

# Problemer relateret til ændret anvendelse

*En gennemgang af varmesystemet for gammel produktionshal*

---



(Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur 2023)

Diplom afgangsprøve

Pedersen, Daniel T.

Indeklima og Energi

Aalborg Universitet

Den 11. januar 2024



**AALBORG UNIVERSITET**  
STUDENTERRAPPORT

**Fjedre Studieår v/ Det Teknisk-  
Naturvidenskabelige Fakultet**

Indeklima og Energi  
Thomas Manns Vej 23  
9220 Aalborg Øst

**Titel:**

Problemer relateret til ændret anvendelse

**Tema:**

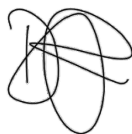
Bachelorprojekt

**Projekt periode:**

Oktober 2023 - januar 2024

**Forfatter:**

Pedersen, Daniel Tønning



---

Daniel Tønning Pedersen

dtpe20@student.aau.dk

**Sidetæl: 80**

**Bilag sider: 17**

**Afsluttet 11. januar 2024**

**Synopsis:**

Følgende rapport har til formål at belyse nogle af de problematikker relateret til ændret anvendelse af gamle eksisterende bygninger. Gennem indledningen afgrænses der til en gammel telefonfabrik på Ane Staunings Vej 21, som er omdannet til lejemål med forskellig anvendelse. I denne forbindelse præsenteres en problemformulering, med fokus på problematikker relateret til retrofitting af komponenter i varmecentralen, og hvordan disse kan optimeres. Undersøgelsen af komponenterne er med afsæt i målinger og teoretiske beregninger. Der er således lavet beregninger for bygningens dimensionsgivende varmetab og lavet kapacitetsanalyse af de udvalgte komponenter.

I forbindelse med optimeringen, vil besparelsen i driftsomkostninger anslås, hvilket leder til en reflektoring af hvordan disse løsninger kan implementeres af bygherren. Disse refleksioner bruges også til at redegøre for, hvordan incitament kan øges hos bygherrer i fremtidige lignende projekter.



# Abstract

---

This report is made by Daniel Tønning Pedersen, as a final project for the "*Bachelor of Engineering in Civil Engineering with specialisation in Indoor Environmental and Energy Engineering*". The report is written from October 2023 to January 2024, with help from the guidance counselor Per Kvols Heiselberg at Aalborg University. The paper is also written in cooperation with HJ-Energi ApS, whose tools and knowledge to the real-life case this project is written by have been provided by the company.

The project aims to highlight some of the issues related to an existing energy renovation project with change in use of an old production building. The focus is on the main components in a heating system such as the plate heat exchanger, circulation pump and regulating control valves, with analysis of their operation and size.

Through calculations of the dimensioning heat loss, as determined by the danish standard *DS418*, potential weak spots in the building envelope or ventilation system will be highlighted as possibilities for improvement.

The components are analyzed through calculations and measurements by use of different hydraulic measurement tools such as the IMI TA-SCOPE.

The building will be optimized in order to reduce the dimensioning heat loss, which also reduce the size of the components in the heating system.

In combination with size reduction and better operation of the heating system components, the possible annual energy savings are calculated by use of weather data from the design reference year (DRY) in Denmark, as determined by the current building regulation *BR18*.

The calculated savings will be used to support different arguments for implementation by the project owner.

The findings of this report will also be used to reflect on how these issues can be avoided in similar projects, as this project aims to highlight real-life issues related to energy renovations.

# Forord

---

Formålet med dette afgangsprøve er, at dokumentere skribentens viden, færdigheder og kompetencer på et niveau svarende til en professionsbachelor indenfor specialiseringen *indeklimate og energi* i ingeniørfaget. Projektet tager udgangspunkt i et virkeligt, igangværende projekt, hvor problemløsningen tager afsæt i virkeligheden. Af krav til læringsmål fra Aalborg Universitets studieordning, kan nævnes: ([Aalborg Universitet 2023](#))

- **Viden**

- Skal have udviklingsbaseret viden om og forståelse for professionens og fagområdets praksis og anvendt teorier og metoder inden for den valgte specialisering.

- **Færdigheder**

- Skal kunne anvende fagområdets metoder og redskaber og skal mestre de færdigheder, der knytter sig til beskæftigelse inden for professionen
- Skal kunne vurdere praksisnære og teoretiske problemstillinger samt begrunde og vælge relevante løsningsmodeller

- **Kompetencer**

- Skal på selvstændig måde kunne problemformulere, gennemføre, dokumentere og præsentere et projektarbejde omfattende en kompleks og udviklingsorienteret opgave inden for centrale emner af de den valgte specialisering
- Skal kunne identificere egne læringsbehov og udvikle egen viden, færdigheder og kompetencer i relation til professionen.

En speciel tak udledes til skribentens vejleder, Per Kvols Heiselberg som har været en stor hjælp under hele projektets forløb. Der takkes også for bidraget fra HJ-Energi ApS, som har været behjælpelig med ressourcer og indblik i sagen projektet omhandler, hvilket har gjort projektet til en realitet.

## Læsevejledning

Kildehenvisninger sker ved Harvard metoden (forfatter,årstal). For online kilder er forfatteren angivet efterfulgt af årstallet. Sidste redigering af siden angives som datering. Hvis denne ikke kendes anvendes u.å., hvilket betyder, ukendt årstal. I tilfælde af samme forfatter og årstal indikerer et bogstav i () hvilken kilde, der specifikt menes. Litteraturlisten er sorteret efter rækkefølgen: Navn, titel og til sidst årstal. Kildens placering angiver hvad kilden dækker over. Her gælder følgende i denne rapport:

- Når kilden er angivet efter en påstand er kilden til pågældende påstand.
- Når kilden er angivet i slutningen af en sætning, inden for punktum, er kilden til hele sætningen.
- Når kilden er angivet efter punktum er denne til hele forgående afsnit.

Alle andre referencer angives med numre. Figurer angives ved et selvstændigt tal, og der skrives "figur" inden figurtallet. Figurer uden kildehenvisning er udarbejdet af skribenten. Formler vil have en parentes () omkring formelnummeret, og der vil blive refereret til formler ved (1), hvis det er formel nummer 1, der bliver refereret til.

# Indholdsfortegnelse

---

|                  |                                                             |           |
|------------------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Kapitel 1</b> | <b>Indledning</b>                                           | <b>1</b>  |
| <b>Kapitel 2</b> | <b>Problemanalyse</b>                                       | <b>2</b>  |
| 2.1              | Stigende energipriser . . . . .                             | 2         |
| 2.2              | Energirenoverings tiltag . . . . .                          | 3         |
| 2.3              | Ændret anvendelse af produktionsejendom i Horsens . . . . . | 5         |
| 2.3.1            | Varmesystem . . . . .                                       | 7         |
| 2.3.2            | Problemer med varmesystem . . . . .                         | 11        |
| <b>Kapitel 3</b> | <b>Problemformulering</b>                                   | <b>13</b> |
| <b>I</b>         | <b>Nuværende forhold</b>                                    | <b>14</b> |
| <b>Kapitel 4</b> | <b>Varmebehov</b>                                           | <b>15</b> |
| 4.1              | Varmetab . . . . .                                          | 15        |
| 4.1.1            | Klimaskærmen . . . . .                                      | 15        |
| 4.1.2            | Ventilationstab . . . . .                                   | 16        |
| 4.2              | Cirkulationstab . . . . .                                   | 19        |
| 4.3              | Varmt brugsvand . . . . .                                   | 21        |
| 4.4              | Varmetab fra vekslere . . . . .                             | 23        |
| 4.5              | Nødvendig energi til opvarmning . . . . .                   | 23        |
| <b>Kapitel 5</b> | <b>Varmecentral</b>                                         | <b>24</b> |
| 5.1              | Cirkuleringspumper . . . . .                                | 24        |
| 5.2              | Pladevarmeveksler . . . . .                                 | 31        |
| 5.3              | Driftsanalyse . . . . .                                     | 33        |
| 5.3.1            | Flow over vekslere . . . . .                                | 34        |
| 5.4              | Motorventil . . . . .                                       | 36        |
| <b>II</b>        | <b>Løsninger</b>                                            | <b>40</b> |
| <b>Kapitel 6</b> | <b>Energirenovering</b>                                     | <b>41</b> |
| 6.1              | Tiltag . . . . .                                            | 41        |
| 6.2              | Klimaskærm . . . . .                                        | 41        |
| 6.3              | Ventilation . . . . .                                       | 44        |
| <b>Kapitel 7</b> | <b>Varmecentral</b>                                         | <b>45</b> |
| 7.1              | Pladevarmeveksler . . . . .                                 | 45        |
| 7.1.1            | Sænket drifttilstand . . . . .                              | 47        |
| 7.1.2            | Ny opbygning af varmecentral . . . . .                      | 48        |

|                   |                                                           |           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 7.2               | Motorventiler . . . . .                                   | 49        |
| 7.3               | Cirkuleringspumper . . . . .                              | 50        |
| 7.4               | Opsamling . . . . .                                       | 52        |
| <b>Kapitel 8</b>  | <b>Implementering</b>                                     | <b>53</b> |
| 8.1               | Energibesparelse . . . . .                                | 53        |
| 8.2               | Miljømæssig besparelse . . . . .                          | 55        |
| 8.2.1             | Energitilskud . . . . .                                   | 55        |
| <b>Kapitel 9</b>  | <b>Diskussion</b>                                         | <b>57</b> |
| <b>Kapitel 10</b> | <b>Konklusion</b>                                         | <b>58</b> |
| <b>Litteratur</b> |                                                           | <b>59</b> |
| <b>Appendix A</b> | <b>Beregning af varmetab</b>                              | <b>63</b> |
| A.1               | Arealer . . . . .                                         | 63        |
| A.2               | Koefficienter til beregning af transmissionstab . . . . . | 64        |
| <b>Appendix B</b> | <b>Tryktab</b>                                            | <b>66</b> |
| B.1               | Modstandskoefficienter til enkelttab . . . . .            | 66        |
| B.2               | Tryktab til cirkulationspumper . . . . .                  | 67        |
| B.3               | Måling af tryktab over veksler . . . . .                  | 70        |
| B.4               | Data pladevarmeveksler . . . . .                          | 72        |
| <b>Appendix C</b> | <b>P&amp;ID symboler</b>                                  | <b>73</b> |
| <b>Appendix D</b> | <b>Data fra ny veksler</b>                                | <b>74</b> |
| <b>Appendix E</b> | <b>Pumpekarakteristik</b>                                 | <b>75</b> |
| E.1               | Hovedpumpe . . . . .                                      | 75        |
| E.2               | Pumpe til stor kreds . . . . .                            | 76        |
| <b>Appendix F</b> | <b>Gradtimer til besparelsesberegning</b>                 | <b>77</b> |



# Bilags liste

---

## Filliste

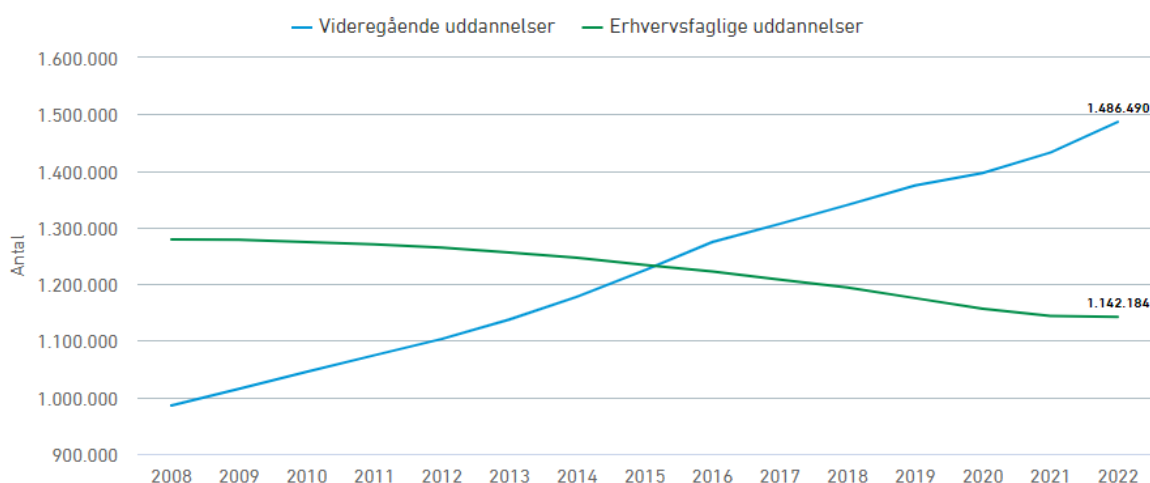
VVB.xlsx

# Indledning 1

Gennem den seneste årrække er der set en stigning i antallet af danskere med videregående uddannelse. Hermed er antallet af erhvervsuddannede faldet, hvorfor der ses en stigende efterspørgsel på kontorlejemål. Udviklingen kan også ses på Figur 1.1. ([Danmarks Statistik 2024a](#))

## Antal 15-69-årige fordelt efter højest fuldførte uddannelse

Højest fuldførte uddannelse:



**Figur 1.1.** Udvikling af højeste uddannelse hos den danske befolkning ([Danmarks Statistik 2024a](#))

Et mere uddannet samfund gør, at Danmarks eksport af service relateret til viden også vil stige. Dermed vil der være mindre fokus på produktion og eksport af div. goder, hvilket overflødiggør mindre produktionsejendomme. Dette illustreres også i faldet af antal bygninger af typen fabrikker, værksteder og lign. fra 68.481 i 2011 til 49.767 i 2023. I samme periode er antallet af bygninger til kontor, handel, lager, offentlig administration mv. steget fra 75.671 til 101.769. ([Danmarks Statistik 2024b](#))

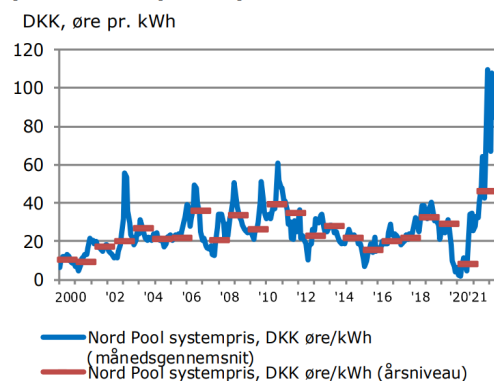
Som en del af denne omdannelse af bygningstyper, vil gamle produktionsejendomme el.lign. blive udnyttet til nye formål. Det betyder at der vil være ændrede behov til bygningens indeklima, hvilket også påvirker energiforbruget. Gamle produktionsejendomme er ikke særlig energieffektive, da disse som regel er bygget i en tid med lave minimumskrav ift. bygningens energiforbrug. Det betyder at bygningerne vil bruge mere energi end nødvendigt ved ændret anvendelse, såfremt de ikke energioptimeres. Dette i kombination med stigende energipriser, gør det til et særligt fokuspunkt at energioptimere gamle produktionsejendomme, så driftsomkostningerne mindskes samtidigt med der opnås en mere miljømæssig bæredygtig bygningsdrift. Bemærk at dette kun gør sig gældende for ændret anvendelse af bygninger der ikke er omfattet §267 i BR18, hvorfor fx uisolerede lagerbygninger er tvunget til at blive energioptimeret ([Social- og Boligstyrelsen 2024](#)).

# Problemanalyse 2

## 2.1 Stigende energipriser

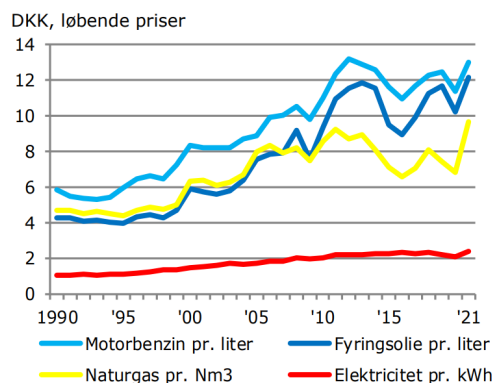
I løbet af den seneste årrække, er der set en stigning i energipriser, hvilket både relaterer sig til el og varme. Mange faktorer har påvirket disse stigende energipriser, med stigning i både afgifter såvel som den reelle indkøbspris pr. energienhed. På Figur 2.1 og Figur 2.2, ses der en stigning i energipriserne fordelt på forskellige energityper. Her skal det bemærkes, at værdierne på Figur 2.2 er korregeret til 2021 priser, og priserne er taget som et årgennemsnit, hvorfor kortvarige prisstigninger er svær at se på graferne. ([Energistyrelsen 2021](#))

**Spotmarkedspriser på el**



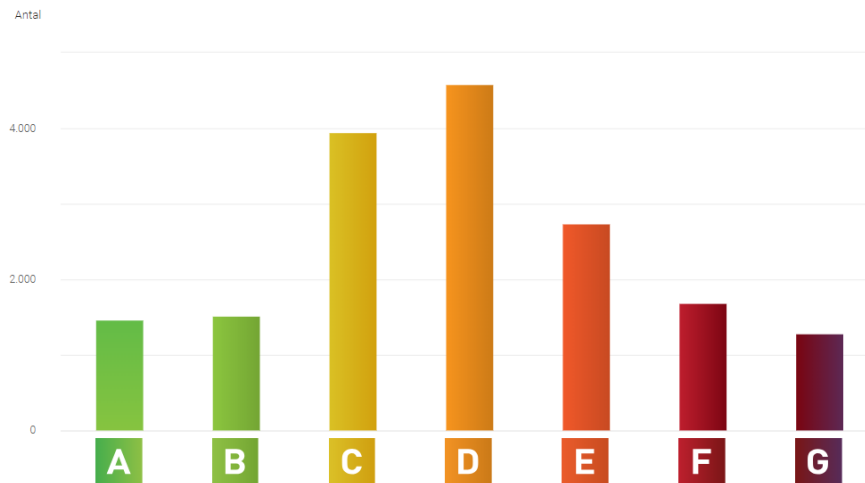
**Figur 2.1.** Priser på el fra 2000-2021 ([Energistyrelsen 2021](#))

**Energipriser for husholdninger**



**Figur 2.2.** Årgennemsnit for div. energipriser fra 1990-2021. Korregeret ud fra 2021 priser ([Energistyrelsen 2021](#))

De stigende energipriser har derfor skabt en bredere interesse i energirenoveringer ift. varmeenergiforbruget. Det strækker sig både fra enfamiliehuse til erhvervsejendomme. Ud fra alle bygningsaldre og varmetyper indenfor bygningskategorien "*handel og kontor*", har over halvdelen af alle disse bygninger i Danmark fra dd. et energimærke C eller dårligere. Se evt. Figur 2.3. ([Energistyrelsen 2023c](#)) Set fra driftsomkostningerne, vil det derfor give mest økonomisk mening, at energirenovere i de fleste tilfælde.



**Figur 2.3.** Statistisk fordeling af alle energimærker for handels- og kontorbygninger, uafhængig af varmetype (Energistyrelsen 2023c)

Fordelingen af energimærker kan også skyldes, at de fleste energimærkede bygninger er fra før årtusindeskiftet, hvor bygninger fra 1999 til nutid udgør 3.655 á 17.233, svarende til ca. 20%. (Energistyrelsen 2023c) Bygninger ældre end 1999, har generelt set haft en del ringere minimumskrav der bidrager til et højere energiforbrug. Denne statistik giver også øget incitament til at have større fokus på energirenoering i de fleste tilfælde, men på hvilke punkter bliver der energirenoeret?

## 2.2 Energirenoerings tiltag

For at mindske en bygnings energiforbrug kan der gøres flere ting. Af de mest almindelige, kan nævnes:

- Bedre isoleret klimaskærm. Herunder efterisolering af vægge og udskiftning af vinduer
- Udskiftning af gamle varmekilder. Hermed udnyttes varmeenergien bedre, og forbruget af energienhed pr. kWh varme vil sænkes.
- Opførsel eller optimering af komponenter i ventilationsaggregat.

Efterisolering af klimaskærmen kan være en effektiv måde på at forbedre en bygnings energiramme, da ældre bygninger havde lempelige krav til U-værdier under opførsel, sammenlignet med i dag. Som eksempel, kan en udvikling af U-værdikravene for udvalgte bygningsdele gennem årene, ses på Tabel 2.1.

