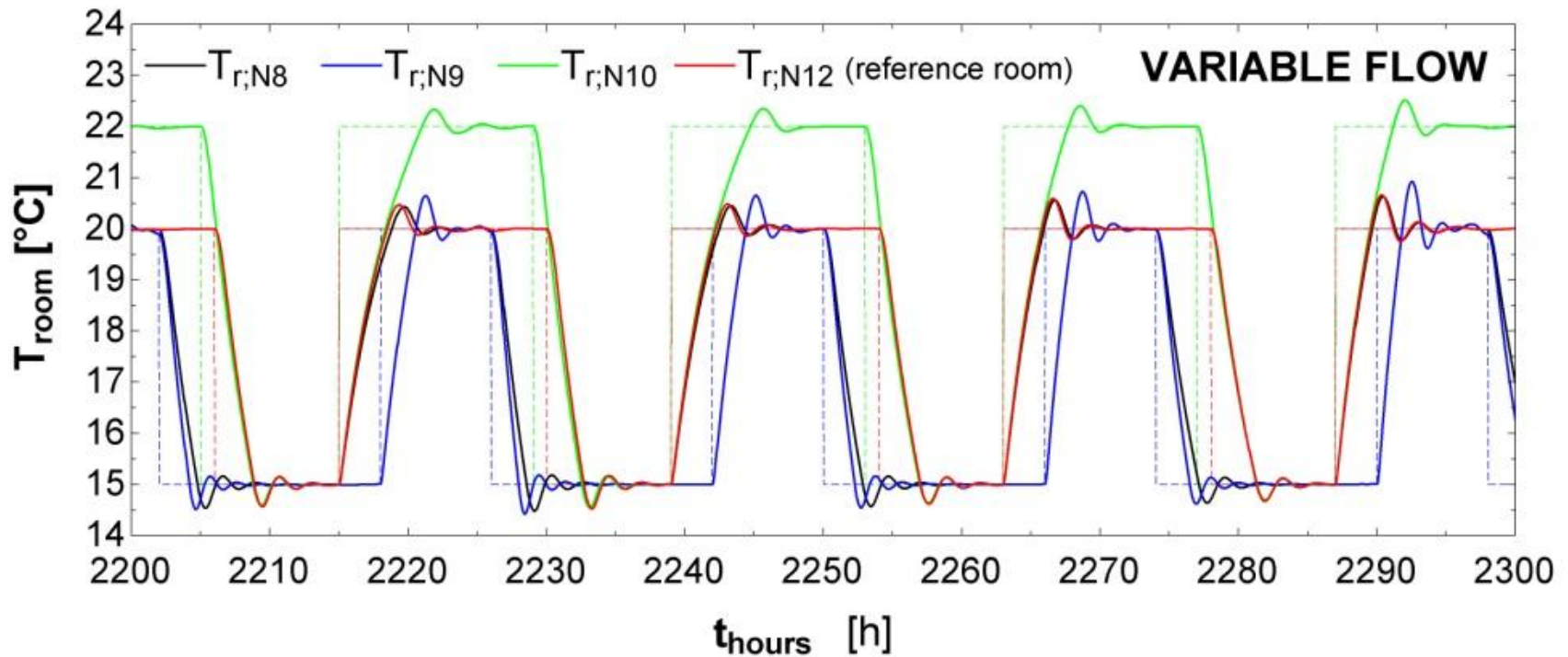
5. Thermisch comfort

→ Gedrag ruimtetemperatuur



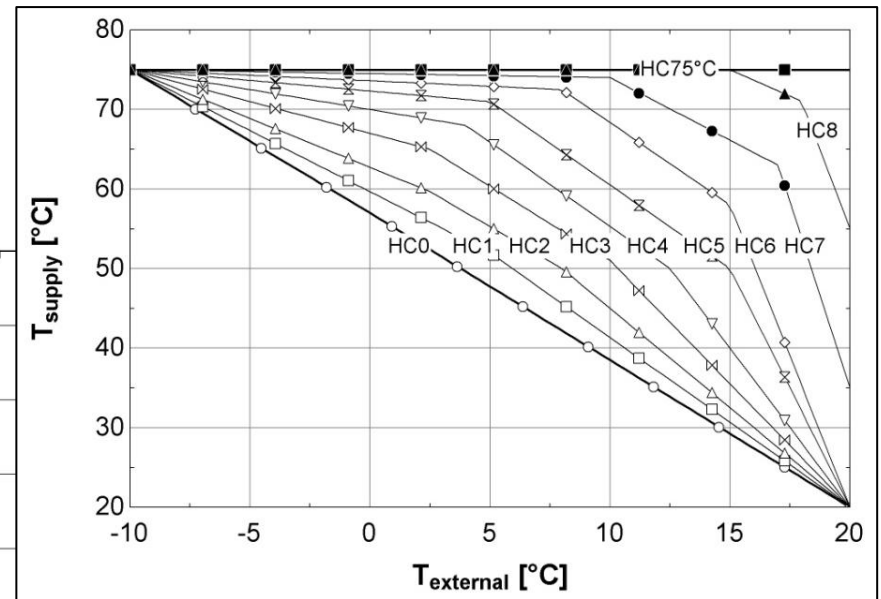
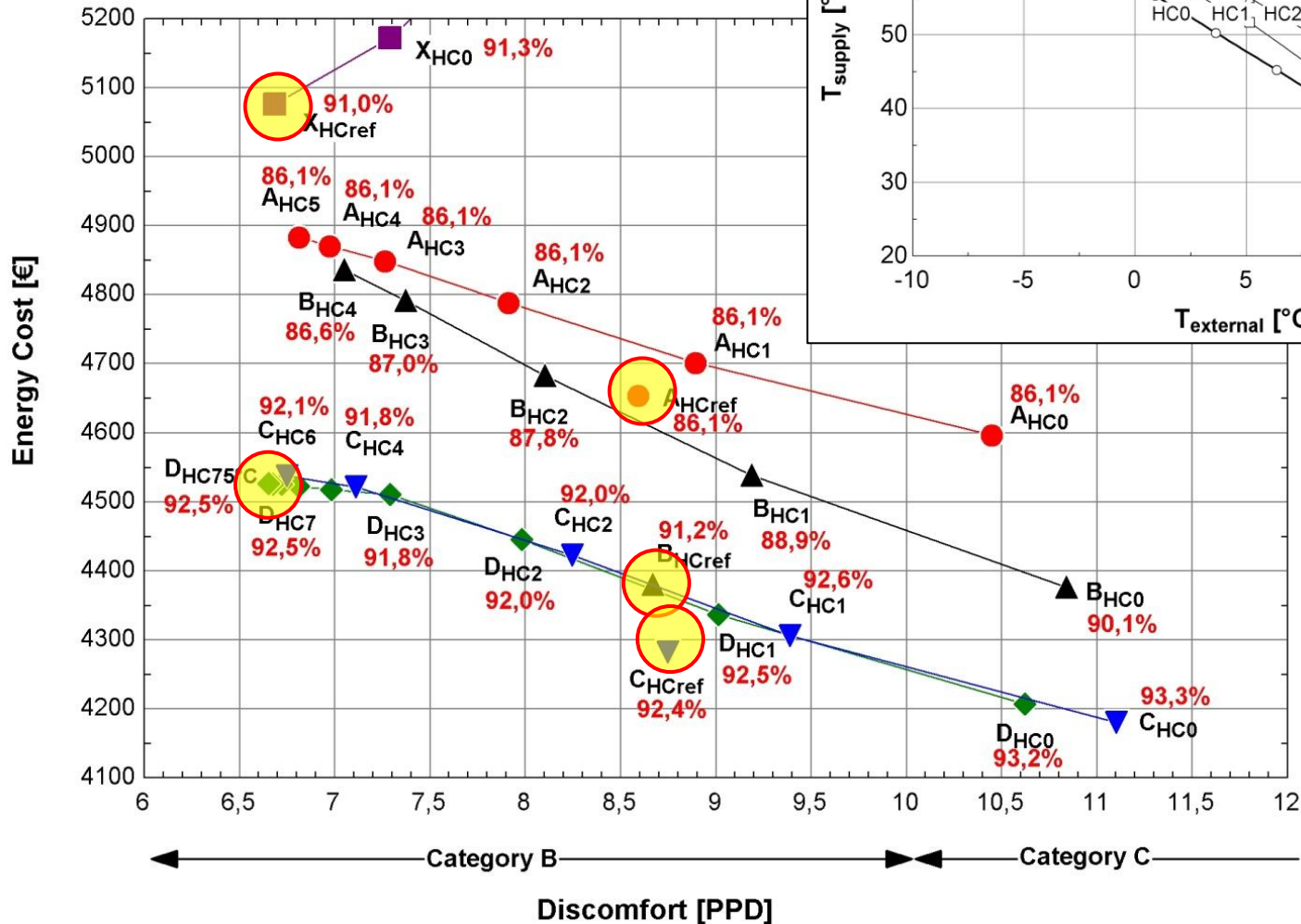
5. Thermisch comfort