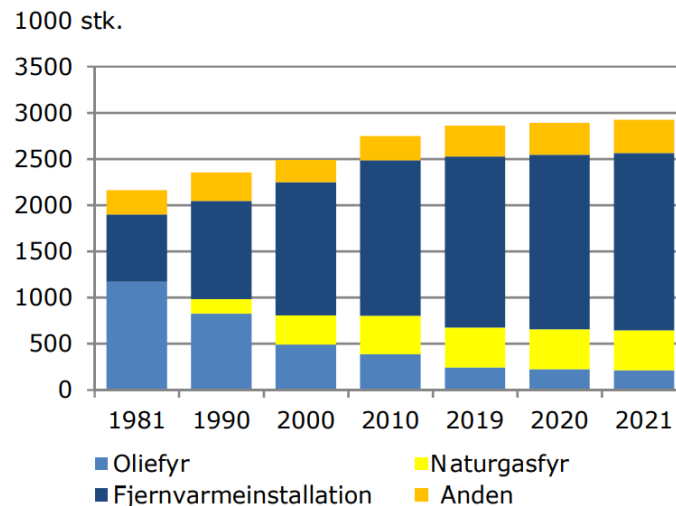
| Konstruktionsdel                  | 1961 | 1982 | 1995 | 2008 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|
| Ydervægge af teglsten             | 1,1  | -    | -    | -    |
| Ydervægge > 100 kg/m <sup>2</sup> | 0,85 | 0,4  | 0,3  | 0,4  |
| Ydervægge < 100 kg/m <sup>2</sup> | 0,5  | 0,3  | 0,2  | 0,4  |
| Terrændæk                         | 0,4  | 0,3  | 0,2  | 0,3  |
| Vinduer                           | 2,9  | 2,9  | 1,8  | 2    |

**Tabel 2.1.** Historisk krav til U-værdien  $\left[ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \right]$  afhængig af konstruktionstype (Energistyrelsen 2023e)

Som anden form for energirenoering, kan gamle varmekilder udskiftes. Over de seneste år er der især sket en stigning i andel af bygninger med fjernvarme som varmekilde, hvilket kan ses på Figur 2.4. Dette

er ikke kun fordi det er en energieffektiv løsning, men har også været politisk bestemt. Kommunerne havde frem til 1. januar 2019, kunne indføre tilslutningspligt på lokalplaner, hvilket har påvirket nye såvel som gamle bygninger. (Lemke 2019)

### Varmeinstallationer i boliger



**Figur 2.4.** Antal af varmeinstallationer i boliger fra 1981-2021 (Energistyrelsen 2021)

I kombination med dette, blev der i 2020 indført en ny klimalov, hvor der også blev udgivet midler til en "fjernvarmepulje", der har fokus på at udfase olie- og naturgasfyr til fordel for fjernvarmeinstallationer, hvilket skal sænke den samlede CO<sub>2</sub> belastning af Danmarks varmeforsyning. (Energistyrelsen 2023a) Således vil kommuner have mere økonomi til at udvide deres fjernvarmenet, og hermed også konvertere naturgasområder til fjernvarme. Dette er tilfældet for Horsens kommune, der også før klimaloven har haft fokus på at øge adgang til fjernvarme for kommunens boliger siden 2013, hvorfor de allerede nu har sikret fjernvarme til ca. 80% af alle boligerne i kommunen. Hermed er der gennem den seneste årrække sket en markant udskiftning af naturgasfyr til fjernvarmeinstallationer. Det betyder ikke at fjernvarmeverkerne ikke bruger naturgas som varmekilde til tider, men på denne måde sikrer man at opvarmning af boliger ikke udelukkende sker gennem naturgas. (Horsens Kommune 2023)

Den sidste form for energirenovering der specielt egner sig til erhvervet, er optimering af komponenter i et ventilationsaggregat. Mange gamle ventilationsaggregater har lidt til ingen varmegenvinding, kører længere end nødvendigt og gør brug af AC ventilatorer. Alle disse faktorer resulterer i et energiforbrug højere end nødvendigt set fra dagens standarder. En casesamling udgivet af energistyrelsen viser, at Fertin Pharma sparede næsten 1 mio. kr. om året på driftomkostningerne relateret til ventilationen, ved at optimere på sidstnævnte punkter. Det samme gør sig gældende ved Novo Nordisk A/S, hvor de efter optimering af ventilation for en af deres fabrikker, opnåede en årlig besparelse på 848 MWh, svarende til 500.000 kr. (Energistyrelsen Ukendt)

Ovenstående energibesparende tiltag er bare nogle af dem som der ses lige nu, men energioptimeringer kan godt være problematiske, hvis der ikke tages højde for konsekvenserne af de handlinger.

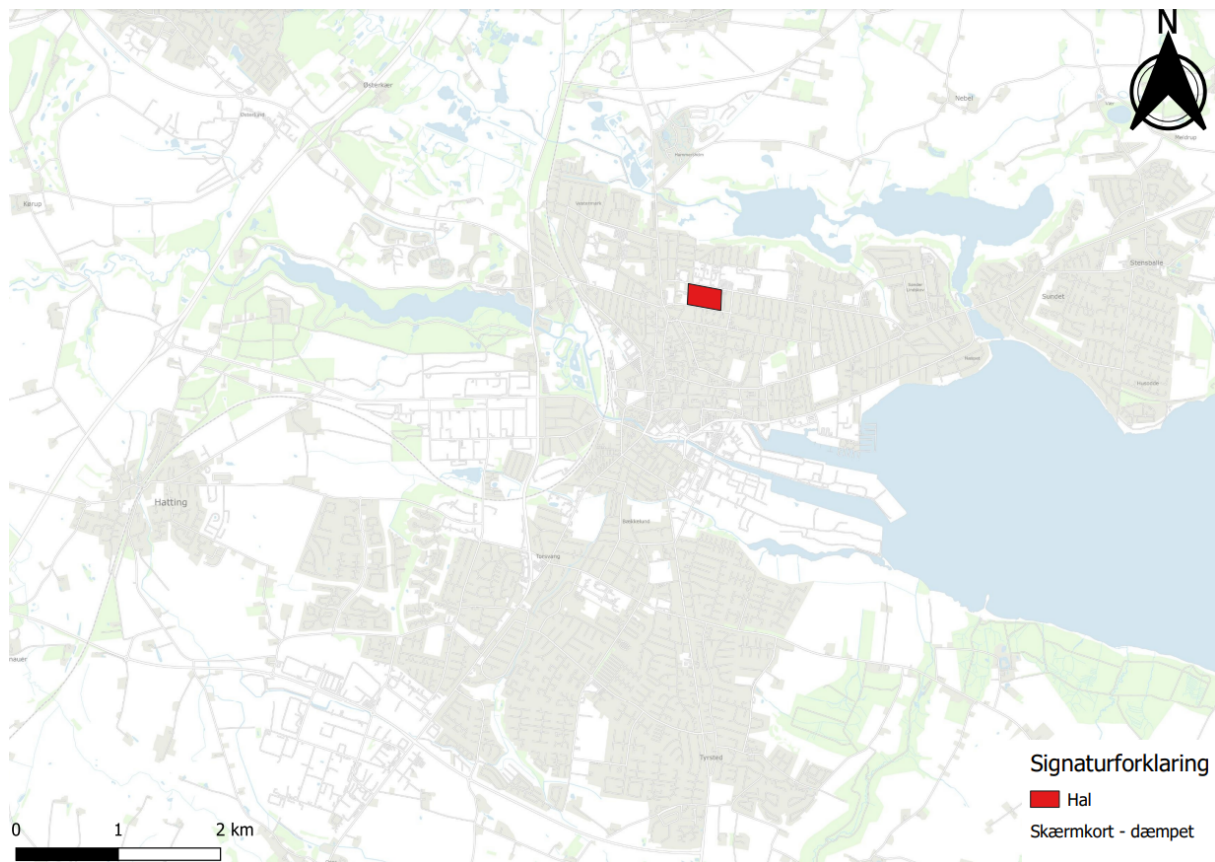
F.eks. kan det virke som en god ting at udskifte varmekilden, men hvis det er et gammelt naturgasfyr, vil hele varmefordelingssystemet være pålagt et andet temperatursæt, hvilket betyder at effektydelsen for alle varmegiverne vil blive påvirket. Som regel har gamle naturgasfyr et temperatursæt på 80/60,

hvor nye indirekte fjernvarmeinstallationer har et temperatursæt på 65/35 (temperatursæt for indirekte fjernvarmeanlæg varierer fra kommune til kommune). Såfremt der gøres brug af radiatorer, kan det sænke varmeoutputtet pr. radiator med omkring 54%, med udgangspunkt i et skift fra 80/60 til 65/35. (Videncenter for energibesparelser i bygninger 2021)

Der skal også tages højde for, om en bygnings energibehov er steget under energirenoveringen, da der kan være tale om ændret anvendelse som eksempelvis fra gammel produktion til kontorer/undervisning. Varmebehovet kan hermed blive mere dynamisk end før, hvilket påvirker driften af varmesystemet. Det er ikke altid der bliver taget højde for alle faktorer under ændret anvendelse, hvilket f.eks. er tilfældet for et renoveringsprojekt i Horsens, der omhandler ændret anvendelse af en gammel fabrik til forskellige lejemål i dag.

## 2.3 Ændret anvendelse af produktionsejendom i Horsens

I 2021 blev den gamle Kristian Kirks Telefonfabrikker opkøbt af Ballegaard Ejendomme A/S, med formål på nedrivning og ny-etablering af etagebyggeri på grunden. Dog viste det sig, at der var stor efterspørgsel på lejemål til uddannelse, produktion eller andet erhverv, hvor flere allerede var indlejet ved opkøbet. Det ændrede formålet med opkøb af ejendommen, hvorfor det udviklede sig til et energi-renoveringsprojekt, med fokus på de tekniske installationer. Den gamle fabrik er beliggende på Ane Staunings vej 21, 8700 Horsens, og placeringen er illustreret på Figur 2.5. Det opvarmede etageareal er 24.422 m<sup>2</sup>, med et uopvarmet kælderareal på 2.235 m<sup>2</sup>. (Vurderingsstyrelsen 2023)



**Figur 2.5.** Placering af hal. Baggrundskort jf. (Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur 2023)

Den store hal, markeret med grøn på Figur 2.6, er opført i 1965, hvor den dertilhørende administra-

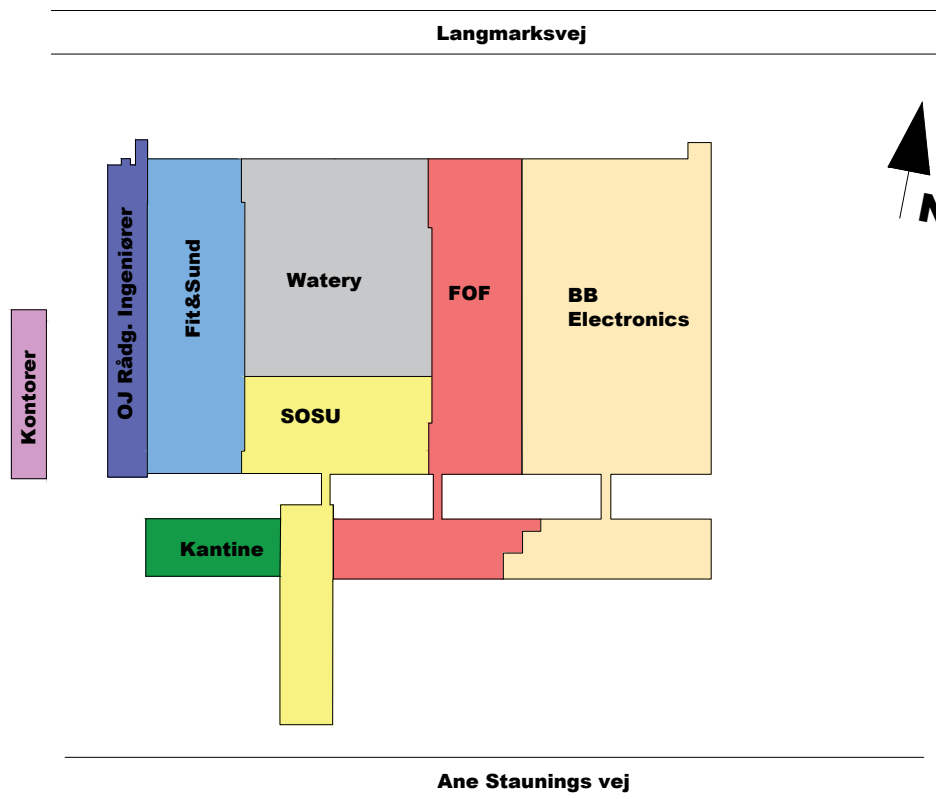


tionsbygning, markeret med blå på Figur 2.6, er opført i 1967. Udover disse to bygninger, er der også en tredje lidt nyere kontorbygning opført i 1982, med placering vest for de to ældre bygninger ([Vurderingsstyrelsen 2023](#)). Denne er markeret med rød på Figur 2.6. Bygningerne er derfor opført i en periode hvor specielt vinduer havde dårligere isoleringsevne, sammenlignet med nutidens lavenergigiruder. Derudover vil de fleste tekniske installationer være af samme alder som bygningerne, hvorfor f.eks. komponenter i varmesystemet burde blive udskiftet til nye, og bør beskyttes mod skidt fra de gamle fordelerrør.



**Figur 2.6.** Skråfoto af hal, med farvemarkering af gammel anvendelse ([Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur 2023](#))

Som tidligere nævnt, er den nye anvendelse mere blandet, hvor den store hal består af div. værksteder til erhvervsuddannelser med dertilhørende gymnastiksal fra FOF, produktion for BB Electronics, fitness center for Fit&Sund, lager for Watery og kontor for OJ rådgivende ingeniører. Den dertilhørende administrationsbygning består i dag af kontorer for BB electronics og FOF, hvor etagebyggeriet optages af SOSU. Den gamle administrationsbygning består også af en fælles kantine. Disse arealfordelinger kan ses på Figur 2.7.



Figur 2.7. Skitse af lejefordeling

Den nye anvendelse sætter andre krav til varmesystemet, da der nu vil være behov for anden komforttemperatur end tidligere for de fleste lejefæl. Derudover skal inddelingen af varmesystemet bestå af flere blandesøjfer, så varmekorbruget deles ud på de forskellige lejefæl, men hvordan er systemet bygget op i dag?

### 2.3.1 Varmesystem

Da varmesystemet er stort, vil dette være en mere overordnet beskrivelse af varmecentralen, fordelingsprincippet ud til blandesøjferne og deres opbygning samt varmegiverne i de forskellige lejefæl.

#### Varmecentral

Varmecentralen er beliggende i den østlige del af den gamle administrationsbygning, med gulv i kælderplan, hvor de primære fordelingsrør går ud i ingeniørgange under den store hal. Placeringen kan ses på Figur 2.8





**Figur 2.8.** Placering af varmecentral i gamle administrationsbygning ([Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur 2023](#))

Varmeinstallationen er udskiftet fra et gammelt naturgasfyr, til tre pladevarmevekslere i paralleldrift, se Figur 2.9. På primærsiden bliver flowet styret af tre motorventiler, en til hver veksler, hvor flowet på sekundærsiden styres af returbegrænsningen fra styreenheden, vha. en trykafhængig reguleringsventil. Systemet er udekompenseret, hvorfor sætpunktet for fremløbstemperaturen på sekundærsiden er afhængig af udetemperaturen. Under udskiftning af varmeinstallationen, er den nominelle effekt for varmevekslerne den samme som den for det gamle naturgasfyr, hvilket er 2.340 kW.



**Figur 2.9.** Billede af de 3 pladevarmevekslere i varmecentralen

For at pumpe ud til de forskellige blandesløjfer, er der installeret to forskellige størrelser cirkulerings-

pumper, da én pumpe vil have et for stort elforbrug udenfor opvarmningssæsonen. Pumpernes hastighed bestemmes som sagt af styreenheden der åbner for en motorventil på retursiden for den største kreds. Pumperne sørger for at opretholde et konstant tryk efterhånden som motorventilen åbner op, hvilket øger flowet i rørene. Således vil den rigtige fremløbstemperatur nå ud til alle blandesløjfer.

Da varmesystemet er et lukket, indirekte system, er det også udstyret med en ekspansionsbeholder.

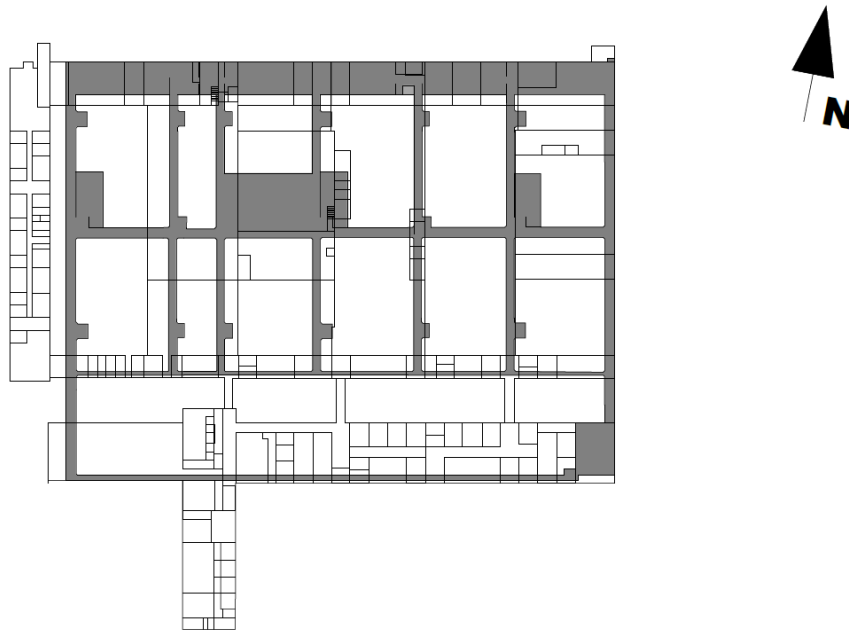
### Varmedfordeling

Som tidligere nævnt, er alle fordelerrør ud til blandesløjferne i den store hal, trukket igennem ingeniørgange, og ud til div. teknikrum. Da fordelerrørene skulle håndtere en stor massestrøm under opførsel, grundet det høje temperatursæt da varmekilden var naturgas, er rørene af størrelse DN200, med god isolering. Problemer med distributionstab vil derfor minimeres ved et lavere temperatursæt, og rørenes kapacitet er tilstrækkelig. Se Figur 2.10 for billede af ingeniørgang.



**Figur 2.10.** Billede af ingeniørgange under hallen

Kortlægning af ingeniørgangene under bygningerne kan ses på Figur 2.11.



**Figur 2.11.** Skitse af ingeniørgange under gammel administrationsbygning og produktionshal, markeret med grå

### Blandesløjfe

Blandesløjferne er af simpel opbygning, med kun 2 komponenter til regulering af vandstrømmen. En grundfos cirkuleringspumpe og MIXIT 3-vejs ventil. Se Figur 2.12 for billede af opbygning. Denne løsning er nemmere at installere og indregulere, da pumpen styres af ventilen, hvor MIXIT ventilen erstatter alle de andre kendte komponenter i en blandesløjfe som kontraventil, dynamisk strengreguleringsventil og temperatursensorer. Denne løsning gør det også nemmere at integrere blandesløjferne i CTS systemet.





**Figur 2.12.** Billede af opsætning for blandesløjfe

Der er også installeret en manuel strengreguleringsventil, men denne har kun til formål at verificere vandmængderne, og kan samtidigt afspærre kredsen ved evt. vedligehold.

### Varmegivere

Varmegiverne er forskellige fra hvert lejemål, men som udgangspunkt er den gamle hal varmet op af strålevarmepaneller, hvor de er blevet skiftet ud med vandkalorifere nogle steder. Kalorifererne er bedre egnet det temperatursæt der leveres af fjernvarmeinstallationen, men de gamle strålepanelers kapacitet er sænket væsentligt, da deres effektivitet afhænger af et højt temperatursæt. Da BB electronics har skærpede krav til luftfugtigheden grundet følsomme produkter, er alle aggregater til lejemålet udstyret med en væskekoblet eftervarmeplade, som også er i drift udenfor opvarmningssæsonen.

Den gamle administrationsbygning varmes op af radiatorer der tidligere var alt for små, men i dag bliver der brugt radiatorer passende til det nye temperatursæt. Alle de nye varmegivere er dimensioneret ud fra et antaget varmetab på  $150 \text{ W/m}^2$ , hvilket kan være en overvurdering af bygningens reelle varmetab.

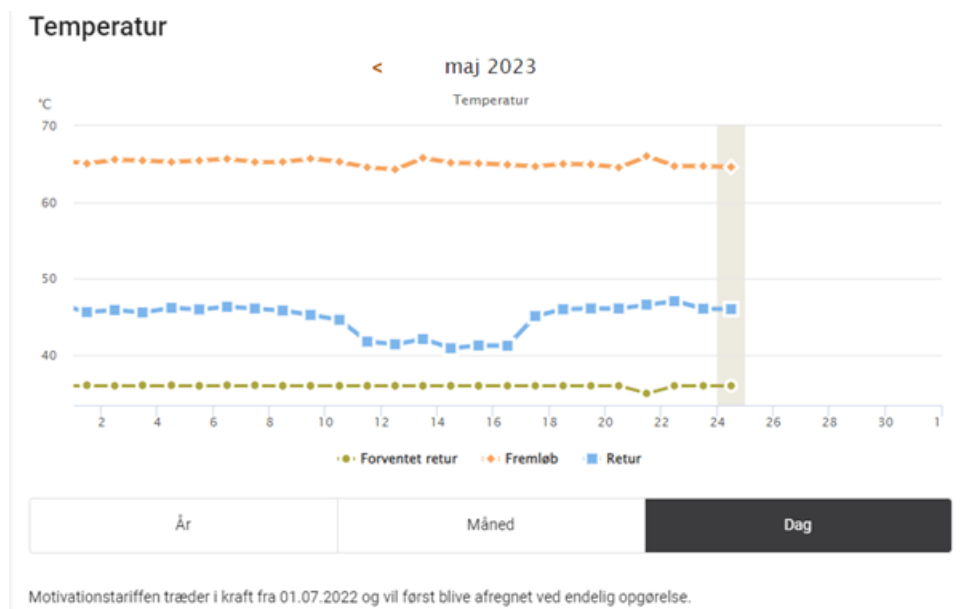
### 2.3.2 Problemer med varmesystem

Af ovenstående beskrivelser, kan det konkluderes at nye komponenter er retrofittet i varmesystemet, hvor der også er sket en udskiftning i varmeinstallationen fra naturgasfyr, til pladevarmevekslere udlagt for samme effekt. Hermed blev temperatursættet sænket fra 80/60 til 55/25, hvor sidstnævnte er dimensioneringsgrundlaget fra Horsens kommune ([Fjernvarme Horsens 2023c](#)). Der har ikke været fokus på energioptimering af klimaskærmen, da bygningen allerede under renoveringsprojektet var lejet ud, hvor lejere klagede over mangel på varme.