→ Gedrag ruimtetemperatuur



5. Thermisch comfort

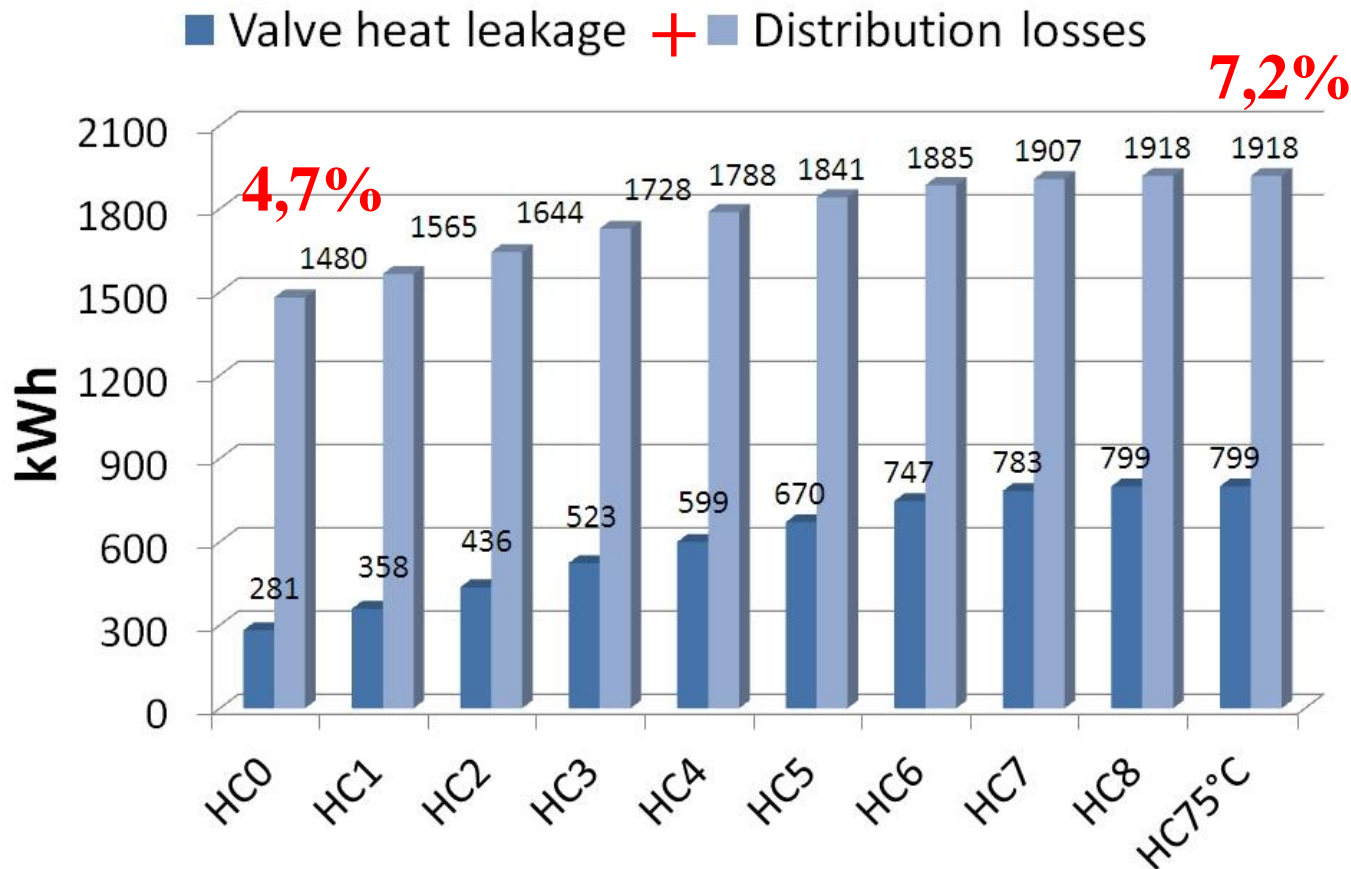
→ Pareto



6. "Full variable flow hydronics!"

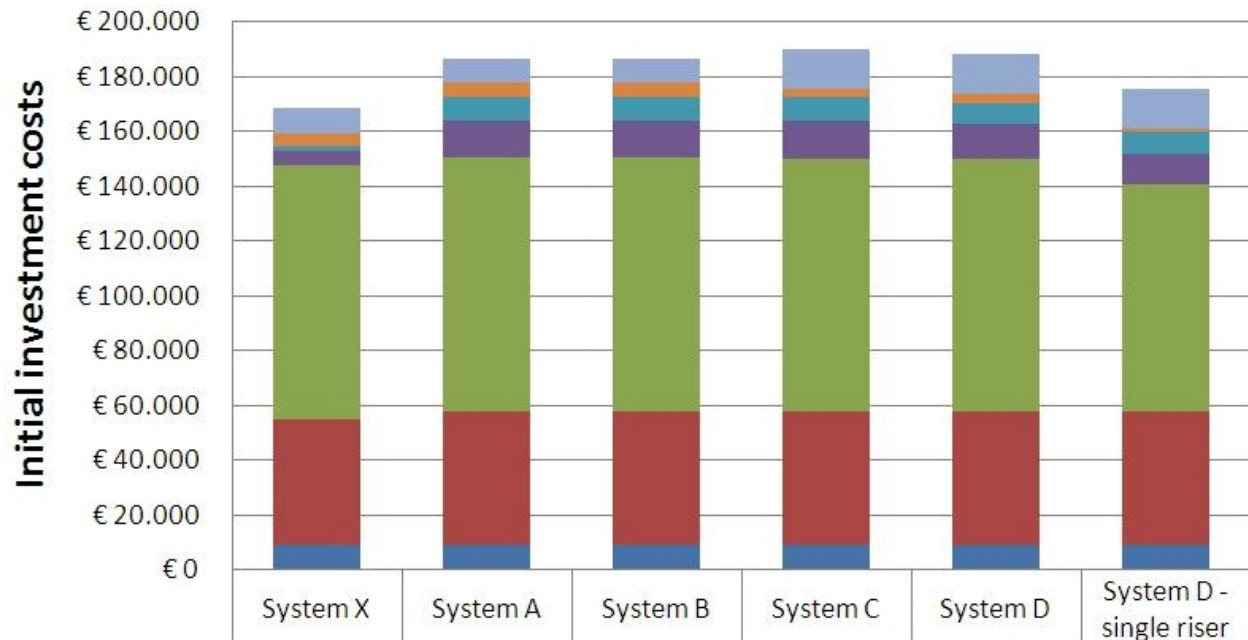
→ lekdebiet en distributieverlies

% van totaal geproduceerd



7. Economische analyse

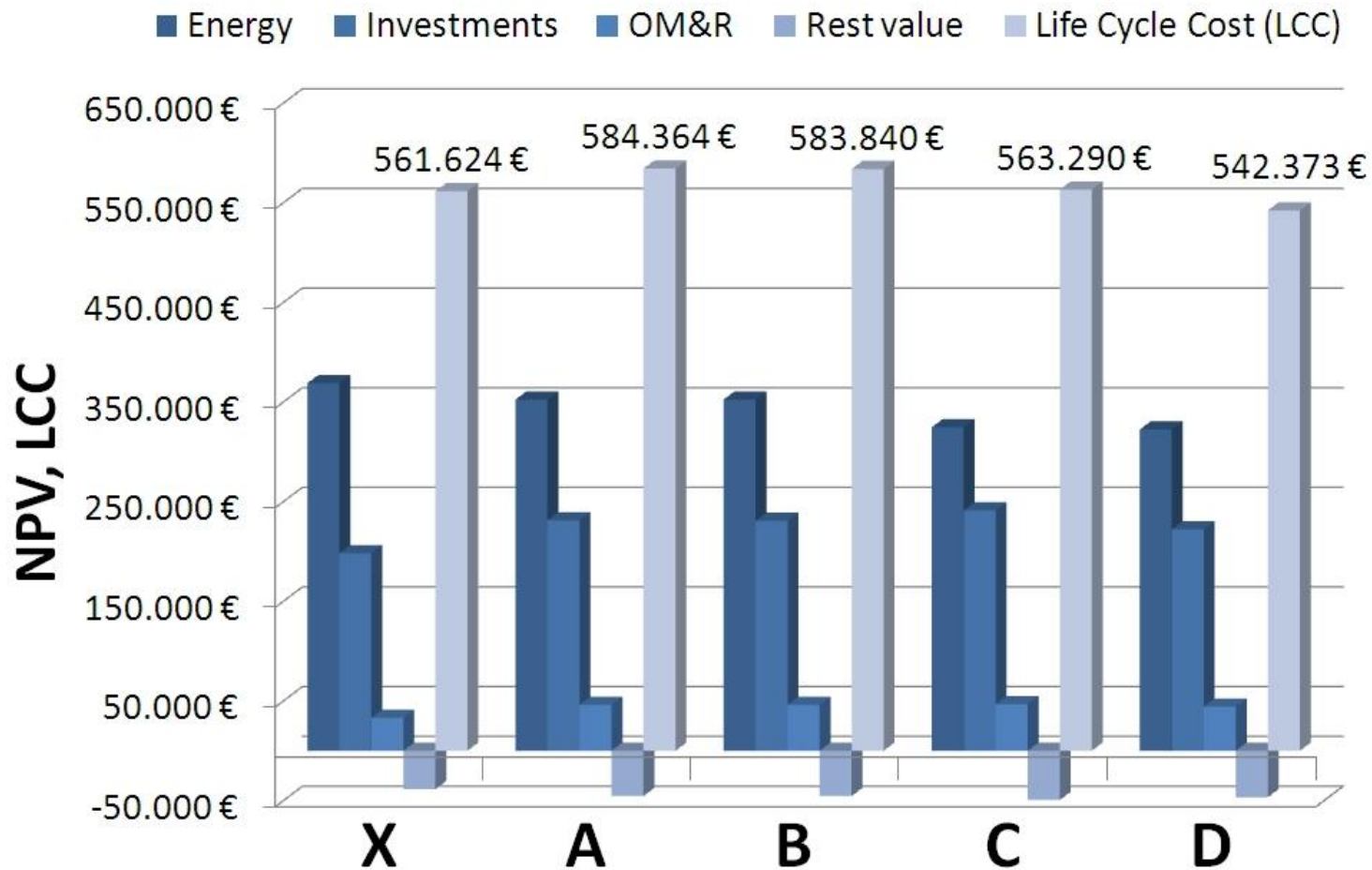
→ Investerings



	System X	System A	System B	System C	System D	System D - single riser
Total	€ 168.492	€ 186.605	€ 186.605	€ 189.971	€ 188.074	€ 175.532
Boiler	€ 8.986	€ 8.986	€ 8.986	€ 14.276	€ 14.276	€ 14.276
Pumps	€ 4.998	€ 4.998	€ 4.998	€ 3.340	€ 3.340	€ 1.658
Control valves	€ 1.800	€ 8.520	€ 8.520	€ 8.520	€ 7.680	€ 7.680
Controls and sensors	€ 5.190	€ 13.846	€ 13.846	€ 13.690	€ 12.633	€ 11.353
Piping, insulation and balance valves	€ 92.413	€ 92.590	€ 92.590	€ 92.480	€ 92.480	€ 82.901
End units and TRVs	€ 45.952	€ 48.512	€ 48.512	€ 48.512	€ 48.512	€ 48.512
System peripherals	€ 9.153	€ 9.153	€ 9.153	€ 9.153	€ 9.153	€ 9.153