Grundet pres fra udlejere, blev varmetabet som tidligere nævnt antaget til  $150 \text{ W/m}^2$  under dimensionering af varmegiverne, hvilket er højt sat. Her kan varmegiverne være overdimensioneret, men gennem god regulering behøver det ikke resultere i et højere energiforbrug. Dog kan varmesystemet

være overdimensioneret til en sådan grad, at det øger effektforbruget fra cirkuleringspumpen markant, grundet større tryktab i kredsen og for stor pumpe. Der kan også være tilfælde hvor der grundet for lang tid uden opvarmning, vil blive kaldt på mere varme end hvad varmesystemet kan håndtere, resulterende i en nedsænkning af fremløbstemperaturen. Det vides ikke med sikkerhed, om antagelsen på  $150 \text{ W/m}^2$  er realistisk, så det vil være nødvendigt at regne det dimensionsgivende varmetab for hele bygningen.

Under opførsel af fjernvarmeinstallationen, var driften af pladevarmevekslerne ikke ordenligt overvejet, da der kun blev taget højde for driften under dimensioneringstilfældet. Det ledte til en paralleldrift af vekslerne, hvor flowet bliver lige fordelt over alle 3 veksler. Paralleldriften vil ikke være et problem ved stort varmebehov, men udenfor opvarmningssæsonen, hvor det primære varmeforbrug går til varmt brugsvand (VBV), vil der i denne bygning være væsentligt lavere flow, da forbruget af VBV er begrænset i erhvervsejendomme. Grundet parallelkoblingen af vekslerne, vil det lave flow blive fordelt til alle 3. Pladevarmevekslernes effektivitet afhænger af turbulent flow, så ved meget lavt flow på sekundærsiden, risikerer man laminære flowtilstande og dermed også dårligere effektivitet for varmeveksleren, resulterende i dårligere afkøling af fjernvarmen på primærsiden. Problemet er illustreret på Figur 2.13, hvor returtemperaturen til fjernvarmeforsyningen er ca.  $10^\circ\text{C}$  over den øvre grænse sat af fjernvarmeforsyningen det meste af tiden.



**Figur 2.13.** Graf for frem- og returløbstemperatur fra Horsens fjernvarme i løbet af maj 2023

Paralleldriften af pladevarmevekslerne påvirker således den vægtede returtemperatur, og derfor vil bygningen blive pålagt en strafgift. Ved at optimere på drifttilstanden for vekslerne, som f.eks. kaskadedrift, vil der hypotetisk set være bedre mulighed for at have acceptabel afkøling på fjernvarmeforsyningen.

# Problemformulering 3

---

Gennem granskning af drift og opbygning af det nuværende varmesystem for den gamle telefonfabrik på Ane Staunings Vej 21, 8700 Horsens, er der fundet flere problemer med både opbygningen og driften af varmesystemet. Da der allerede er udført en del arbejde, vil det ikke være muligt at se projektet som en totalrenovering, da denne tilgang til problemet vil være urealistisk. Dette, i kombination med de stigende energipriser, gør det fra et økonomisk synspunkt mere relevant at energirenovere bygningen uden omkostningsrige indgreb, hvorfor følgende problemformulering til erhvervsejendommen stilles:

*Hvordan kan den gamle telefonfabrik drift- og energioptimeres, på en måde som ikke kræver væsentlige konstruktive ændringer af hverken klimaskærmen eller varmesystemet?*

Hertil er følgende underspørgsmål:

- Hvor stort er bygningens dimensionsgivende varmetab, og hvilke rentable renoveringstiltag kan der laves?
- Vil der være nok kapacitet i varmecentralen i dimensioneringstilfældet?
- Hvordan kan varmesystemet dimensioneres og reguleres på en måde som sikrer ordentlig afkøling hele året rundt, uden at bruge for meget energi?
- Hvordan sikres indførelse af løsningsforslag fra bygherre?

## **Del I**

# **Nuværende forhold**



# Varmebehov 4

---

I dette kapitel vil det samlede varmebehov bestemmes med afsæt i den nuværende tilstand. Varmebehovet vil ende med at blive delt over de forskellige lejemål, så det vides hvilken dimensionsgivende massestrøm der skal hen til de forskellige lejemåls blandesløjfer. Varmebehovet vil primært blive brugt til at undersøge de eksisterende komponenter i primært varmecentralen, hvor evt. løsningsforslag vil blive belyst senere. Grundet manglende tegningsmateriale, er der lavet antagelser ift. rørføringen ud til blandesløjferne samt den udlagte effekt til varmt brugsvand.

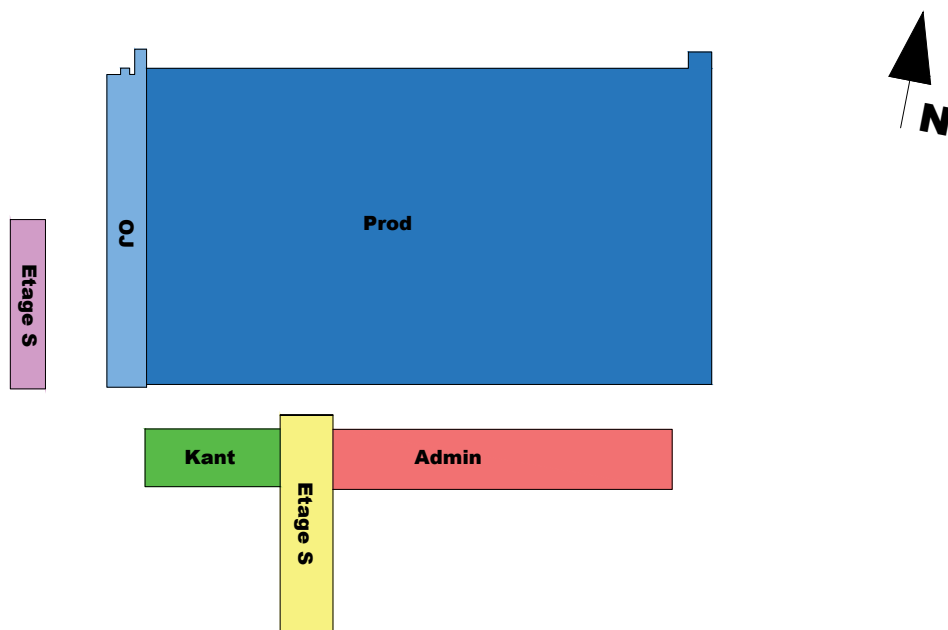
## 4.1 Varmetab

### 4.1.1 Klimaskærmen

Da klimaskærmen består af mange forskellige konstruktioner afhængigt af hvilket bygningsafsnit der er tale om, er klimaskærmen og dens arealer delt op. Til beregning af transmissionskoefficienter (U-værdi) og deres varmetab, er bygningen delt op i følgende:

- OJ rådgivende ingeniører (OJ)
- Gammel produktionshal (Prod)
- Gammel administrationsbygning (Admin)
- Kantine (Kant)
- Etagebygning S (Etage S)
- Etagebygning V (Etage V)

På Figur 4.1 illustreres opdelingen af disse bygningsafsnit.



**Figur 4.1.** Visualisering af opdelinger i bygningsafsnit

En oversigt af konstruktionernes U-værdier, linjetabskoefficienter og arealerne kan ses på Bilag A, s. 63. På Tabel 4.1, ses en oversigt af varmetabet gennem klimaskærmene.

| Bygningsafsnit | Transmissionstab [kW] |        |       |              | Linjetab [kW] |             |           |
|----------------|-----------------------|--------|-------|--------------|---------------|-------------|-----------|
|                | Vægge                 | Gulve  | Tag   | Vinduer/døre | Ydervæg/tag   | Karm på dæk | Terrændæk |
| OJ             | 3,41                  | 1,91   | 6,77  | 19,64        | 1,32          | 0,06        | 0,49      |
| Prod           | 9,06                  | 177,91 | 442,5 | 574,52       | 38,38         | 0,1         | 2,33      |
| Admin          | 3,7                   | 14,97  | 52,2  | 51,14        | 2,36          | 0,06        | 1,32      |
| Kant           | 0,46                  | 1,58   | 18,39 | 16,36        | 1,02          | 0,25        | 0,11      |
| Etage V        | 6                     | 1,31   | 3,1   | 12,7         | 2,75          | 0,03        | 0,73      |
| Etage S        | 7,25                  | 2,43   | 8,1   | 26,06        | 3,56          | 0,02        | 0,92      |
| <b>SUM</b>     | <b>1.517,3</b>        |        |       |              |               |             |           |

**Tabel 4.1.** Varmetab gennem klimaskærmen for alle bygningsafsnit

#### 4.1.2 Ventilationstab

Udover varmetab gennem klimaskærmen, skal der også tages højde for ventilationstab. Her vil der være tale om varmetab fra mekanisk ventilation og infiltration gennem klimaskærmen. Da ventilationsanlæggene er forholdsvis gamle, vil de have en dårligere varmegenvindingsgrad,  $\eta$  sammenlignet med nutidens standarder. Ved besigtigelse af ejendommen d. 14. november 2023, kunne  $\eta$  for nogle af de nyeste ventilationsaggregater i BB electronics beregnes vha. aflæste lufttemperaturer fra det tilgængelige CTS system. For at bestemme  $\eta$ , skal inblæsningstemperaturen før og efter varmegenvinding samt udsugningstemperaturen før veksleren kendes.

Fra CTS systemet, viste temperaturfølerne følgende:

|       |         |
|-------|---------|
| $t_i$ | 12,3 °C |
| $t_f$ | 6,2 °C  |
| $t_u$ | 21 °C   |

**Tabel 4.2.** Aflæste lufttemperaturer fra CTS system

Hvor:

|       |                                           |      |
|-------|-------------------------------------------|------|
| $t_i$ | Indblæsningstemperatur efter varmeveksler | [°C] |
| $t_f$ | Indblæsningstemperatur før varmeveksler   | [°C] |
| $t_u$ | Udsugningstemperatur før varmeveksler     | [°C] |

Ovenstående værdier kommer fra et aggregat der ikke har balanceret mekanisk ventilation, hvor indblæsningsluftmængden er på 9.000 m<sup>3</sup>/h med 7.000 m<sup>3</sup>/h udsugning igennem aggregatet, hvor de resterende 2.000 m<sup>3</sup>/h fremgår af procesudsugning med afkast direkte til omgivelserne.

For at beregne  $\eta$ , skal det beregnes hvor meget energi der er overført til indblæsningsluften fra udsugningsluften. Dette gøres vha. Ligning 4.1.

$$\Phi_{veksler} = q \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_i - t_f) \quad (4.1)$$

Hvor:

|                  |                                      |                      |
|------------------|--------------------------------------|----------------------|
| $\Phi_{veksler}$ | Varmeenergi overført af varmeveksler | [W]                  |
| $q$              | Volumenstrøm gennem varmeveksler     | [m <sup>3</sup> /s]  |
| $c_p$            | Specifik varmekapacitet for luft     | [J/(kg·°C)]          |
| $\rho$           | Densitet af luft                     | [kg/m <sup>3</sup> ] |

Ud fra en luftmængde på 9.000 m<sup>3</sup>/h og lufttemperaturer fra Tabel 4.2, fås:

$$\Phi_{veksler} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot (12,3^\circ\text{C} - 6,2^\circ\text{C}) = 18.391,5 \text{ W}$$

Ud fra ovenstående varmeenergi, kan temperaturen for udsugningsluften efter varmegenvinding udregnes ved at isolere for  $t_f$  i Ligning 4.1, som her benævnes  $t_a$  for temperatur i afkastluft.

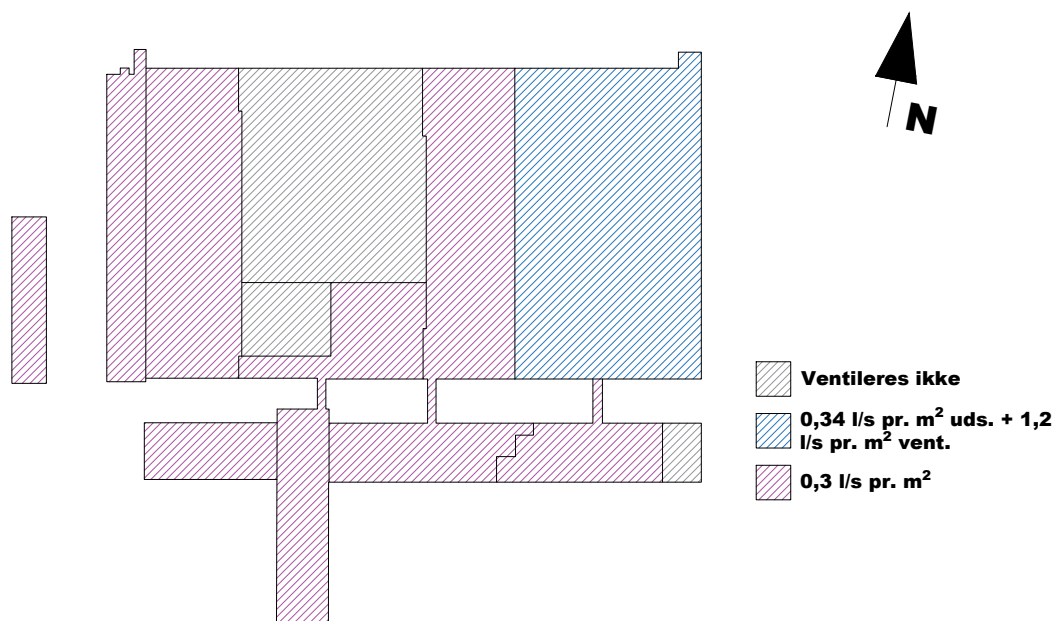
$$t_a = -\frac{18.391,5 \text{ W} - 1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 1,94 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 21^\circ\text{C}}{1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 1,94 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3} = 13,14^\circ\text{C}$$

Hermed kan  $\eta$  bestemmes vha. temperaturerne i udsugningsluften:

$$\eta = \frac{21^\circ\text{C} - 13,14^\circ\text{C}}{21^\circ\text{C} - 6,2^\circ\text{C}} = 0,53$$

Denne  $\eta$  vil anvendes til bestemmelse af ventilationstabet for alle aggregater.

Hos BB electronics ventileres der vha. 3 aggregater, der som tidligere nævnt hver især indblæser med 9.000 m<sup>3</sup>/h luft. Dog er der kun 7.000 m<sup>3</sup>/h udsugning der går gennem aggregatet, hvor de sidste 2.000 m<sup>3</sup>/h går til procesudsugning med afkast direkte til omgivelserne. Hos de resterende lejemål medregnes der en balanceret mekanisk komfortventilation på 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup>. Dog på nær Watery lejemålet og en gymnastiksal tilhørende SOSU skolen, som ikke har nogle ventilationsaggregater tilkoblet. En oversigt af luftmængderne kan ses på Figur 4.2. Der antages en infiltration på 0,13 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal i alle bygninger, svarende til en utæthed på 1,5 l/s pr. m<sup>2</sup> ved 50 Pa trykforskel mellem inde- og udeklima, hvilket er standardprocedure jf. bygningsreglementet 2018 (BR18) §263 stk. 4 ([Social- og Boligstyrelsen 2023](#)).



**Figur 4.2.** Oversigt af luftmængder for mekanisk ventilation

Til beregning af ventilationstab, bruges Ligning 4.2.

$$\Phi_{vent} = (1 - \eta) \cdot A \cdot q \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

Hvor:

|               |                                     |                                         |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| $\Phi_{vent}$ | Varmetab fra mekanisk ventilation   | [W]                                     |
| $\eta$        | Nyttevirkning fra varmeveksler      | [-]                                     |
| $A$           | Areal af ventileret område          | [m <sup>2</sup> ]                       |
| $q$           | Ventilationsluftmængde              | [m <sup>3</sup> /s pr. m <sup>2</sup> ] |
| $c_p$         | Specifik varmekapacitet for luft    | [J/(kg·°C)]                             |
| $\rho$        | Densitet af luft                    | [kg/m <sup>3</sup> ]                    |
| $\Delta T$    | Dimensionsgivende temperaturforskel | [°C]                                    |

Disse luftmængder giver ventilationstabene set på Tabel 4.3. Her er ventilationstabene fordelt over hvert lejemål delt op i de forskellige bygningsafsnit.

| Lejemål             | Bygningsafsnit | Areal<br>[m <sup>2</sup> ]   | Ventilationstab<br>[kW] | Infiltrationstab<br>[kW] |
|---------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| BB Electronics      | Admin          | 743,7                        | 4,05                    | 3,73                     |
|                     | Prod           | 4896,4                       | 170,13                  | 24,6                     |
| SOSU                | Etage S        | 3891,3                       | 21,17                   | 19,53                    |
|                     | Prod           | 1479 (930 m. mekanisk vent.) | 5,06                    | 7,42                     |
| FOF                 | Admin          | 909                          | 4,95                    | 4,6                      |
|                     | Prod           | 3264,7                       | 17,77                   | 16,4                     |
| Fit&Sund            | Prod           | 2479,4                       | 13,49                   | 12,4                     |
| Kontorer            | Etage V        | 1687,2                       | 9,18                    | 8,5                      |
| Kantine             | Kant           | 634,2                        | 3,45                    | 3,18                     |
| OJ rådg. ingeniører | OJ             | 2134                         | 11,61                   | 10,71                    |
| Watery              | Prod           | 2983,3                       | Vent. ikke              | 15                       |
| SUM                 |                |                              | 260,85                  | 126,07                   |

Tabel 4.3. Ventilationstab for de lejemålene fordelt på bygningsafsnittene

## 4.2 Cirkulationstab

Til beregning af varmetabet fra rørene, tages der primært udgangspunkt i rørføringen i ingeniørgangene, da  $\Delta T$  mellem det varme fremløb og indendørstemperaturen i dimensioneringstilfældet vil være 35°C (indetemperatur = 20°C og fremløbstemperatur = 55°C), hvilket er 30°C lavere end det hvad rørene blev isoleret mod ved opførslen, som antages til 65°C (indetemperatur = 15°C og fremløbstemperatur = 80°C). Til beregning af varmetabet pr. meter rørføring (W/(m·°C)), er der taget udgangspunkt i Rock-wool lamelmåtter med  $U = 0,039$  (W/(m<sup>2</sup>·°C)), hvor isoleringstykkelserne kommer fra byggesagsarkivet ([FilArkiv 2023](#)):

|          | Nominel rørdiameter [mm] |       |        |       |
|----------|--------------------------|-------|--------|-------|
|          | 10-20                    | 25-40 | 50-100 | > 100 |
| Varmerør | 30                       | 30    | 50     | 50    |

Tabel 4.4. Isoleringstykkelse af varmerør jf. byggesagsarkiv

$\Delta T$  mellem fremløb og lufttemperaturen i ingeniørgangene antages at være 45°C, svarende til en lufttemperatur på 10°C. Antagelsen sker på baggrund af hvad den dimensionsgivende temperatur for jord vil være, hvilket også er på 10°C. Når kælderen ikke er opvarmet, og alle overflader på nær loftet er ud mod jorden, vil det derfor betyde at ingeniørgangen i værste tilfælde vil være 10°C.

Til bestemmelse af det lineære rørtab, gøres brug af formler fra DS 12241 ([Standard 2008](#)). Først skal isolansen,  $R_l$ , beregnes vha. Ligning 4.3, hvorefter den lineære varmetransmission,  $U_l$ , kan udregnes vha. Ligning 4.4:

$$R_l = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_D} \quad (4.3)$$

$$\frac{1}{U_l} = \frac{1}{h_{si} \cdot \pi \cdot D_i} + R_l + \frac{1}{h_{se} \cdot \pi \cdot D_e} \quad (4.4)$$

Hvor:

|             |                                    |                            |
|-------------|------------------------------------|----------------------------|
| $R_l$       | Lineære isolans af cylinder        | $[(m \cdot ^\circ C)/W]$   |
| $D_e$       | Ydre diameter af lag               | $[m]$                      |
| $D_i$       | Indre diameter af lag              | $[m]$                      |
| $\lambda_D$ | Varmeledningsevne for materiale    | $[W/(m \cdot ^\circ C)]$   |
| $U_l$       | Transmissionstab pr. løbende meter | $[W/(m \cdot ^\circ C)]$   |
| $h_{si}$    | Indre varmeoverførselskoefficient  | $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ |
| $h_{se}$    | Ydre varmeoverførselskoefficient   | $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ |

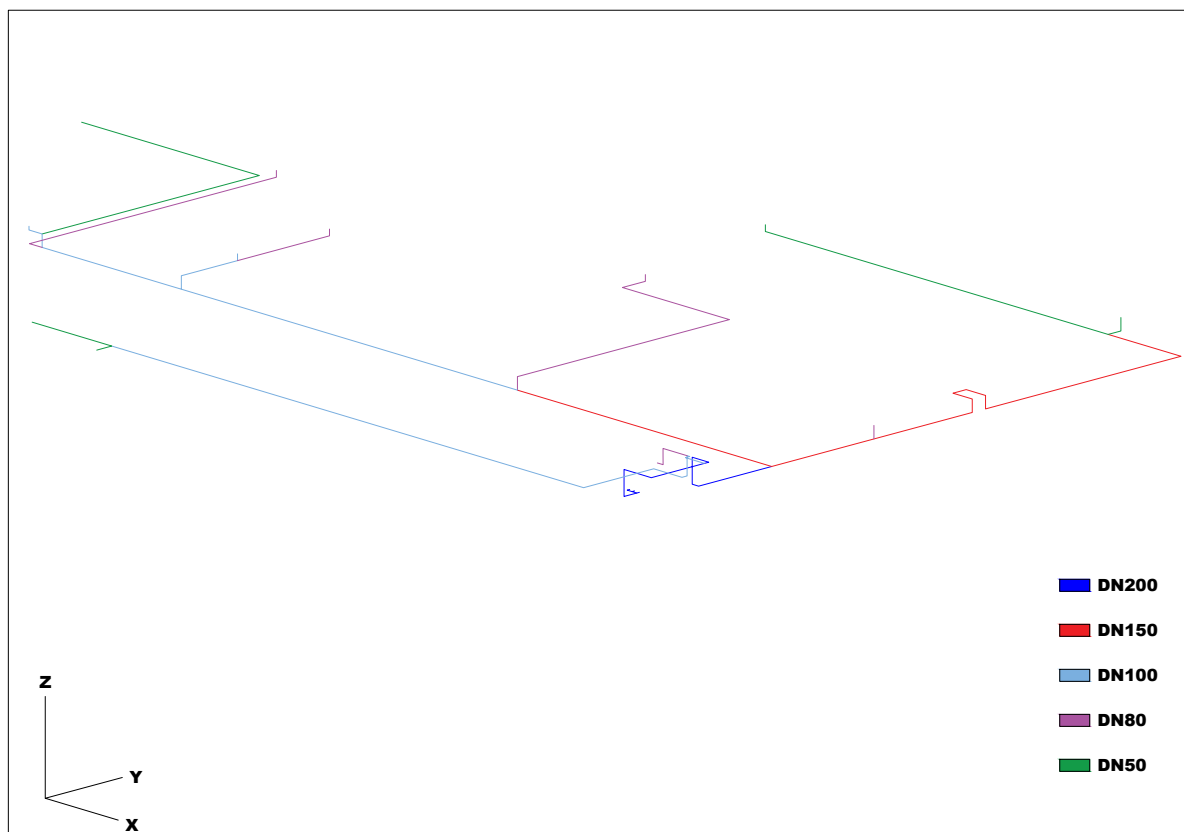
Det vides, at der gøres brug af rør i størrelse DN200 ned til DN10. Da det kun er de store fordelerrør der er i uopvarmede rum, beregnes det lineære tab kun fra DN200 ned til DN80. På Tabel 4.5 ses en oversigt af transmissionstab pr. løbende m fordelt på de forskellige rørstørrelser. Til alle rør er der regnet for en varmetransmissionskoefficient for vand i rør på  $h_{si} = 1200 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$  og ud til den omgivende luft på  $h_{se} = 35 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ .

| Rørstørrelse | $D_i$<br>[m] | $D_e$<br>[m] | $U_l$<br>[W/(m · °C)] |
|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| DN200        | 0,219        | 0,319        | 0,639                 |
| DN150        | 0,159        | 0,259        | 0,493                 |
| DN125        | 0,133        | 0,233        | 0,429                 |
| DN100        | 0,108        | 0,208        | 0,368                 |
| DN80         | 0,089        | 0,189        | 0,320                 |
| DN50         | 0,057        | 0,157        | 0,238                 |

**Tabel 4.5.** Varmetab pr. løbende meter for forskellige størrelse varmerør

Da som tidligere nævnt, de specifikke rørstrækninger i ingeniørgangene ikke kendes grundet manglende tegningsmateriale, er en antaget rørføring med afsæt i observationer fra besigtigelse lavet. Da  $\Delta T$  mellem returtemperaturen på  $25^\circ C$  i dimensioneringstilfældet og omgivelsestemperaturen på  $10^\circ C$  er lille, vil varmetabet fra disse rør negligeres. På Figur 4.3 ses det varmediagram for varmerørene i ingeniørgangene der tages afsæt i, i dette projekt.





**Figur 4.3.** Skitse af rørføring i ingeniørgange til beregning af varmetab

Jf. rørstørrelserne og deres summerede længder, fås varmetabet fra rørene på Tabel 4.6.

| Rørstørrelse | Længde<br>[m] | Varmetab<br>[kW] |
|--------------|---------------|------------------|
| DN200        | 49,9          | 0,8              |
| DN150        | 286,2         | 3,5              |
| DN100        | 117,5         | 1,1              |
| DN80         | 226,8         | 1,8              |
| DN50         | 98,6          | 0,6              |
| SUM          |               | 7,8 kW           |

**Tabel 4.6.** Varmetab for rør i ingeniørgangene

Udover varmetabet i ingeniørgangene, er der også tages højde for varmetabet fra røret ført ud til etagebyggeri V under jorden, hvilket er et 35 meter langt DN50 rør. Denne er inkluderet i Tabel 4.6

### 4.3 Varmt brugsvand

På trods af, at lejemålene ikke bruges til beboelse, skal den nødvendige varmeenergi til opvarmning af varmt brugsvand (VBV) beregnes. Her tages der udgangspunkt i, at alle lejemål benytter én til flere varmtvandsbeholdere (VVB), afhængigt af lejemålets størrelse. Til dimensionering af VVB, gøres der brug af tappeprogrammerne set i vedhæftede fil "VVB.xlsx". Der er gjort brug af nedenstående formler til dimensionering af VVB og deres nødvendige effekt,  $P_n$ :

$$E_1 = E_{tap} - (P_{eff} \cdot \Delta t - P_{beh} \cdot \Delta t) \quad (4.5)$$

$$V_{eff} = E_{eff} \cdot \frac{860}{\Delta T} \quad (4.6)$$

$$P_{eff} \geq \frac{E_{tap} + P_{beh} \cdot 24}{24} \quad (4.7)$$

$$P_n = (P_{eff} + P_{beh} + P_{circ}) \cdot f_p \quad (4.8)$$

Hvor:

|            |                                                                        |      |
|------------|------------------------------------------------------------------------|------|
| $E_1$      | Akkumuleret energimængde tappet fra VVB ved tapning                    | [kW] |
| $E_{tap}$  | Tappet energimængde afhængigt af tapningstype                          | [kW] |
| $E_{eff}$  | Største akkumuleret energimængde tappet fra VVB fra tapningsprogram    | [kW] |
| $P_{eff}$  | Effektive varmetilførsel fra veksler i VVB                             | [kW] |
| $P_n$      | Nødvendige effekttilførsel fra veksler til VVB                         | [kW] |
| $P_{beh}$  | Varmetab fra VVB                                                       | [kW] |
| $P_{circ}$ | Cirkulationstab for brugsvandsrør, antaget til 2 kW for alle beholdere | [kW] |
| $V_{eff}$  | Effektive beholdervolumen                                              | [L]  |
| $V$        | Nødvendige beholdervolumen                                             | [L]  |
| $f_p$      | Sikkerhedsfaktor ml. 1,1-1,5, antaget til 1,4 for alle VVB             | [-]  |
| $\Delta t$ | Tid fra start af første tapning i tappeprogram nummer x tapning        | [h]  |
| $\Delta T$ | Temperaturforskel ml. frem- og tilbageløb for VVB, på 45°C             | [°C] |

Alle lejemål er udstyret med en VVB, hvor SOSU skolen har en VVB i både det sydlige etagebyggeri og den gamle produktionshal. For at spare på effektbehovet til den mængde energi der skal bruges til produktion af VVB, er der ikke gjort brug af varmevekslere ude ved de forskellige lejemål, da disse dimensioneres ud fra den brugte energi ved samtidig tapning, hvor en VVB har den fordel at akkumulere varmeenergien, hvilket sænker den energi der skal tilrettelægges produktion af VVB. Som et resultat af tappeprogrammerne og div. varmetab, fås de nødvendige effekter,  $P_n$ , og beholdernes volumen set på Tabel 4.7.

| Lejemål              | Placering        | $P_n$<br>[kW] | $V_{tank}$<br>[liter] |
|----------------------|------------------|---------------|-----------------------|
| BB electronics       | Produktionshal   | 3,65          | 32,8                  |
|                      | Kantine          | 3,8           | 69                    |
| SOSU                 | Produktionshal   | 3,6           | 23                    |
|                      | Etagebyggeri S   | 3,6           | 45,5                  |
| Kontor               | Etagebyggeri V   | 3,7           | 32,8                  |
| FOF                  | Produktionshal   | 3,6           | 45,5                  |
| Fit&Sund             | Produktionshal   | 8,9           | 810,5                 |
| Watery               | Produktionshal   | 3,65          | 32,8                  |
| OJ rådsg. ingeniører | OJ kontorbygning | 3,7           | 28,85                 |
| SUM                  |                  | 34,6          |                       |

**Tabel 4.7.** Nøgletal fra dimensionering af VVB

De fleste lejemål har ikke særlig store beholdere, da det primære brug af varmt vand går til rengøring om morgenen, og toiletbesøg i åbningstiderne. For at tilgodese tekøkkener i undervisnings- og kontorlejemål samt Fit&Sund, er der tåltænkt brug af varmt vand til opvask i hånden omkring middagstid. Fit&Sund er dimensioneret efter en kapacitet på 2 brusebad hver halve time, samt 16 brusebad og nogle toiletbesøg fordelt over en halvanden time i spidsbelastningen (16:00-17:30). For yderligere information omkring tappeprogrammerne, refereres der til vedhæftede fil "VVB.xlsx".

## 4.4 Varmetab fra vekslere

Pladevarmevekslerne er fra Danfoss af typen XB59 med 160 plader, og består af den nyeste teknologi indenfor pladevarmevekslere, kaldet "*micro plate*". Nærmere omkring dette senere. Vekslerne er isoleret vha. kapper, med en  $\lambda$  på  $0,032 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$  og tykkelse på 20 mm. (Danfoss Ukendt) Det svarer til en U-værdi på:

$$U_{\text{veksler}} = \frac{0,02\text{m}}{0,032\text{W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}} = 0,625\text{W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Jf. databladet fra Danfoss, har en isoleret pladevarmeveksler med 160 plader dimensionerne 262x662x454mm (BxHxD) (Danfoss Ukendt). Det giver et overfladeareal på  $1,19 \text{ m}^2$ . Med en  $\Delta t$  på  $45^\circ\text{C}$ , svarende til en overfladetemperatur for veksleren på  $55^\circ\text{C}$ , og omgivende temperatur i uopvarmet varmecentral på  $10^\circ\text{C}$ . Det giver et varmetab pr. veksler på 33,47 W.

## 4.5 Nødvendig energi til opvarmning

Med alle nøgletal udregnet, summeres de forskellige varmeenergier for at finde ud af hvor meget energi der samlet set skal gå til varme. På Tabel 4.8, ses alle nøgletal.

| Energital                          | $\Phi$<br>[kW] |
|------------------------------------|----------------|
| Transmissionstab gennem klimaskærm | 1517,3         |
| Transmissionstab fra rør           | 7,8            |
| Transmissionstab fra vekslere      | 0,1            |
| Ventilationstab                    | 386,92         |
| Energi til VBV                     | 34,6           |
| SUM                                | 1946,72        |

**Tabel 4.8.** Oversigt af alle beregnede energimængder til opvarmning

På tabellen ses der, at transmissionstabet gennem klimaskærmen og ventilationstabet leder til et stort varmebehov, hvilket kan reduceres markant gennem energioptimering af klimaskærmen eller driftsoptimering og udskiftning af komponenter i ventilationsaggregaterne. En efterisolering af de konstruktionsdele høj transmissionskoefficient der ikke kræver særlig konstruktive ændringer som f.eks. efterisolering af tag indvendig, kan give den største energibesparelse ved den mindste investering. Løsningerne relateret til reduktion af varmebehovet, vil blive præsenteret nærmere i Del II.

# Varmecentral 5

I dette kapitel vil der laves analyse af de forskellige komponenter i varmecentralen. Herunder driften samt kapaciteten af komponenterne

## 5.1 Cirkuleringspumper

Cirkuleringspumpernes ansvar er at fordele det nødvendige varme vand ud til alle blandesløjfer. Grundet varmesystemets opbygning er det ikke kun hovedpumpen i varmecentralen der har et stort flow og skal kompensere for det meste tryktab. I varmecentralen er der en større blandesløjfe, som primært forsyner varmt vand til blandesløjferne i produktionshallen og OJ rådgivende ingeniører, samt nogle varmegivere i den nordlige del af Watery. Der vil således laves kontrolberegning for disse to pumper. Der vil ikke tages højde for statisk tryk, da det forventes at ekspansionsbeholderen har det korrekte fortryk.

For at finde ud af hvad trykforøgelsen af cirkuleringspumperne skal være, skal det samlede tryktab grundet det dynamiske tryk beregnes. Det dynamiske tryk bruges således til at beregne tryktabet for enkelttabene. Til beregning af tryktabet for lige strækninger, beregnes tryktabsgradienten,  $R$ , ud fra formler jf. SBI 175 ([Ovesen 2000](#)). Til at bestemme enkelttabskoefficienterne,  $\zeta$ , anvendes værdierne fra oversigtstabellen jf. Danvak grundbogen ([Hansen et al. 2018](#)), se Figur B.1 på s. 66 for oversigt. Det samlede tryktab for en strækning beregnes vha. Ligning 5.1.

$$\Delta P_{a-b} = R \cdot L + 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \zeta \quad (5.1)$$

Hvor:

|                  |                                  |                      |
|------------------|----------------------------------|----------------------|
| $\Delta P_{a-b}$ | Tryktab for strækning            | [Pa]                 |
| $R$              | Tryktabsgradient                 | [Pa/m]               |
| $L$              | Længde af strækning              | [m]                  |
| $\rho$           | Densitet af vand                 | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| $v$              | Hastighed af vand i rørstrækning | [m/s]                |
| $\zeta$          | Enkelttabskoefficient            | [-]                  |

Til bestemmelse af vandets hastighed, bruges relationen fra Ligning 5.2.

$$Q = v \cdot A \quad (5.2)$$

Hvor:

|     |                       |                     |
|-----|-----------------------|---------------------|
| $Q$ | Volumenflow i rør     | [m <sup>3</sup> /s] |
| $A$ | Rørets tværsnitsareal | [m <sup>2</sup> ]   |

Som tidligere nævnt, beregnes  $R$  vha. en række formler som er præsenteret nedenfor:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (5.3)$$

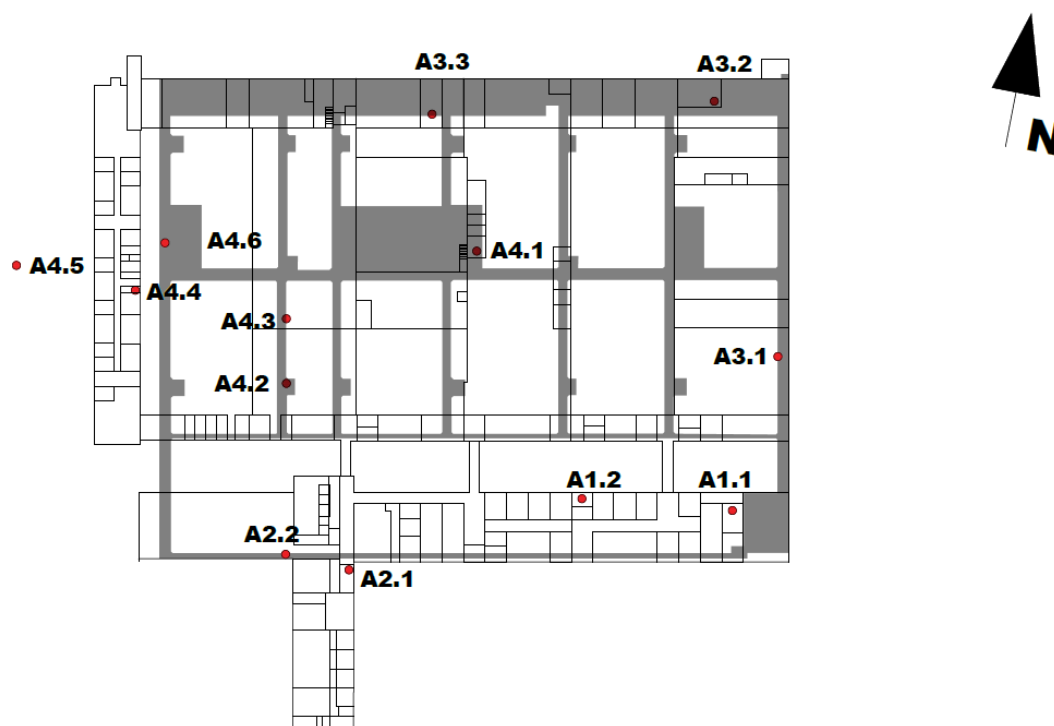
$$\lambda = \left( -2 \cdot \log \left( \frac{k}{d \cdot 3,71} + (5 - 0,1 \cdot \log \frac{k}{d}) \cdot Re^{-0,9} \right) \right)^{-2} \quad (5.4)$$

$$R = \lambda \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{1}{d} \quad (5.5)$$

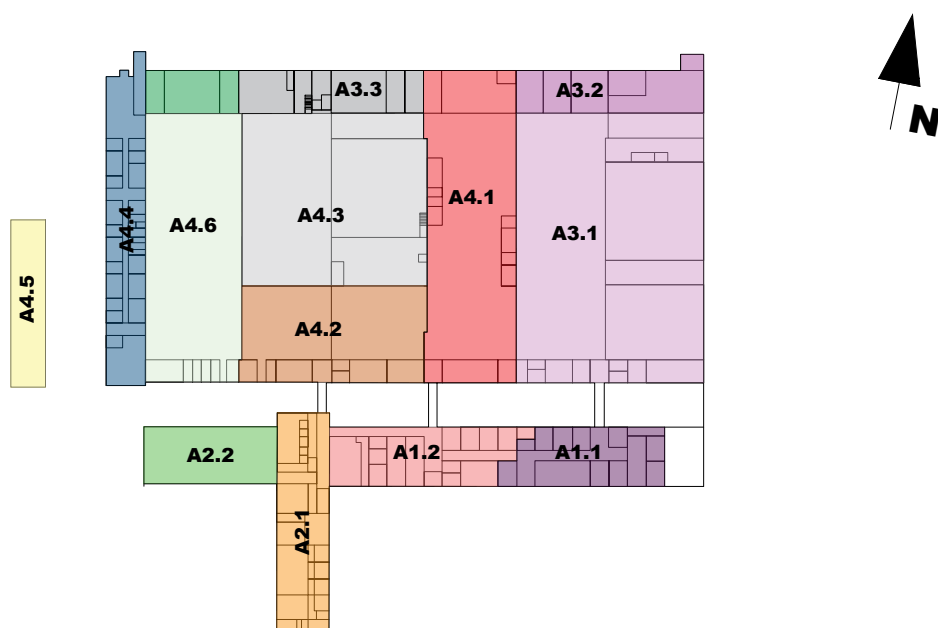
Hvor:

|           |                           |                     |
|-----------|---------------------------|---------------------|
| $Re$      | Reynolds tal              | [-]                 |
| $v$       | Strømningshastighed i rør | [m/s]               |
| $d$       | Rørets diameter           | [m]                 |
| $\nu$     | Kinemastiks viskositet    | [m <sup>2</sup> /s] |
| $\lambda$ | Friktionskoefficient      | [-]                 |
| $k$       | Ruhed af rørtype          | [m]                 |

For at beregne tryktabet, skal flowet også kendes i rørstrækningerne. De findes på baggrund af det nødvendige flow ud til de blandesløjfer der betjener hvert deres område. En oversigt af blandesløjfernes placering samt deres navngivning kan ses på Figur 5.1, hvor det område de betjener ses på Figur 5.2