7. Economische analyse

→ Life Cycle Cost



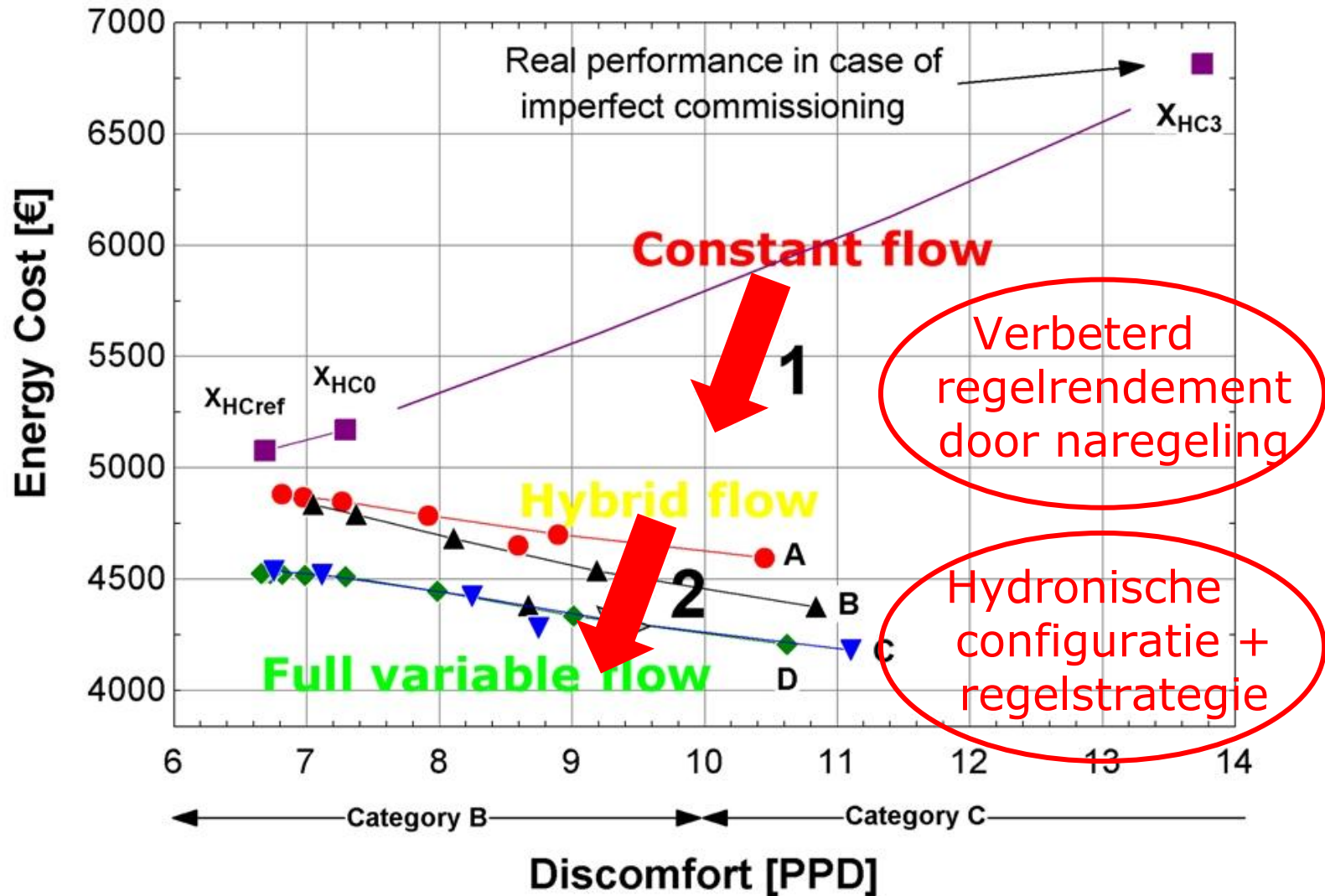
8. Conclusies

1. De hydronische configuratie en regelstrategie hebben een grote invloed op het comfort en het energieverbruik.
2. Installaties met evenwichtsfles hebben een lager productierendement en hoger pompverbruik.
3. '*Full Variable Flow*' (systeem D) resulteert in de **laagste energiekosten**:
 - Hoogste ketelrendement
 - Minste pompenergie
4. '*Full Variable Flow*' heeft de **laagste LCC** Life Cycle Cost.
5. '*Full Variable Flow*' geeft het **beste comfort** en geeft het beste Pareto evenwicht.

8. Conclusies

6. '*Full Variable Flow*' gaat gepaard met grote debiet- en drukvariatiën in het hele netwerk. Hydraulische balans en correct hydronisch ontwerp is zeer belangrijk.
7. Specifieke aandachtspunten:
 - Minimum keteldebiet
 - Regelbereik en lekdebiet van kleppen
 - Distributieverliezen → isolatie
8. Voorgaande analyses gaan uit van perfecte hydraulische balans en perfecte commissioning.
→ **besparingen in reële situaties worden groter ingeschat.**