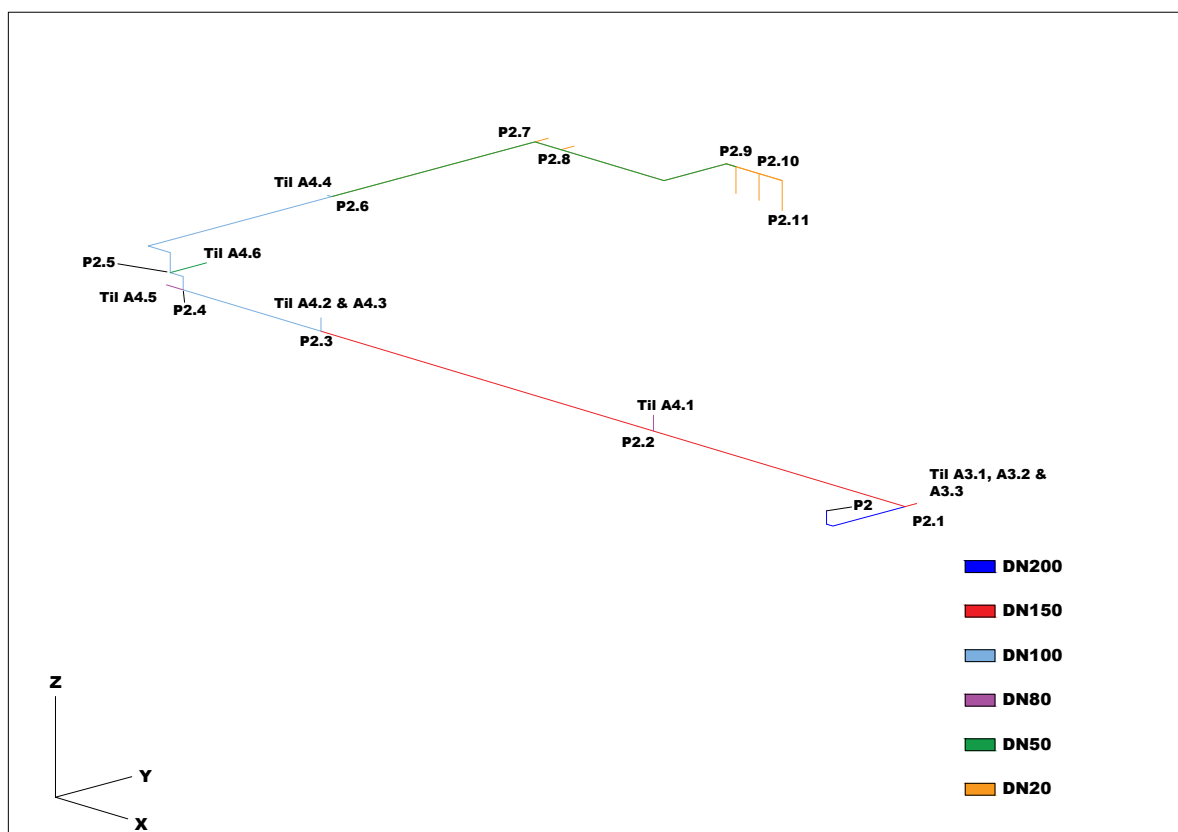


**Figur 5.1.** Placering og navngivning af de forskellige blandesløjfer, med ingeniørgange markeret med grå

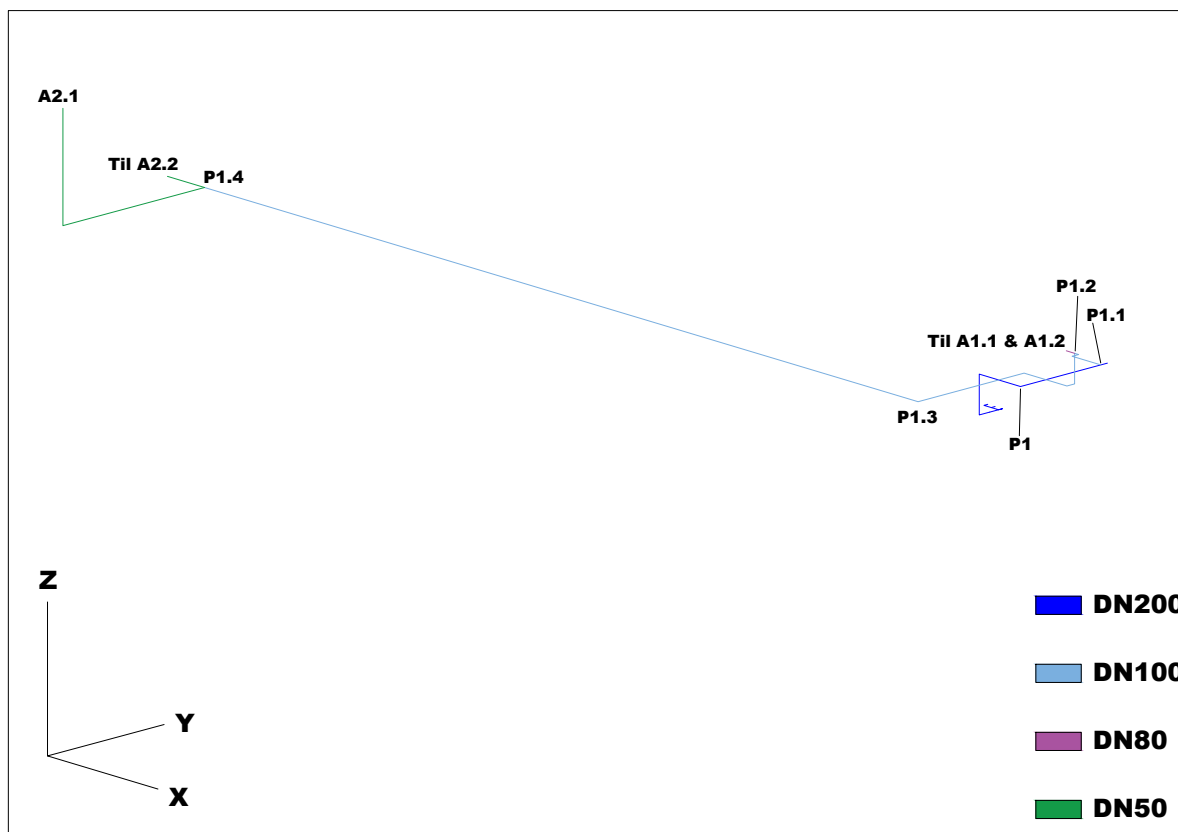


**Figur 5.2.** Område der betjenes af de forskellige blandesløjfer set i Figur 5.1

Med afsæt i Figur 5.3 og Figur 5.4, fås tryktabet over de forskellige strækninger på Tabel 5.1. For en mere dybdegående tabel, referes til Tabel B.2 på s. 68. I samme afsnit som sidstnævnte Tabel, vil der være en redegørelse for hvor stor masseflowet er ud til de forskellige blandesløjfer set på Figur 5.1. Hermed fås de dimensionsgivende tryktab, ud fra det dimensionsgivende flow over de to kredse set på Tabel 5.1. Tryktabene er det dobbelte af det udregnede på Tabel B.2, da der også skal tages højde for tryktabet i returledningerne. De to kredse kan ses på Figur 5.3 og Figur 5.4.



**Figur 5.3.** Skitse af kritiske strækning til beregning af tryktab for den store kreds



**Figur 5.4.** Skitse af kritiske strækning til beregning af tryktab for hovedpumpen



| Pumpe      | $\Delta P$<br>[kPa] | $q$<br>[m <sup>3</sup> /h] |
|------------|---------------------|----------------------------|
| Hovedpumpe | 10,14               | 55,75                      |
| Stor kreds | 11,44               | 47,68                      |

**Tabel 5.1.** Tryktab i rør af kritiske strækning med flow for omtalte pumper

Derudover skal der påregnes et tryktab på 15 kPa til hovedpumpen, da dette er tryktabet hver pladevarmeveksler er dimensioneret til at have, se evt. Figur B.8. Der tilføjes yderligere et tryktab på 40 kPa for begge pumper, for at dække over div. komponenter i kredsene. Det endelige tryktab for hovedpumpen vil derfor blive 65,14 kPa, og for pumpen til den store kreds, vil det blive 51,44 kPa.

Da varmfordelingsrørene ud blandesløjferne ikke er blevet udskiftet, er der antaget en høj ruhed på 0,001 m, som ellers vil være på 0,00015 m for stålør jf. SBI 175 (Ovesen 2000). Udover tryktabet, skal pumpen også kunne levere den rigtige flowmængde uden at bruge for meget effekt. Grænsen for effektforbruget af pumpen, bestemmes vha. Ligning 5.6 fra DS 469/Till. 1:2002 (Standard 2002):

$$P_{P,max} = C + C_P \cdot \Delta P + C_q \cdot q + C_{Pq} \cdot \Delta P \cdot q \quad (5.6)$$

Hvor:

|             |                                                             |                 |
|-------------|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| $P_{P,max}$ | Maksimalt elforbrug af pumpe ved dimensionsflow             | [W]             |
| $C$         | Konstant på 20 W                                            | [W]             |
| $C_P$       | Tilladt elforbrug pr. kPa trykforskel på 1,5                | [W/kPa]         |
| $\Delta P$  | Tryktab ved dimensionsgivende flow                          | [kPa]           |
| $C_q$       | Tilladt elforbrug pr. flowenhed på 10                       | [W/(l/s)]       |
| $q$         | Flow                                                        | [l/s]           |
| $C_{Pq}$    | Tilladt elforbrug for produkt af $\Delta P$ og $q$ , på 2,2 | [W/(kPa · l/s)] |

Ud fra tryktabene på hhv. 65,14 kPa og 51,44 kPa samt flowet fra Tabel 5.1, vil det maksimalt tilladte effektforbrug for de to pumper, være:

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| $P_{P,max}$ hovedpumpe           | 2.491,9 W |
| $P_{P,max}$ pumpe til stor kreds | 1.728,5 W |

**Tabel 5.2.** Maksimalt elforbrug for de to pumper i varmecentral

De tilladelige elforbrug til drift af pumperne tyder på, at meget energi går til den årlige drift af cirkuleringspumperne. Specielt når de reguleres efter et konstant tryk, hvilket giver et højere effektforbrug ved lave flow sammenlignet med hvis den blev reguleret efter proportional tryk. En proportional reguleret pumpe vil sænke trykforøgelsen i kombination med lavere flow, hvilket øger effektiviteten af pumpen ved lavere drift. Dog kan denne reguleringsmåde ikke benyttes, da der skal leveres vandmængder med højt nok tryk ud til alle blandesløjfer, så blandesløjferne kan være i stand til at regulere.

Fra besigtigelse, er mærkepladerne for en af de eksisterende pumper aflæst, hvor nøgletal såsom dimensionsgivende flow og tryktab er noteret. Mærkepladen for pumpen til den store kreds, kan ses på Figur 5.5.



**Figur 5.5.** Mærkeplade tilhørende pumpe der betjener den store kreds

Ved sammenholdning af mærkepladen på Figur 5.5, er den reelle pumpe dimensioneret til et væsentligt større driftspunkt end det nævnt i Tabel 5.1. Et flow på 85,9 m<sup>3</sup>/h og et temperatursæt på 55/25 ( $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), svarer det til en varmeenergi på ca. 3.000 kW, hvilket er væsentligt mere end det hvad varmevekslernes sammenlagte nominelle ydelse er. For mere information omkring varmevekslernes ydelse, refereres der til Figur B.8, på s. 72. Med afsæt i driftspunktet noteret på mærkepladen på Figur 5.5, vil pumpen have et energiforbrug på 9.883 kWh/år jf. (Grundfos 2023d) og et effektforsøg på 2.296 W, hvilket bidrager til høje driftsomkostninger. Pumpen er derfor overdimensioneret med et elforbrug højere end grænseværdien i Tabel 5.2.

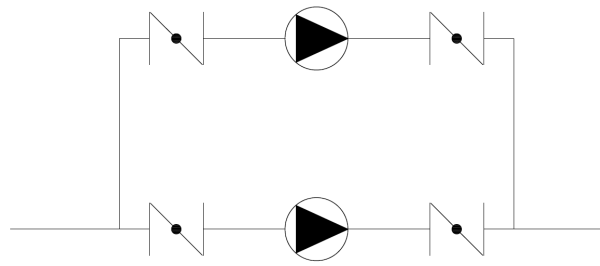
Mærkepladen for den primære varmfordelingspumpe kunne ikke tilgås, grundet problematisk placering. Pumpen og dens placering kan ses på Figur 5.6.



**Figur 5.6.** Primære cirkuleringspumper med den største pumpe i forgrunden

For at få en idé om hvad det årlige energiforbrug til drift af den store hovedpumpe vil være, er det dimensionsgivende tryktab og flow benyttet til dimensionering af en lignende pumpe vha. Grundfos' dimensioneringsværktøj. Her tages der udgangspunkt i en cirkuleringspumpe af typen TPE 80-150 i størrelse DN80. Pumpen vil have et forventet energiforbrug på 4.962 kWh/år, med et energiforbrug på 1.383 W i driftspunktet. ([Grundfos 2023e](#))

Pumpen i baggrunden på Figur 5.6 fungerer som en sekundær driftspumpe der kan cirkulere vandet udenfor spidsbelastningen, for at undgå unødigt effektforbrug til drift af pumpen. Driften af disse styres ikke af ECLen, da der ikke er installeret motorventiler til at regulere flowet ud til pumperne, eller trukket signalkabler ud til ECLen, så den selv kan tænde og slukke den rigtige pumpe, afhængigt af udetemperaturen. I stedet fungerer manuelle sommerfuglventiler som afspærringsventiler ud til den pumpe der ikke er i drift. En tegning af dette kan ses på Figur 5.7.



**Figur 5.7.** Skitse af opbygning for cirkuleringspumper set på Figur 5.6. For signaturforklaring på symboler, henvendes til Figur C.1 på s. 73

Såfremt det ikke fremgår af driftsvejledningen af varmecentralen, at drift af pumperne skal byttes på et bestemt tidspunkt, vil pumpedriften ikke fungere efter hensigten.

## 5.2 Pladevarmeveksler

I varmecentralen er der tre pladevarmevekslere fra Danfoss, af typen XB59. Disse er dimensioneret til en varmeydelse på 770 kW pr. veksler, hvilket giver en samlet kapacitet på 2.310 kW, se Figur B.8 på s. 72. Fra kapitel 4 blev det konkluderet, at det nuværende varmebehov er omkring 2.000 kW, hvilket betyder at varmevekslerne i teorien bør have mere end rigelig kapacitet til at dække energibehovet.

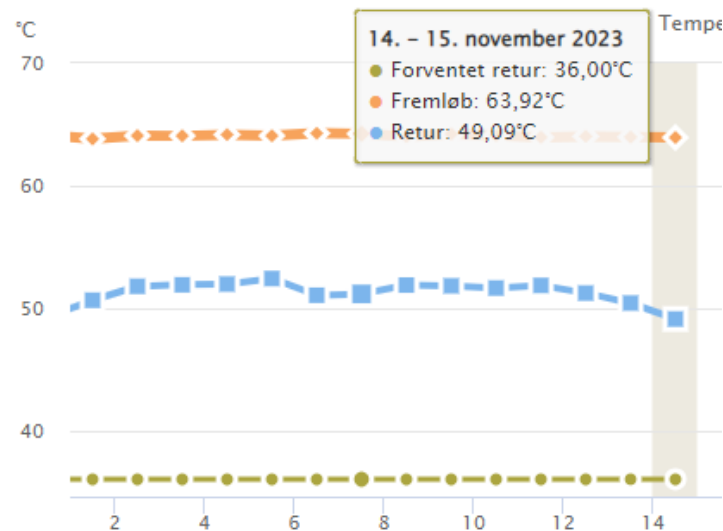
Problemet med vekslerne er dog, at de blev koblet på gamle eksisterende rør, hvor det varme vand på den sekundære varmekreds ikke er blevet gennemskyllet længe, hvorfor det er fyldt med metalaflejringer grundet slid gennem årene. Der blev også taget højde for følgende under opførsel, hvorfor et delstrømsfilter med magnetstang på returløbet til vekslerne blev installeret. På Figur 5.8 ses det hvor beskidt filtret var kort efter opførsel.



**Figur 5.8.** Magnetstang fra delstrømsfilter fyldt med metalaflejringer ved filterskifte

Grundet det beskidte vand, og en dårlig afkøling af den primære vandstrøm fra fjernvarmeforsyningen, som også kan ses på Figur 5.9, var det af særlig interesse at tage ud og måle tryktabet hen over en udvalgt veksler, samtidigt med flowmåling i rørene. Dette blev gjort den 14. november 2023, hvor der ved brug

af TA scope og ultralydsmåling kunne måles på tryktabet og flowet på primær- og sekundærsiden for en enkelt veksler. Såfremt dette ønskes uddybet, er måleudstyr og metode udspecificeret i sektion B.3, s. 70.



**Figur 5.9.** Graf af nøgletal fra fjernvarmeforsyningen fra 1.-15. november 2023

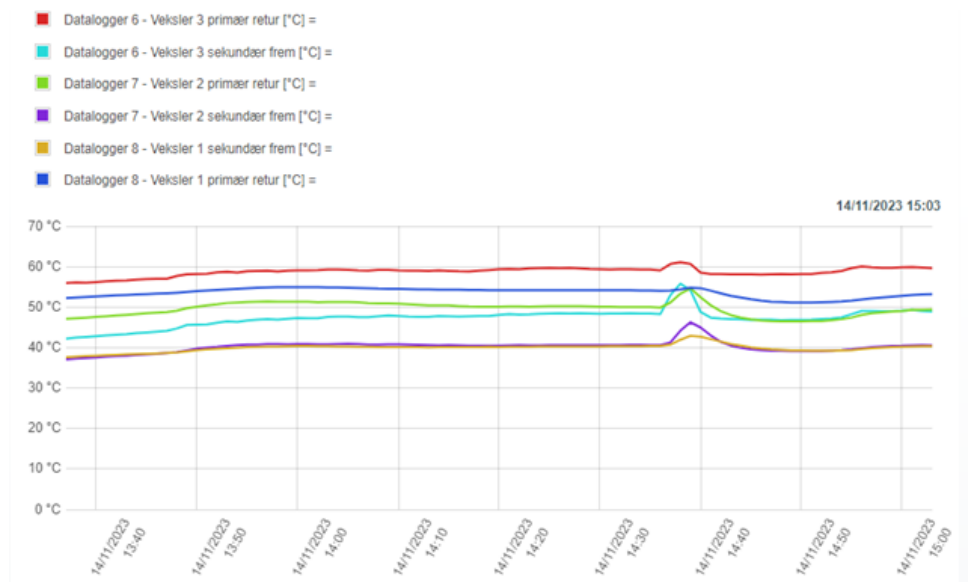
Af måleresultater, fås tallene set på Tabel 5.3. Grunden til det høje flow på primærsiden skyldes, at motorventilen havde tvungen 100% åbningsgrad under målingen, for at undersøge om denne side også var blokeret.

| Side af veksler | Målt q<br>[m <sup>3</sup> /h] | Målt ΔP<br>[kPa] |
|-----------------|-------------------------------|------------------|
| Primær          | 23                            | 36               |
| Sekundær        | 8,25                          | 41,7             |

**Tabel 5.3.** Måleresultater fra veksler

Der ses et væsentligt højere tryktab på sekundær siden, med flowet taget i betragtning. Tryktabet på sekundærsiden er et tegn på tilstoppede kanaler mellem pladerne, hvilket resulterer i en dårligere varmeoverførsel mellem de to vandstrømme i vekslerne. Dette bekræftes også gennem temperaturlogning samme dag som målingerne, se Figur 5.10, hvor fremløbstemperaturen for alle 3 veksler er omkring 40°C, og afkølingen af det primære fjernvarmevand i værste tilfælde er omkring 4°C, beregnet ud fra en fremløbstemperatur på omkring 64 °C jf. Figur 5.9. Forinden temperaturlogningen, blev vekslerne sat tilbage til deres oprindelige reguleringstilstand.



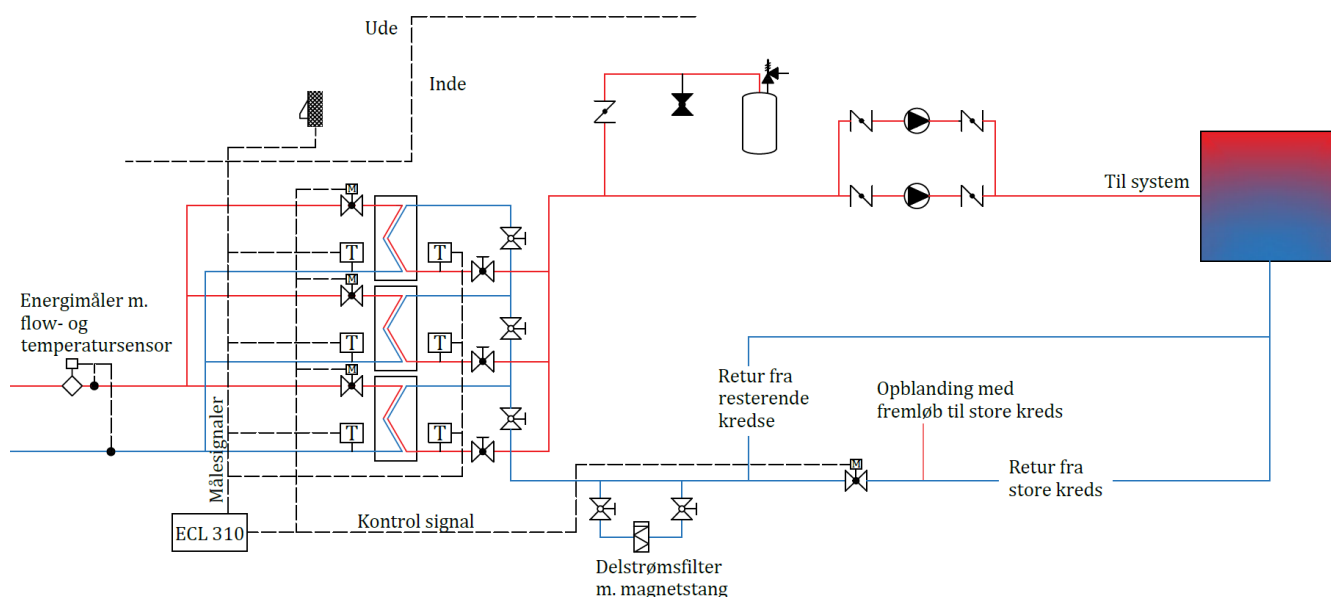


**Figur 5.10.** Temperaturlogging af retur på primærside og fremløb på sekundærside fra 13:30-15:00 d. 14. november 2023

Grunden til det store tryktab og den dårlige afkøling, er med stor sandsynlighed en kombination af den parallelle drift, og det meget gamle vand i varmekredsene der er fyldt med metalaflejringer fra varmerørene. Ved at regulere vekslerne i paralleldrif over et helt år, kan der være et så lavt flow over en enkelt veksler, at der opstår laminar flow det meste af året, hvilket er et godt miljø for sedimentering. Det skal derfor undersøges, hvad det mindst tilladelige flow over én veksler vil være, for at sikre turbulent flow og dermed mindske sedimentering.

### 5.3 Driftsanalyse

Til at drive vekslerne, styres pumpe og motorventiler af ECL 310 fra Danfoss, der kan styre flere veksler på én gang. Reguleringen sat således op, at vekslerne reguleres parallelt, selvom ECLen også kan regulere i kaskadefunktion. På Figur 5.11, ses en skitse af den nuværende varmecentral.

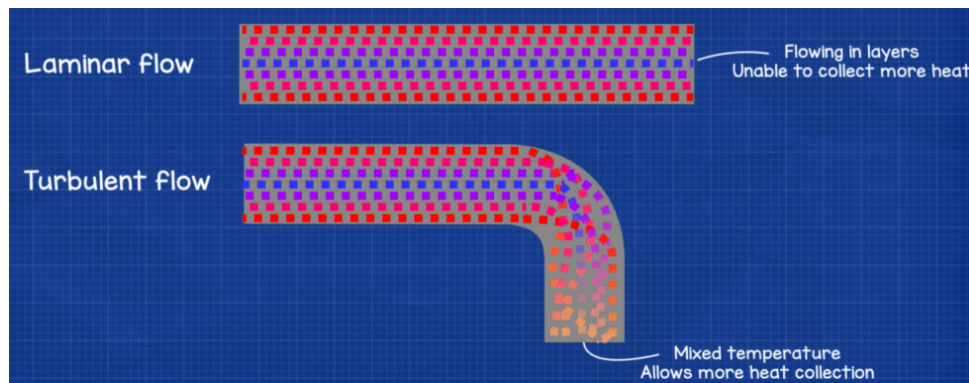


**Figur 5.11.** Skitse af varmecentral med nuværende opbygning. For signaturforklaring af symboler henvises til Figur C.1 på s. 73

Den eneste mulighed for flowregulering på sekundærsiden ved nuværende opbygning, er ved at justere på åbningsgraden for den trykafhængige motorventil der ellers fungerer som en strengreguleringsventil for den store kreds. Denne reguleringsmetode formodes valgt, da denne streng cirkulerer en stor del af den samlede vandmængde, hvilket også kan ses på den lille forskel i flows for de to pumper på Tabel 5.1. Reguleringsmetoden kan således godt fungere med god afkøling, men kun hvis motorventilen har det korrekte differenstryk og der er tilstrækkeligt flow over pladevarmeveksleren, da der ellers vil være risiko for at de resterende kredse ikke får nok flow og afkølingen af fjernvarmeforsyningen ikke er tilstrækkelig. Se sektion 5.4 for kontrol af dette differenstryk. En optimering af denne opsætning, vil omtales nærmere i Del II.

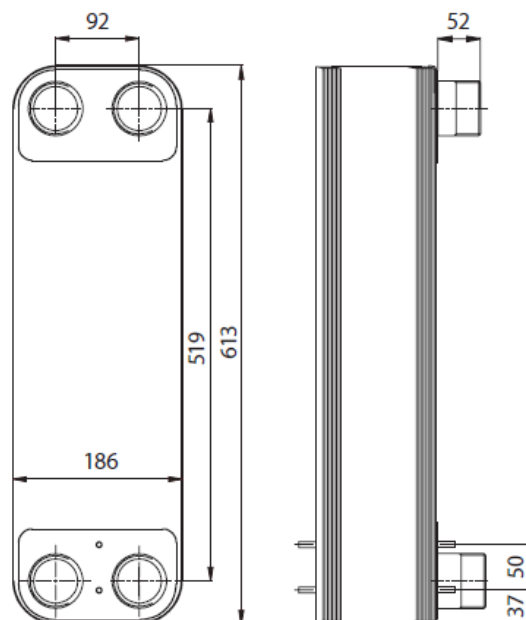
### 5.3.1 Flow over veksler

Til forebyggelse af sedimentering for metalaflejringer i vekslerne og dermed også risikoen for tilstopning, skal der være turbulent flow over vekslerne i størstedelen af dristtiden, da laminar flow er et godt miljø for sedimentering. Derudover mindsker laminar flow effektiviteten af varmeoverførsel i pladevarmeveksleren, da strømmingen her er lagdelt og ikke opblandet, hvilket betyder at de inderste strømningslag ikke vil overføre/optage lige så meget varmeenergi som de yderste lag. Varmetransmissionskoefficienten for konvektionen fra det varme vand gennem pladen og ud til det kolde vand vil derfor være mindre. Eksemplet på temperaturfordelingen i et rør under laminar og turbulent flow, kan ses på Figur 5.12.



**Figur 5.12.** Temperaturfordeling i rør under laminar og turbulent flow ([The engineering mindset Ukendt](#))

Fra e-mail korrespondance mellem Danfoss vides det, at pladevarmevekslere med micro plate teknologi bør have et tryktab på minimum 1/3 af centerafstanden mellem top- og bundstuds, målt i meter vandsøjle (mH<sub>2</sub>O). Denne kan således omregnes til et tryktab i Pa, ved at gange med densiteten og tyngdeaccelerationen. På Figur 5.13 ses målene af en enkelt veksler.



**Figur 5.13.** Dimensioner af pladevarmeveksler af typen XB59 ([Danfoss Ukendt](#)). Mål i mm

Centerafstanden mellem studserne er 0,519 m, hvilket betyder at der skal være et minimumstryktab på:

$$\Delta P_{min} = \frac{0,519}{3} m \cdot 9,8 m^2/s \cdot 1000 kg/m^3 = 1698,9 Pa$$

Minimumstryktabet kan også regnes til et minimumsflow over veksleren, såfremt et andet driftspunkt kendes. Det vides, at vekslerne er dimensioneret ud fra et tryktab på 15 kPa ved et flow på 22,29 m<sup>3</sup>/h, hvilket også kan ses på Figur B.8, s. 72. For at beregne hvad flowet skal være ved det mindst tilladelige tryktab, betragtes varmeveksleren som en ventil i varmesystemet, hvor kapaciteten kan beregnes som flowmængde pr. bar trykforskel. Det gøres vha. Ligning 5.7.

$$K_v = \frac{q}{\sqrt{\Delta P}} \quad (5.7)$$



Hvor:

|            |                  |                                 |
|------------|------------------|---------------------------------|
| $K_v$      | Flow koefficient | $[\text{m}^3/\text{h pr. bar}]$ |
| $q$        | Flow             | $[\text{m}^3/\text{h}]$         |
| $\Delta P$ | Tryktab          | $[\text{bar}]$                  |

Med et tryktab på 0,15 bar ved et flow på 22,3 m<sup>3</sup>/h, fås en K<sub>v</sub>-værdi på 57,58. Det mindste flow over veksleren kan beregnes ved at finde produktet mellem sidstnævnte flow koefficient og kvadratroden af det mindst tilladelige tryktab på ca. 0,017 bar. Hermed bliver det mindste flow:

$$57,58 \cdot \sqrt{0,017\text{bar}} = 7,5\text{m}^3/\text{h}$$

Det betyder, at der i nuværende driftsituation skal der være et minimumsflow på 3 x 7,5 m<sup>3</sup>/h, svarende til et varmebehov på omkring 785,4 kW. Varmebehovet er ikke konstant over hele året, og det er tidligere beregnet, at hele grunden har et varmebehov på 1.946,72 kW ved en udetemperatur på -12 °C, hvor 34,6 kW går til opvarmning af VBV. Da sidstnævnte energitype er konstant over hele året uagtet udetemperaturen, skal dette trækkes fra det samlede varmebehov for at finde det specifikke varmebehov pr.  $\Delta T$ . Det specifikke varmebehov bliver således:

$$\frac{1912,12\text{kW}}{32^\circ\text{C}} = 59,75 \frac{\text{kW}}{^\circ\text{C}}$$

Hvis varmebehovet ved det mindst tilladelige flow, med energien til VBV på 34,6 kW trukket fra, divideres med ovenstående specifikke varmebehov pr.  $\Delta T$ , kan den nødvendige  $\Delta T$  før der er turbulent strømning bestemmes. Denne bliver 12,57 °C, svarende til en udetemperatur på 7,43 °C, når indetemperaturen er 20°C. Med afsæt i DRY vejrdata svarer det til at der er turbulent strømning i vekslerne 4.271 timer á 8.760 timer på et år. ([Skueprocessen Ukendt](#)) Det svarer til en risiko for laminar flow 51% af tiden over et år. Korrigeres der for, at bygningerne kun er i brug 45 timer om ugen, da lejemålene primært består af erhverv eller uddannelse, sænkes tiden til 1.144 timer á 2.346 driftstimer. Procentdelen af risiko for laminar flow er den samme, på 51%.

Reguleringsmetoden fungerer således ikke optimalt, da der gennem tid vil ske en tilstopning af kanalerne mellem hver plade, specielt på den sekundære side. Derudover vil laminar flow også sænke effektiviteten for varmeoverførsel af veksleren, hvilket går ud over den generelle afkøling, og er eftervist i tidligere afsnit.

Der skal således findes en løsning for pladevarmevekslerne, hvilket beskrives nærmere i Del II.

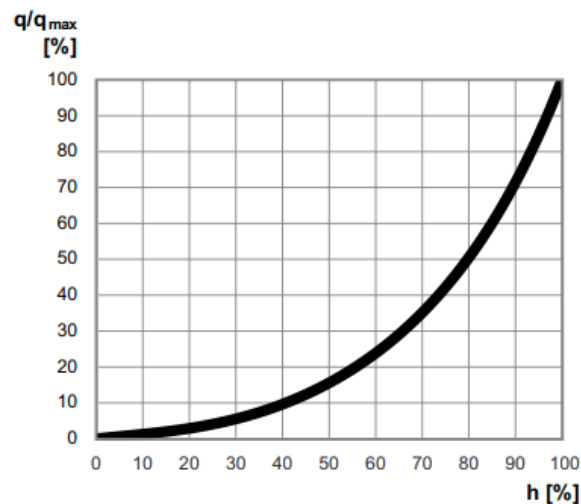
## 5.4 Motorventil

For at regulere flowet ud til de forskellige kredse, er der installeret en motorventil på returløbet fra den store kreds. Motorventilen står for flowregulering til alle lejemål i bygningen. Den bliver styret af ECLen i varmecentralen, og er også udekompenseret, hvilket fremgår af Figur 5.11. Ventilen har den egenskab at flowbegrænse ud fra den temperatur som der ønskes, samtidigt med at den sikrer en konstant  $\Delta P$  over ventilen. Ventilen er derfor trykafhængig. ([IMI Hydronic Engineering 2023a](#)) Ventilen er af typen IMI TA-Modulator high flow (HF) i størrelsen DN150, og kan ses på Figur 5.14.



**Figur 5.14.** IMI TA-modulator motorventil til flowregulering for alle kredse

Da motorventilen er trykuafhængig, vil der ikke være behov for at udregne en  $K_v$ -værdi. Det ville være nødvendigt ved mindre dynamiske reguleringsventiler som f.eks. strengreguleringsløsningen ASV-PV og ASV-BD forbundet med kapillarrør, hvor PV ventilen sørger for konstant  $\Delta P$  over strengen, med BD ventilen som flowbegrænsning. I stedet skal ventilens forindstilling vælges på baggrund af designflowet. Fra Tabel 5.1 vides der, at designflowet er  $47,68 \text{ m}^3/\text{h}$ . Karakteristikken for ventilen følger en eksponentiel kurve i stedet for en lineær, hvilket giver en mere præcis regulering ved lavere åbningsgrad. Det kaldes også for logaritmisk ventilkarakteristik. Den nominelle ventilkarakteristik kan ses på Figur 5.15.



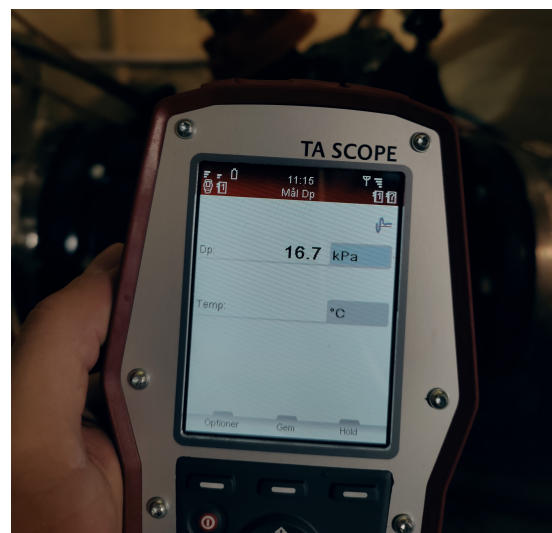
**Figur 5.15.** Nominelle ventilkarakteristik for IMI TA-Modulator. Y-aksen indikerer andelen af det maksimale flow ud fra forindstillingen, og x-aksen indikerer åbningsgraden. (IMI Hydronic Engineering 2023b)

Producenten oplyser, at der skal være et bestemt tryktab over ventilen for at ventilen regulerer efter hensigten. Dette minimumstryktab er afhængigt af ventilens forindstilling. For at finde denne, bruges IMIs eget udviklede dimensioneringsprogram, kaldet HySelect. Ved at indtaste flowet fra Tabel 5.1 på s. 28, bør forindstillingen være 3,16 med et mindst tryktab over ventilen på 40 kPa.

For at kontrollere om disse krav er opfyldt, er forindstillingen kontrolleret og tryktabet målt. Metoden til målingen af tryktabet er den samme som beskrevet i sektion B.3, s. 70. Den aflæste forindstilling kan ses på Figur 5.16 og det målte tryktab på Figur 5.17



**Figur 5.16.** Aflæst forindstilling

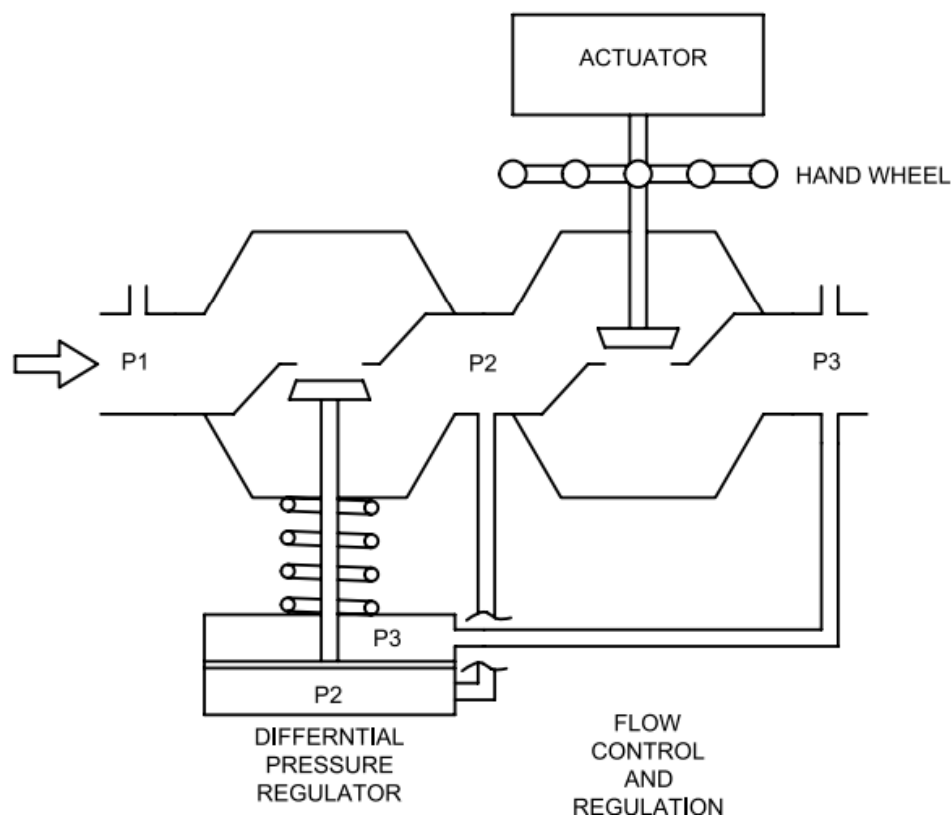


**Figur 5.17.** Målt tryktab over reguleringsventil

Tryktabet er over 50% under minimumsværdien, på trods af at ventilen er forindstillet korrekt.

Når tryktabet er lavere end minimumsværdien, vil fjederen der regulerer tryktabet over ventilen være fuldt udvidet, og det betyder at ventilen ikke vil være i stand til at regulere flowet.

Her vil ventilen yde en konstant modstand i systemet indtil tryktabet når minimumsværdien ved højere flow, hvorefter ventilen vil være i stand til at flowregulere efter hensigten. Den typiske opbygning af en trykuafhængig reguleringsventil kan ses på Figur 5.18. (parsloe & Martin 2015)



**Figur 5.18.** Opbygning af trykuafhængig motorventil (parsloe & Martin 2015)

Med afsæt i Figur 5.18, måler ventilen således tryktabet fra P1 til P3, hvor  $\Delta P$  regulatoren så vidt muligt prøver på at justere modstanden så tryktabet over ventilen vil være konstant uagtet det tryk der er i punkt P1. Aktuatorens bliver styret af et kontrolsignal der beder ventilen om at lukke eller åbne afhængigt af hvor stort varmebehovet er. (parsloe & Martin 2015)

Det målte tryktab på Figur 5.17 viser, at flowet i systemet var udenfor reguleringsområdet for ventilen under målingen, hvilket betyder at fjederen for  $\Delta P$  regulatoren er fuldt udvidet. Her vil ventilen yde en konstant modstand i systemet, hvorfor flowreguleringen i ventilen ikke har den rigtige  $\Delta P$ , og dermed ikke fungerer efter hensigten. Det konkluderes derfor at ventilen er overdimensioneret til varmebehovet udenfor opvarmningssæsonen. (parsloe & Martin 2015)

Grundet varmesystemets opbygning, vil dårlig regulering fra motorventilen resultere i, at de resterende kredse som motorventilen ikke kan flowregulere for ikke får nok flow, hvilket giver langsommere eller utilstrækkelig opvarmning af lejemålene i administrationsbygningen og det sydlige etagebyggeri.

**Del II**

**Løsninger**

# Energirenovering 6

Følgende kapitel har til formål at redegøre for de løsninger der skal mindske bygningernes samlede varmebehov på Ane Staunings Vej 21.

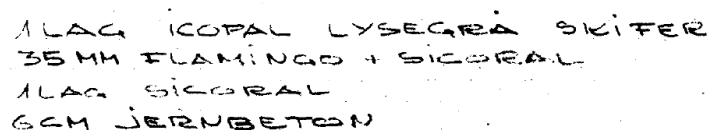
## 6.1 Tiltag

Efter gennemgang af dele der bidrager til bygningens varmebehov, kan det konkluderes at der er behov for efterisolering af klimaskærmen og optimering af ventilationsaggregaterne. Efterisolering af klimaskærmen er en effektiv og billig måde at mindske bygningens varmebehov, og set på Tabel A.3 s. 65 vil en efterisolering af de tagkonstruktioner i kantinen, administrationen og produktionshallen såvel som dækket over ingeniørgangene forbedre U-værdien markant. Dette gør sig også gældende ved udskiftning af de gamle buede vinduespartier samt ovenlysvinduer. Disse energirenoveringer er uden særlig stor konstruktionsmæssig indgriben, med lave installationsomkostninger sammenlignet med en efterisolering af et terrændæk med et beton slidlag, hvor det gamle beton først skal nedrives for at efterisolere.

Udover klimaskærmen, bidrager den mekaniske ventilation til en stor del af varmebehovet. Grundet aggregaternes alder, er de udstyret med ældre krydsvarmevekslere hvorfor temperaturvirkningsgraden er på 0,53. Grundet modulopbygningen af aggregaterne, kan veksleren udskiftes med en ny der har bedre temperaturvirkningsgrad. Jf. Systemair vil det være muligt at have en temperaturvirkningsgrad på op til 0,85. (Systemair 2023) Dette i kombination med at udnytte varmeenergien i procesudsugningen fra BB Electronics, burde reducere ventilationstabet med over 30%.

## 6.2 Klimaskærm

Da den gamle produktionshal oprindeligt var designet ud fra en stor intern belastning fra maskineri, var der ikke stor fokus på at have en godt isoleret klimaskærm. Dette gælder også for den gamle administrationsbygning, hvor tagkonstruktionen har samme konstruktion som den i hallen, med kun 35 mm flamingo som isolering. Et udklip af den originale beskrivelse for tagkonstruktionens opbygning kan ses på Figur 6.1.



1 ALAG ICOPAL LYSEGRÅ SKIFER  
35 MM FLAMINGO + SICORAL  
ALAG SICORAL  
6 CM JERNBETON

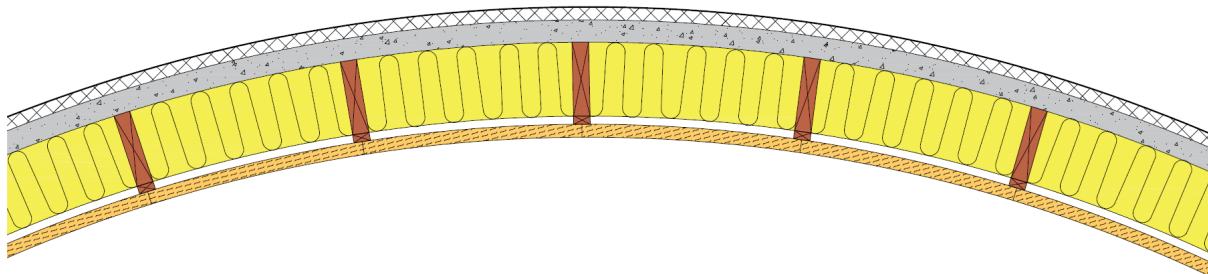
**Figur 6.1.** Original opbygning af tagkonstruktion for produktionshal og administrationsbygning (FilArkiv 2023)



Da konstruktionen efterisoleres med væsentligt mere isolering end der er i forvejen, skal der installeres en dampspærre på indersiden af den nye isolering, for at der ikke vil være risiko for kondens i konstruktionen. Ved at efterisolere med 195 + 95 mm flexibatts 32 og spær på 45 mm tykkelse hver 600 mm med troldekt plader som indvendig loftbeklædning, kan der opnås en lavere U-værdi samt bedre akustik. Udover en lav varmeledningsevne, har troldekt plader gode lydabsorberende evner, hvilket er en fordel i områder såsom kantinen og de nuværende kontorer i den gamle administrationsbygning, der ellers har træbeklædte lofter, set på figuren til højre. En skitse af den nye tagkonstruktion kan ses på Figur 6.2.