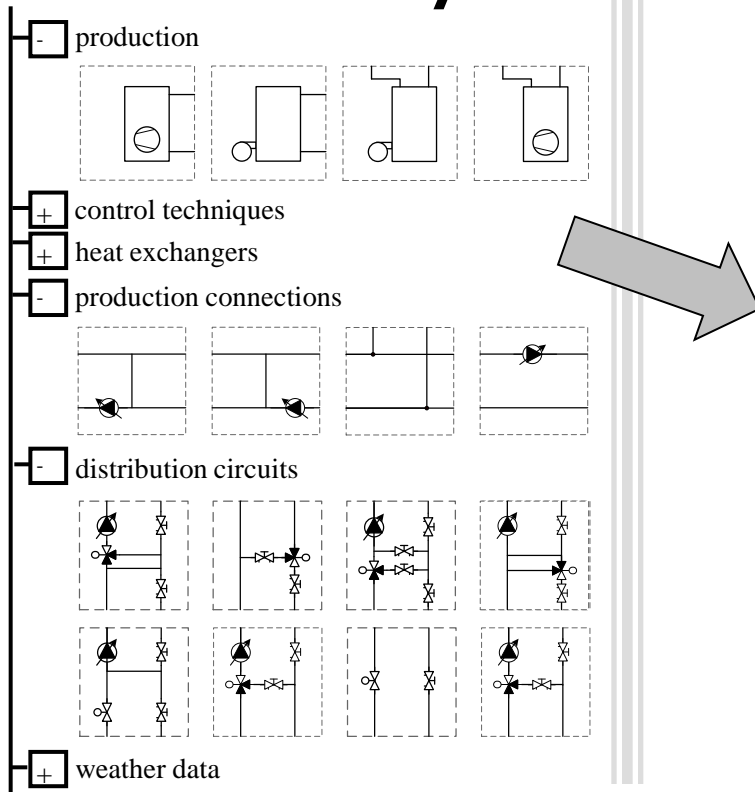
8. Conclusies



9. Ontwerpen, Simuleren, Optimaliseren

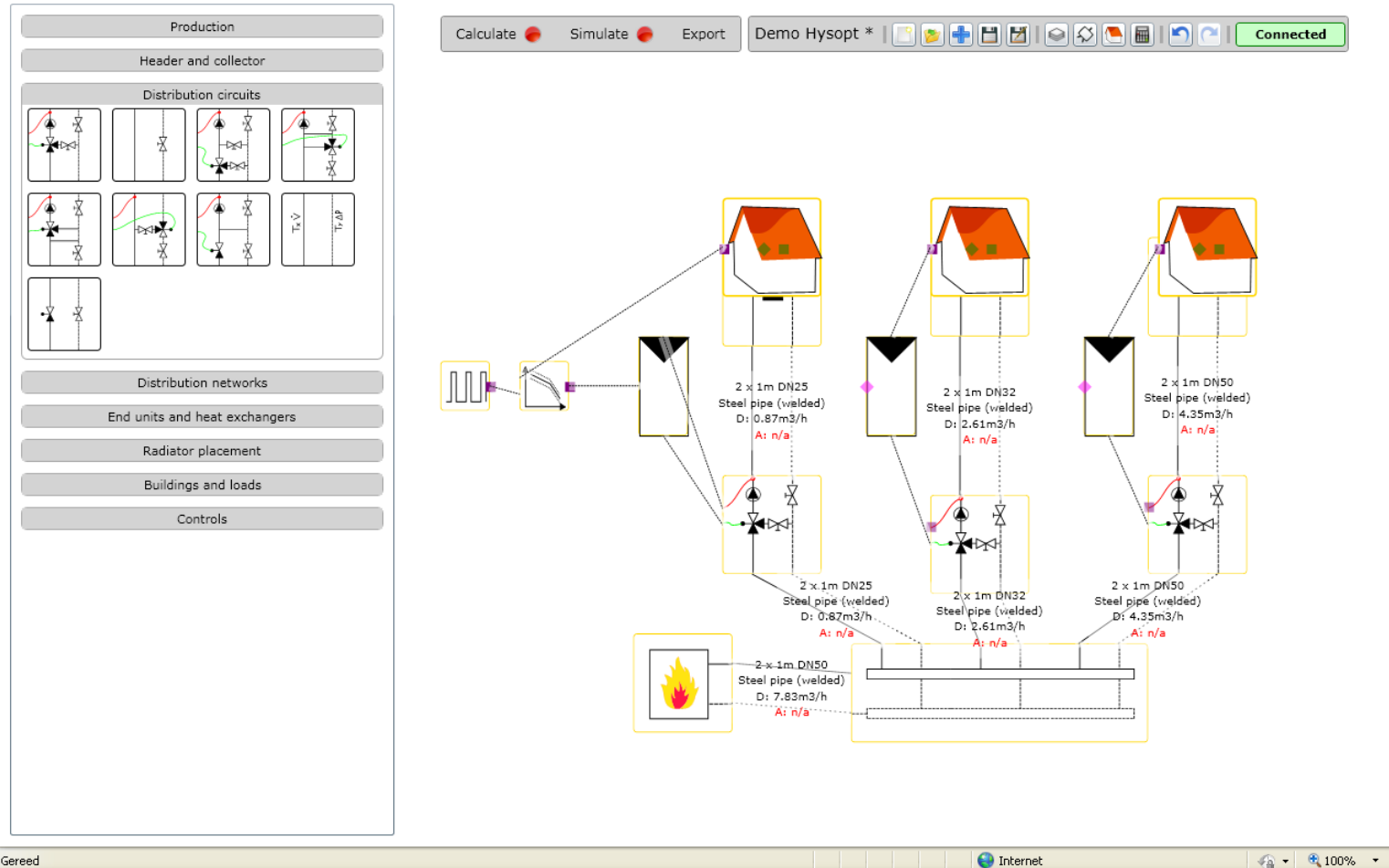
→ Base Circuit Methodology

BCM library



9. Ontwerpen, Simuleren, Optimaliseren

→ Hydronic System Optimisation



9. Ontwerpen, Simuleren, Optimaliseren

→ **Hydronic System Optimisation**



roel.vandenbulcke@hysopt.com