- 1 lag tagpap
- 35 mm flamingo
- 6 cm jernbeton (2% stål)
- 290 mm kl. 32 isobatts + 45 x 295 mm spær (c-c = 600 mm)
- Dampspærre
- 22 mm installationslag m. 45 x 21 mm forskalling (c-c = 600 mm)
- 25 mm troldekt plader

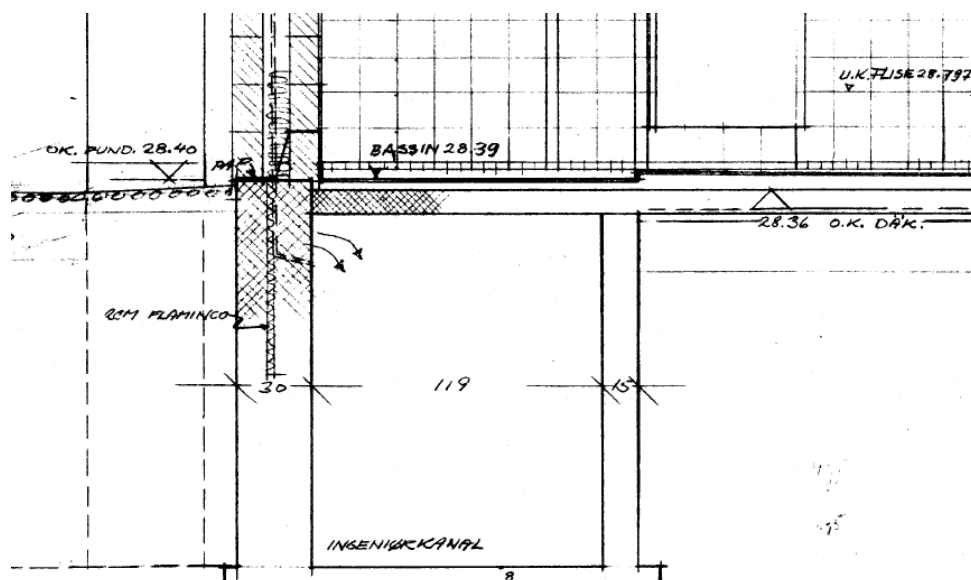


**Figur 6.2.** Skitse af nye buede tagkonstruktion

Den nye konstruktion vil sænke U-værdien fra 0,85 set på Tabel A.3 s. 65 til 0,12, hvilket også overholder kravet ved ombygninger fra §279 i BR18 ([Social- og Boligstyrelsen 2024](#)). Denne type efterisolering vil kræve nedrivning af den eksisterende indvendige beklædning, med montering af de nye spær direkte på jernbetonen. Energirenoeringen er derfor uden omfattende konstruktionsmæssig indgriben, og installationsomkostningerne er derfor minimale.

Den anden konstruktionstype der bør efterisoleres, er dækket over ingeniørgangene, der ellers kun består af en beklædning og det betondæk der ligger over alle isoleringslagene for terrændækket ved den gamle administrationsbygning og produktionshal. Dette fremgår især af gammelt tegningsmateriale, hvoraf et udklip ses på Figur 6.3.





**Figur 6.3.** Gammelt snit af ingeniørgang i administrationsbygning (FilArkiv 2023)

Da dækket over ingeniørgangene primært består af et 10 cm armeret betondæk, kan U-værdien på  $3,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  fra Tabel A.3 s. 65 sænkes til  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  ved at installere 15 cm flamingoplader på undersiden af dækket, hvilket er en løsning med nem installation.

Ved indførelse af ovenstående tiltag, kan der opnås en besparelse på 577,43 kW, hvoraf besparelsen fra efterisolering af tagkonstruktionen udgør 440,64 kW og 151,58 kW fra isolering af dækket.

Udover efterisolering, vil det være fordelagtigt at udskifte alle de buede vinduespartier set på Figur A.1 s. 63, samt ovenlysvinduerne i produktionshallen. De buede vinduespartier består af gamle 2 lags termoruder med kold kant, der betyder at listen mellem glaslagene ikke er isoleret, hvilket er tilfældet på nye vinduer. Disse skiftes ud med 3-lags energiruder med varm kant i fast ramme, som har en U-værdi på 1,3. (Energistyrelsen 2023b) Ovenlysvinduerne består af en tyk 1-lags rude, der har meget højere U-værdi på  $4,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  end de moderne 3-lagsvinduer med en U-værdi på  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (Energistyrelsen 2023b).

Som resultat af dette, vil transmissionstabt gennem ovenlysvinduerne sænkes med 394,13 kW, og 23,48 kW gennem de buede vinduespartier. Ved implementering af alle forbedringer, vil der opnås en besparelse set på Tabel 6.1. Det skal dog tilføjes, at vinduer har en større indkøbspris end spær eller rockwool, hvorfor omkostningerne hertil forventeligt vil være større end efterisoleringen.

| Konstruktionsdel             | Besparelse [kW] |
|------------------------------|-----------------|
| Buede tagkonstruktion        | 440,64          |
| Dæk over ingeniørgang        | 151,58          |
| Buede vinduesparti på facade | 23,48           |
| Ovenlysvinduer               | 394,13          |
| <b>Sum</b>                   | <b>1.009,83</b> |

**Tabel 6.1.** Opnåede besparelser på transmissionstabt efter optimering af klimaskærmen

Besparelsen svarer til en reduktion på 51,9% af det dimensionsgivende varmebehov beregnet i kapitel 4.

## 6.3 Ventilation

Udover klimaskærmen, vil energioptimering af den mekaniske ventilation være med til at reducere varmebehovet. Som tidligere nævnt, udnyttes varmeenergien i procesudsugningen ikke, hvilket sammenlagt udgør en luftmængde på 6000 m<sup>3</sup>/h, svarende til et tab på 64,2 kW. Derudover er krydsvarmevekslerne i ventilationsaggregaterne forholdsvis gamle, hvorfor en udskiftning af disse kan øge virkningsgraden på varmeveksleren fra 0,53 til 0,85. (Systemair 2023)

Forbedringen vil sænke ventilationstab for proces udsugningen med **54,6 kW** og **132,05 kW** for de resterende anlæg.

For at fremtidssikre varmeanlægget vil der tages højde for, at alle lejemål bliver ventileret med minimum 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup>, hvorfor Watery og gymnastiksalen tilhørende SOSU bygningen vil have et ventilationstab set på Tabel 6.2. Disse er beregnet ud fra en temperaturvirkningsgrad på 0,85.

| Område            | Areal<br>[m <sup>2</sup> ] | Ventilationstab<br>[kW] |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| Watery lager      | 2983,3                     | 5,18                    |
| Gymnastiksal SOSU | 549                        | 0,95                    |

**Tabel 6.2.** Ventilationstab for områder der ikke ventileres i skrivende stund

Såfremt disse områder komfortventileres i fremtiden, vil der være behov for 6,13 kW mere kapacitet, hvilket er et forholdsvis lavt bidrag til det samlede varmebehov for alle lejemål. Det skyldes primært den høje temperaturvirkningsgrad, i kombination med de relativt små arealer som der vil ventileres yderligere.

## Opsamling

Ved at indføre ovenstående tiltag, kan der sammenlagt opnås en besparelse på **1.190 kW**, med det tilføjede ventilationstab fra Tabel 6.2 taget i betragtning. Dette, i kombination med udskiftning af de kritiske komponenter i varmecentralen, kan reducere størrelsen af komponenterne såvel som driftomkostninger til bygningsopvarmningen markant, hvorfor bygningen vil drives mere bæredygtigt. Betydningen af dette diskuteres nærmere i kapitel 8.

# Varmecentral 7

I Del I blev der fundet flere problemer med komponenter i varmesystemet, bestående af overdimensionering og forkert idriftsættelse. Korrekt dimensionering af disse i kombination med bedre regulering ud til blandesløjferne, vil give en ordentlig afkøling af fjernvarmeforsyningen. Dette indebærer korrekt dimensioneret pumper samt placering af reguleringsventiler. Ved at kombinere disse løsninger med energigrenoveringen, kan komponenternes størrelse reduceres, hvorfor energiforbruget til driften af varmfordelingsanlægget optimeres.

## 7.1 Pladevarmeveksler

Da der gennem energigrenovering af klimaskærmen og ventilationen er opnået en samlet besparelse på 1.190,32 kW, er det nye varmebehov på 756,4 kW. Med hensyn til kalkaflejring eller anden sedimentering og øget varmebehov grundet ændret anvendelse af lejemål, ganges det dimensionsgivende varmebehov med 1,35. Den nødvendige kapacitet er derfor **1.020 kW**. For at være i stand til at opretholde turbulent flow over en veksler ved længere tid over et år, vil dette varmebehov fordeles over 3 pladevarmevekslere, der skal driftes i kaskadeoperation. Her vil flowet kun fordeles over flere veksler, såfremt minimumsflowet for turbulent strømning over vekslerne kan opnås. Ved brug af 3 mindre veksler, skal hver veksler have en kapacitet på 340 kW.

Til dimensionering af varmevekslerne, skal det vides hvad det samlede areal af pladerne i varmeveksleren skal være. Dette kan udregnes vha. Ligning 7.1. (Alfa Laval 2004)

$$\Phi_{veksler} = k \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (7.1)$$

Hvor:

|                  |                                           |                          |
|------------------|-------------------------------------------|--------------------------|
| $\Phi_{veksler}$ | Nominelle varmeoutput for veksler         | [kW]                     |
| $k$              | Varmetransmissionskoefficient for veksler | [W/(m <sup>2</sup> ·°C)] |
| $A$              | Overfladeareal af veksler                 | [m <sup>2</sup> ]        |
| $\Delta T_m$     | Logaritmisk temperaturforskel             | [°C]                     |

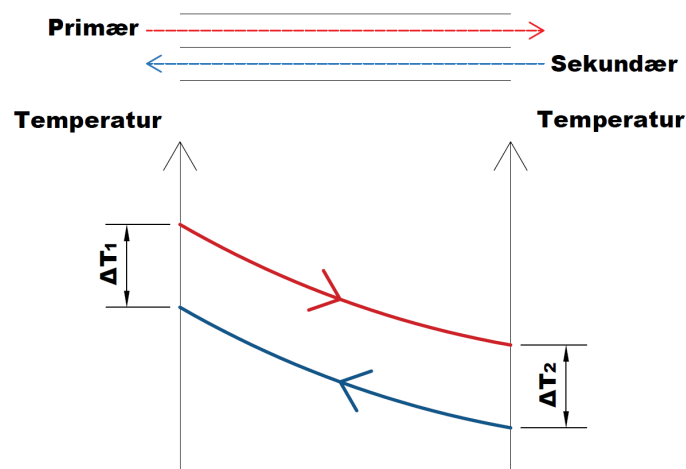
Varmetransmissionskoefficienten for en pladevarmeveksler kan være op mod 8 kW/(m<sup>2</sup>·°C), men plejer at ligge mellem 6-7,5 kW/(m<sup>2</sup>·°C).  $\Delta T_m$  beregnes vha. Ligning 7.2. (Alfa Laval 2004)

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (7.2)$$

Hvor:

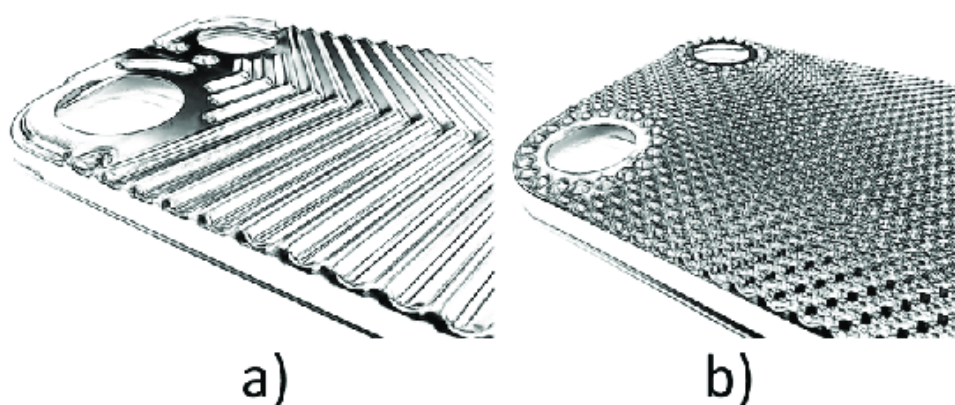
|              |                                                                  |      |
|--------------|------------------------------------------------------------------|------|
| $\Delta T_1$ | Temperaturforskel mellem fremløb på primære og sekundære side    | [°C] |
| $\Delta T_2$ | Temperaturforskel mellem tilbageløb på primære og sekundære side | [°C] |

For at have højest  $\Delta T_m$ , vil der være modstrøm i varmeveksleren. Dette sikrer en konstant  $\Delta T$  over alle plader på varmeveksleren, hvorfor der er mere konstant varmeoverførsel. Dette illustreres også på Figur 7.1.



**Figur 7.1.** Illustration af temperaturudvikling for primær og sekundær flow ved anvendelse af modstrømsprincip

Med et temperatursæt på 60/30 primær og 55/25 sekundær jf. de tekniske bestemmelser fra Horsens fjernvarme ([Fjernvarme Horsens 2023c](#)), vil  $\Delta t_m$  være 5 °C, da temperaturforskellen altid vil være 5 °C mellem de to flows. Havde  $\Delta T_1$  eller  $\Delta T_2$  ikke været samme størrelse, skulle Ligning 7.2 benyttes. I dette tilfælde kan den ikke anvendes, da  $\Delta T_1 = \Delta T_2$ . Med  $\Delta T_m$  fundet, mangler  $k$  at blive besluttet.  $k$  er afhængig af hvor turbulent strømmingen i pladevarmeveksleren vil være, da mere turbulent strømning øger transmissionen fra vandet til de individuelle plader. Den mest udbredte type pladevarmeveksler er af typen fishbone, hvor pladerne består af mindre v formede kanaler. En anden type pladevarmeveksler der med fordel vil skabe mere turbulent strømning ved lavere flow og mindre tryktab, er en opbygning af typen microplate, hvor hver plade består af mange små buler. De to pladetyper kan ses på Figur 7.2.



**Figur 7.2.** Omtale pladetyper, hvor a) er af typen fishbone, og b) er af typen microplate ([Močnik et al. 2020](#))

Jf. Danfoss, som er udviklerne bag microplate teknologien, vil anvendelsen af denne pladetype øge energieffektiviteten med op til 10% ([Danfoss Climate Solutions for heating 2015](#)). Fra Figur B.8 s. 72 vides det, at  $k$  vil være omkring 7,15-8,25 kW/(m<sup>2</sup>·°C). Med et nyt krav til kapaciteten på 340 kW, hvor

$k$  antages til  $8 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , giver dette et areal på:

$$A = \frac{338,33 \text{ kW}}{8 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 5^\circ\text{C}} = 8,5 \text{ m}^2$$

Ved at bruge samme type pladevarmeveksler som den nævnt på Figur B.8, vil én plade have et overfladeareal på  $0,0978 \text{ m}^2$ . Det giver et antal af plader på ca. 87, hvor den tidligere har været på 160. Dog produceres vekslerne kun i intervaller på 10, hvorfor en XB59M-1 veksler med 90 plader vælges. Denne har et samlet overfladeareal på  $8,8 \text{ m}^2$ , og en kapacitet på  $352 \text{ kW}$ . Med en dimensionsgivende afkøling af fjernvarmeforsyningen på  $30^\circ\text{C}$ , vil kapaciteten svare til et masseflow på:

$$m = \frac{352 \text{ kW}}{4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 30^\circ\text{C}} = 2,8 \text{ kg/s}$$

For mere specifik data, er der efterspurgt datablad fra Danfoss, som kan ses på Figur D.1 s. 74. Herfra fås nøgletal set på Tabel 7.1.

| Parameter                     | Værdi                                              |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|
| Kapacitet                     | 343,33 kW                                          |
| Dim. masseflow                | 2,63 kg/s                                          |
| Dim. tryktab                  | 6,95 kPa                                           |
| Varmetransmissionskoefficient | $8,9 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ |

**Tabel 7.1.** Nøgletal fra nye pladevarmeveksler jf. Figur D.1 s. 74

Da pladeveksleren er af samme type som den nævnt i Del I, vil den have samme dimensioner som illustreret på Figur 5.13, hvor dybden vil være mindre. Med et mindre antal plader, vil varmetabet fra veksleren også være mindre, med en dimension for isoleringen på nu  $252 \times 662 \times 279 \text{ mm}$  (BxHxD). (Danfoss Ukendt) Disse dimensioner giver et samlet overfladeareal på  $0,844 \text{ m}^2$ , og med en  $\Delta T$  på  $45^\circ\text{C}$  og U-værdi på  $0,625 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , fås et varmetab på  $23,74 \text{ W}$ . Det nye varmetab fra alle tre veksler ændres hermed til  $0,071 \text{ kW}$ , hvor det tidligere har været  $0,1 \text{ kW}$ . Det ændrede varmetab vurderes at være uden særlig betydning, hvorfor de nye pladevarmevekslere stadig vil benyttes.

### 7.1.1 Sænket drifttilstand

For at finde ud af hvor stort et flow der som minimum skal være gennem pladevarmevekslerne til at opnå turbulent strømning, anvendes samme beregningsmetode som den i under-sektion 5.3.1. Da højden er den samme, vil det mindst tilladelige tryktab hhv. også være det samme, hvilket er  $1,7 \text{ kPa}$ . Dog skal der beregnes en ny  $K_v$  værdi, da den nye veksler har et andet driftspunkt. Ved brug af Ligning 5.7 på s. 35, fås en  $K_v$  ved brug af værdierne nævnt i Tabel 7.1 på:

$$K_v = \frac{9,47 \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{0,0695 \text{ bar}}} = 35,92$$

Ud fra det mindst tilladelige tryktab på  $1,7 \text{ kPa}$ , vil det mindste flow over veksleren for at opnå turbulent strømning, være:

$$35,92 \cdot \sqrt{0,017 \text{ bar}} = 4,68 \text{ m}^3/\text{h}$$

Det er til hensigt at drive de nye pladevarmevekslere i kaskade, hvorfor volumenflowet ikke skal ganges med 3 ligesom i under-sektion 5.3.1. Omregnes volumenflowet til et varmebehov, fås  $163,25$

kW. Eftersom bygningen er energirenoveret, vil det specifikke varmebehov også være ændret, da det nye dimensionsgivende varmebehov er på 756,4 kW. Med varmeenergien til VBV på 34,6 kW trukket fra, fås et specifikt varmebehov på:

$$\frac{721,8 \text{ kW}}{32^\circ\text{C}} = 22,56 \frac{\text{kW}}{^\circ\text{C}}$$

Ud fra ovenstående varmebehov pr.  $\Delta T$ , vil det være nødvendigt med en  $\Delta T$  på 5,7 °C for at opnå turbulent strømning. Her er energi til VBV trukket fra de 163,25 kW. For at opnå en  $\Delta T$  på 5,7 °C, skal der være en udetemperatur på 14,3 °C, når indetemperaturen er 20 °C. Det svarer til, at der vil være turbulent strømning i veksleren 1.848 timer á 2.346 driftstimer på et år, med afsæt i DRY vejrdata hvor der er taget højde for en driftstid på 45 timer/uge. ([Skueprocessen Ukendt](#)) Hermed vil der kun være risiko for laminar strømning 22 % af tiden over et år, hvor der tidligere var 51% risiko.

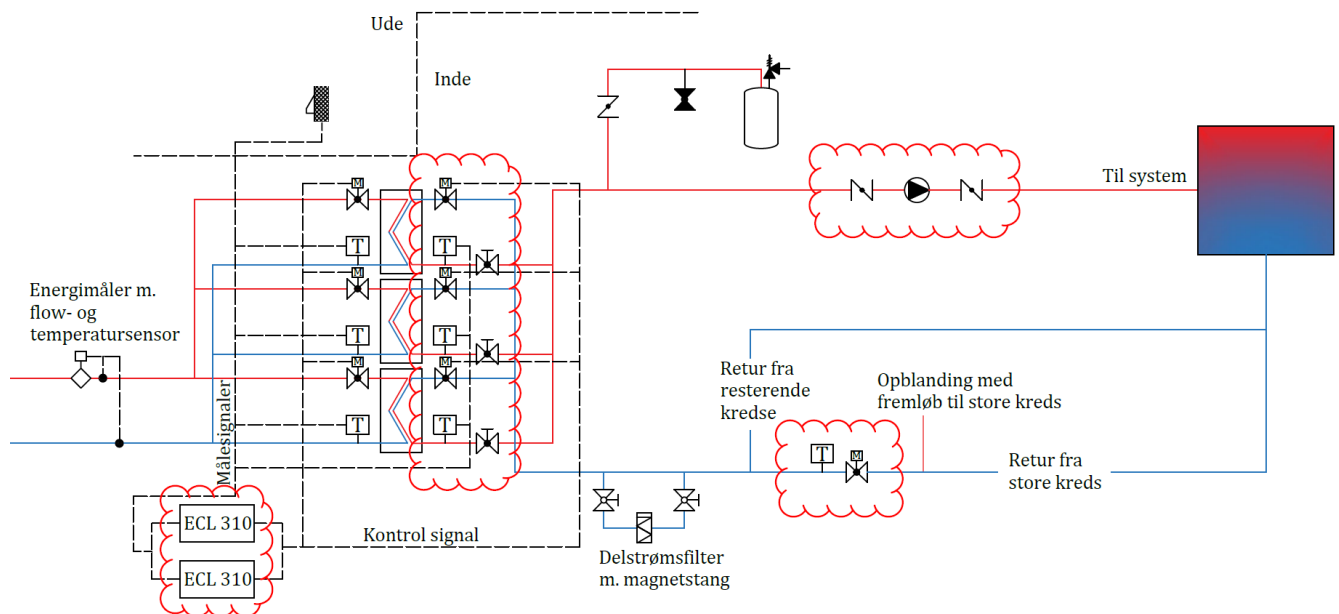
Ved at have turbulent flow over en længere driftsperiode, vil afkølingen af fjernvarmeforsyningen ligeledes forbedres, hvilket har en positiv indvirkning på den vægtede returtemperatur ved årsopgørelsen fra, i dette tilfælde, Horsens fjernvarme. Jf. takseringsreglerne til Horsens fjernvarme, vil en reduktion på 1°C af returtemperaturen, mindske varmeregningen med 1%. ([Fjernvarme Horsens 2023b](#)) Det kan ikke med sikkerhed benævnes, hvor meget denne løsning vil forbedre afkølingen af fjernvarmeforsyningen. Dog kan løsningen, såfremt vekslerne sikrer acceptabel afkøling på 30°C hele året rundt, fjerne det varmetillæg der på nuværende tidspunkt ser ud til at være på 14% med afsæt i Figur 5.9 på s. 32. Der er således også mere økonomisk gevinst ved at kombinere energirenovering med optimering af pladevarmevekslerne, inklusiv driften af disse. For at drive vekslerne efter hensigten, bør der foretages ændringer i varmecentralens nuværende opbygning.

### 7.1.2 Ny opbygning af varmecentral

Med et lavere temperatúrafhængigt varmebehov, tidligere beregnet til 22,56 kW/°C, vurderes det ikke værende nødvendigt med to pumper, da varmebehovet stiger mindre ved faldende udetemperatur. Pumpens dimensionsgivende driftspunkt vil således ikke være lige så stort sammenlignet med reduceret drift. Cirkuleringspumperne nævnt i sektion 5.1 dimensioneres igen efter det reducerede varmebehov senere under sektion 7.3. Pumperne vil fortsat drives efter konstant tryk.

Til kaskaderegulering af de tre nye varmevekslere, udskiftes de gamle kugle afspærringsventiler med nye trykuafhængige motorventiler der kan flowregulere ud til hver varmeveksler på sekundærsiden. Disse kobles på den eksisterende ECL 310 styreenhed, der ved brug af en ny applikationsnøgle kan regulere i kaskade. ECL styreenheder fra Danfoss gør brug af forskellige applikationsnøgler afhængigt af den reguleringsmetode der ønskes. Denne nøgle skal være af typen A362, som muliggør kaskaderegulering af op til to veksler pr. kontrolenhed. To ECL 310 styreenheder skal derfor anvendes, og kan med fordel være forbundet indbyrdes, så de fungerer som én enhed. ([Danfoss 2020](#))

Den nye opbygning af varmecentralen med ændringer markeret, kan ses på Figur 7.3.



**Figur 7.3.** Skitse af nye varmecentral med ændringer markeret. For signaturforklaring, henvendes til Figur C.1 på s. 73

Den gamle trykuafhængige motorventil vil ikke længere fungere som flowregulering til vekslerne på sekundærsiden, men i stedet regulere ud fra returtemperaturen for den store kreds. Motorventilen vil også udskiftes til en ny af mindre størrelse, for at sikre bedre regulering ud fra det reducerede flow, da varmebehovet er sænket. Denne i kombination med en af de nye reguleringsventiler, vil blive dimensioneret senere i sektion 7.2.

I kombination med den ændrede opbygning, vil det også være nødvendigt med udskiftning af det gamle vand på den sekundære kreds, da dette ikke er blevet udskiftet længde. Ved at udskifte vandet, vil mængden af metalaflejringer og andet skidt sænkes markant, og hermed mindskes risikoen for tilstopning af de nye pladevarmevekslere. Det eksisterende delstrømsfilter beholdes, da det forventes at renligheden af vandet forringes igen grundet alderen af varmerørene. Delstrømsfilteret vil således forebygge sedimentering i pladevekslerne.

## 7.2 Motorventiler

Til dimensionering af de nye motorventiler, vil det være nødvendigt at kende det nye flow ud til hver veksler og ud til den store kreds i varmesystemet. Ventilen skal ikke være unødvendig stor, da ventilen ellers ikke vil have et højt nok differenstryk til at kunne regulere hensigtsmæssigt. Til dimensionering af ventilerne der flowregulerer ud til vekslerne, skal flowet beregnes ud fra 1/3 af det dimensionsgivende varmebehov, der blev beregnet til 340 kW. Ud fra en afkøling på 30 °C, vil masseflowet for hver motorventil, være:

$$m_{veksler} = \frac{340kW}{4186J/(kg \cdot ^\circ C) \cdot 30^\circ C} = 2,7kg/s$$

Med udgangspunkt i en densitet på 1000 kg/m<sup>3</sup>, svarer det til et volumenflow på 9,7 m<sup>3</sup>/h. Ved brug af dette flow, kan en IMI TA-modulator dimensioneres gennem programmet HySelect. Det samme gøres for strengreguleringsventilen til den store kreds, som blev konkluderet overdimensioneret i



sektion 5.4. Her anvendes det nye dimensionsgivende flow på 22,64 m<sup>3</sup>/h jf. Tabel B.4 på s. 69. Dimensioneringsresultaterne til disse ventiler kan ses på Tabel 7.2.

|                               | Ventiltype   | Størrelse<br>[mm] | Ventilkarakteristik | Forindstilling | $\Delta P_{\min}$<br>[kPa] |
|-------------------------------|--------------|-------------------|---------------------|----------------|----------------------------|
| <b>Ventil til veksler</b>     | TA-Modulator | 65                | Logaritmisk         | 3,53           | 23,2                       |
| <b>Ventil til store kreds</b> | TA-Modulator | 65                | Logaritmisk         | 4,86           | 27,5                       |

**Tabel 7.2.** Nøgletal fra dimensionering af nye reguleringsventiler

Begge ventiler er af samme størrelse, med forskellig forindstilling. Til forskel fra ventilen i sektion 5.4, er de af mindre dimension, hvorfor ventilen vil have lettere ved at opnå minimumstryktabet for at kunne regulere efter hensigten.  $\Delta P_{\min}$  er også mindre end før, hvilket betyder at ventilen har et større reguleringsområde sammenlignet med den gamle. Ventilerne monteres vha. flanger, og deres opbygning kan ses på Figur 7.4.



**Figur 7.4.** Billede af IMI TA modulator (IMI Hydronic Engineering 2023a)

Da rørene ud til strengreguleringsventilen er i størrelse DN200, vil det være nødvendigt at indsnævre rørstørrelsen til DN65 før ventilen og dernæst udvide diameteren jævnt efter ventilen, for at mindske tryktabet ved ventsamlingerne. Det samme gør sig gældende ved de resterende komponenter der bliver udskiftet. Heriblandt ventilerne ved vekslerne og de nye cirkuleringspumper der skal dimensioneres efter det reducerede flow og tryktab.

## 7.3 Cirkuleringspumper

Som følge af energirenoeringen, vil det dimensionsgivende flow for de to cirkuleringspumper være reduceret sammenlignet med dem nævnt i sektion 5.1. De nye tal kan ses på Tabel B.3 og Tabel B.4 på s. 68. Fra disse tabeller, fås nøgletal til pumpedimensioneringen på Tabel 7.3. De kritiske strækninger er uændret fra dem nævnt i Del I.

| Pumpe      | $\Delta P$<br>[kPa] | q<br>[m <sup>3</sup> /h] |
|------------|---------------------|--------------------------|
| Hovedpumpe | 4,97                | 22,05                    |
| Stor kreds | 2,45                | 17,22                    |

**Tabel 7.3.** Tryktab i rør og flow for nye cirkuleringspumper

Udover tryktabet i rørene, skal der regnes med et tryktab over komponenterne i varmesystemet. Her skal der tages højde for de ekstra motorventiler monteret ude ved varmevekslerne, som bidrager med en  $\Delta P$  på 23,2 kPa til hovedpumpen, samt motorventilen til den store kreds med  $\Delta P$  på 27,5 kPa. Det dimensionsgivende tryktab over vekslerne er også ændret til 6,95 kPa jf. Figur D.1, s. 74. Af hensyn til resterende komponenter i varmesystemet påregnes der et ekstra tryktab på 30 kPa, reduceret med 10 kPa sammenlignet med det nævnt i sektion 5.1, hvilket forventes grundet mindre flow.

Summeres disse tryktab, vil trykforøgelsen af hovedpumpen være 65,12 kPa og 59,95 kPa for cirkuleringspumpen til den store kreds. Med sidstnævnte tryktab og vandmængderne fra Tabel 7.3, kan det maksimalt tilladte elforbrug for pumperne udregnes vha. Ligning 5.6 på s. 28. Resultaterne ses på Tabel 7.4.

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| $P_{P,max}$ hovedpumpe           | 1.056,42 W |
| $P_{P,max}$ pumpe til stor kreds | 788,63 W   |

**Tabel 7.4.** Maksimalt elforbrug for de nye cirkuleringspumper i varmecentral

Det maksimalt tilladte elforbrug på ovenstående tabel er en reduktion på over 50% for begge pumper, sammenlignet med resultaterne for de gamle pumper i Tabel 5.2 s. 28. Grundet den mindre størrelse, vurderes det som tidligere nævnt værende unødvendigt med en supplerende cirkuleringspumpe for hovedpumpen af mindre størrelse, til drift udenfor opvarmningssæsonen.

De nye cirkuleringspumper er af typen MAGNA3 fra Grundfos og kan ses på Figur 7.5. Pumpen giver nem mulighed for integrering med CTS systemet ved tilkobling med Ethernet kabel, hvilket giver mulighed for fjernovervågning og -styring. ([Grundfos 2023c](#))

**Figur 7.5.** Billede af MAGNA3 cirkuleringspumpe ([Grundfos 2023c](#))

Vha. det dimensionsgivende flow og tryktab som tidligere nævnt, kan der gennem Grundfos' dimensioneringsprogram findes den mest optimale cirkuleringspumpe, der har bedst  $\eta$  med lavest energiforbrug. Det giver cirkuleringspumperne set på Tabel 7.5. Pumpekarakteristikkerne kan ses i Bilag E.

| Pumpe                | Navn            | Størrelse<br>[mm] | $\eta$<br>[%] | P drifts-<br>punkt<br>[W] | Årligt<br>energiforbrug<br>[kWh/år] |
|----------------------|-----------------|-------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Hovedpumpe           | MAGNA3 50-150 F | DN 50             | 66,7          | 598                       | 2.165                               |
| Pumpe til stor kreds | MAGNA3 40-150 F | DN 40             | 62,9          | 456                       | 1.549                               |

**Tabel 7.5.** Resultater fra dimensionering af nye cirkuleringspumper

Til sammenligning med de store cirkuleringspumper nævnt i sektion 5.1, vil det årlige energiforbrug til drift af pumperne sænkes med 2.797 kWh/år for hovedpumpen og 8.334 kWh/år for cirkuleringspumpen til den store kreds. Det giver en samlet besparelse på 11.131 kWh/år.

## 7.4 Opsamling

Efter optimering af komponenter i varmecentralen i kombination med energirenovering af klimaskærmen, kan de årlige omkostninger til både drift af varmesystemet og energi til bygningsopvarmning reduceres betydeligt. Det kan konkluderes, at der ved udskiftning af varmekilden fra naturgasfyr til fjernvarme på Ane Staunings Vej 21, ikke er tænkt langsigtet i de løsninger der oprindeligt er anvendt. Ved ikke at vurdere driften ud fra den nye anvendelse af bygningen og energiforbruget til bygningsopvarmning som en helhed, har det resulteret i overdimensionerede komponenter i varmesystemet samt dårlig driftsættelse.

Normalvis overdimensioneres der i et varmesystem af hensyn til evt. øget varmebehov i tilfælde af ændret anvendelse, hvilket gør sig særligt gældende på erhvervsejendomme. Dog skal der kun overdimensioneres til en grad som stadig sikrer optimal drift af bygningen i den nuværende tilstand, da for store reguleringsventiler ikke kan regulere efter hensigten ved lavere flows og for store pumper leder til et unødvendig højt elforbrug til drift af varmesystemet. Disse faktorer kan give utilfredse lejere når de ikke har tilstrækkelig adgang til varme, samt høje driftsomkostninger.

Ved ikke at have tænkt på det særligt variable varmebehov tilknyttet bygningens ændrede anvendelse, er varmesystemet idriftsat forkert hvor et eksempel er paralleldriften af pladevarmevekslerne. Det har resulteret i en dårlig afkøling af fjernvarmeforsyningen, resulterende i en lav fremløbstemperatur og strafafgift fra fjernvarmeforsyneren. Løsningen kunne med større sandsynlighed godt have fungeret i kombination med bygningens gamle anvendelse, da produktionsejendomme har meget CAV ventilation ifm. procesudsugning og evt. krav til luftfugtigheden, hvor eftervarmeblader i ventilationssystemet vil være i brug hele året, resulterende i et mere konstant varmebehov.

Da lejerne står for omkostningerne til bygningsdrift, bør det undersøges hvordan løsningerne kan implementeres på en måde som gør det attraktivt for bygherren, da det primært vil være bygherren som skal stå for omkostningerne relateret til energirenoveringen og optimeringen af varmesystemets komponenter. Hvordan man kan få bygherren til at implementere disse løsninger, vil omtales nærmere i kapitel 8

# Implementering 8

Da bygningerne beliggende på Ane Staunings Vej 21 udgøres af forskellige lejemål, vil eventuelle ændringer til varmesystemet og bygningens klimaskærm være på bygherrens bekostning. Såfremt bygherren ikke ser nogen særlig økonomisk gevinst ved energirenoveringen og optimeringen af varmesystemets komponenter, vil det være svært at få implementeret løsningsforslagene præsenteret i denne rapport af bygherren. Det vil ikke være nok, at argumentere for et mindre energiforbrug og sænket strafafgift på varmeregningen, da omkostningerne hertil bliver dækket af lejerne. I stedet skal der fokuseres på indtægter såsom huslejen, hvilket kan øges som en konsekvens af mindre omkostninger til bygningsdrift. Dette vil reducere tilbagebetalingstiden for omkostningerne relateret til energirenoveringen og driftsoptimering, hvilket gør det mere attraktivt for bygherren at implementere løsningsforslagene.

Den økonomiske besparelse relateret til el- og varmekonsumet skal derfor udregnes.

## 8.1 Energibesparelse

Vha. løsningsforslagene præsenteret i denne rapport, kan der spares på både el og varme, hvor den største besparelse udgøres af varmeenergien.

### Elforbrug

Til vurdering af hvad reduktionen i elforbrug vil være, tages der udgangspunkt i den procentmæssige besparelse vha. optimering af de to tidligere nævnte cirkuleringspumper. Oversigten af disse besparelser ses på Tabel 8.1.

| Pumpetype            | Årligt energiforbrug<br>[kWh/år] |       | Besparelse |
|----------------------|----------------------------------|-------|------------|
|                      | Før                              | Efter | [%]        |
| Hovedpumpe           | 4.962                            | 2.165 | 56,4       |
| Pumpe til stor kreds | 9.883                            | 1.549 | 84,3       |

**Tabel 8.1.** Oversigt af el besparelse til årlig drift af cirkuleringspumper

Omregnes de to procentmæssige besparelser i Tabel 8.1 til en vægtet besparelse, kan der forventes omkring 70% besparelse på elforbruget til pumpedrift. Da erhverv kan indgå specielle el-aftaler med forskellige forsyningsselskaber, vil der kun tages udgangspunkt i indkøbsprisen for el, hvilket fra januar til november 2023 gennemsnitlig var 0,66 kr./kWh i vestdanmark ([Elberegner.dk](https://elberegner.dk) 2023). Dette svarer til en besparelse på 7.346,46 kr. i indkøbspris fra el alene. Besparelsen kan være højere eller lavere afhængigt af virksomhedens el-aftale samt hvornår pumperne trækker mest strøm.

## Varmeforbrug

Der blev tidligere udregnet en besparelse på sammenlagt 1.166,2 kW vha. energirenoveeringstiltagene nævnt i kapitel 6. Besparelsen er regnet ud fra det dimensionsgivende varmetab, så for at få et mere retvisende billede af hvad energibesparelsen vil være, skal den årlige energibesparelse udregnes.

Der skelnes mellem varmeenergien til rumopvarmning samt indblæsningsluften, da disse energityper vil vokse uafhængigt af hinanden i takt med en stigende  $\Delta T$  mellem inde- og udetemperaturen. Her vil energien til rumopvarmning stige mest pr.  $\Delta T$ , efterfulgt af opvarmning af indblæsningsluften. Grunden til en lavere vækst i varmeenergi pr.  $\Delta T$  for indblæsningsluften skyldes brugen af varmeveksler, hvor varmeenergien i udsugningsluften kan udnyttes med op til 85%, hvilket tidligere var på 53%.

Til beregning af den årlige energibesparelse, tages der afsæt i DRY vejrdato med en driftstid på 45 timer/uge. Med en ønsket indetemperatur på 20°C, vil der være behov for opvarmning 8.400 timer/år. Justeret efter driftstiden, svarer det til 2.250 timer/år.  $\Delta T$  vil være 25°C for gradtimerne til bygningsopvarmning, hvor den vil være 11,75°C for de gamle ventilationsanlæg ( $\eta = 0,53$ ) og 3,75°C for de nye anlæg ( $\eta = 0,85$ ). Optimeringen af ventilationsanlæggene giver således en besparelse på 8°C, hvilket bruges til beregning af den årlige besparelse i varmekonsum. Det giver gradtimerne for de to opvarmningstyper set på Tabel 8.2. For mere dybdegående gennemgang af gradtimerne og  $\Delta T$ , refereres til Bilag F på s. 77.

| Varmetype                      | Gradtimer pr. år<br>[°Ch/år] |
|--------------------------------|------------------------------|
| Bygningsopvarmning             | 28.150                       |
| Opvarmning af indblæsningsluft | 9.000                        |

**Tabel 8.2.** Gradtimer til beregning af årlig besparelse i varmeenergi

Energirenovering af bygningernes klimaskærm har reduceret bygningens dimensionerende transmissionstab med 1.009,83 kW, svarende til et specifikt varmetab på 31,56 kW/°C. Ganges det specifikke varmetab med gradtimerne fra Tabel 8.2, vil det svare til en årlig besparelse på 888,41 MWh/år. Med en fjernvarmepris på 666 kr/MWh inklusiv moms jf. fjernvarme Horsens ([Fjernvarme Horsens 2023b](#)), giver det **591.681,06 kr./år**.

Besparelsen i energi til opvarmning af indblæsningsluften beregnes ud fra en samlet ventilationsluftmængde på 12,5 m<sup>3</sup>/s, hvor udregningen ses nedenfor:

$$12,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}) \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 9000^\circ \text{Ch}/\text{år} = 135,67 \text{ MWh}/\text{år}$$

Da varmeenergien hertil også kommer fra fjernvarme anvendes den samme enhedspris, resulterende i en årlig besparelse på **90.356,22 kr./år**.

Summeres alle de sparede omkostninger til energi og omregnes til en besparelse pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal, fås:

$$\frac{90.356,22 \text{ kr.}/\text{år} + 591.681,06 \text{ kr.}/\text{år} + 7.346,6 \text{ kr.}/\text{år}}{24.422 \text{ m}^2} = 28,23 \text{ kr.}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$$

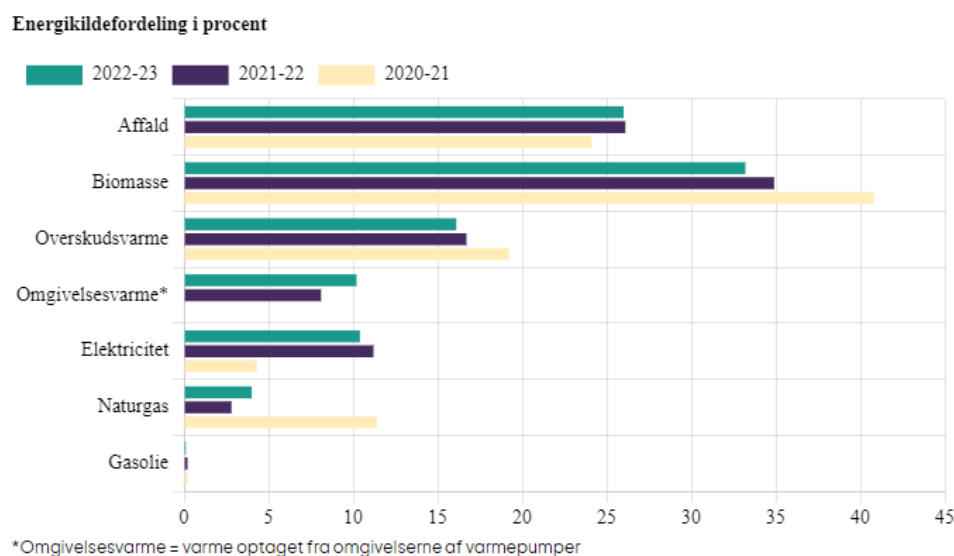
Ved implementering af løsningsforslagene, vil bygherren være i stand til at hæve huslejen med 20 kr. ekstra pr. m<sup>2</sup> om året, hvilket svarer til en ekstra indtægt på **488.440 kr./år** til bygherren. Grunden til

at huslejen ikke hæves med hele besparelsen, er med henblik på at gøre det mere attraktivt for lejere, da deres samlede omkostninger til husleje og forbrug vil falde.

## 8.2 Miljømæssig besparelse

I kombination med lavere omkostninger relateret til bygningsopvarmning, vil alle de indlejede virksomheder få en mere miljømæssig bæredygtig drift, da et mindre årligt energiforbrug leder til mindre udledning af drivhusgasser.

Når bygningens varmekilde er fjernvarme, vil udledningen af drivhusgasser i g/kWh være afhængig af brændselsfordelingen fra fjernvarmeproducenten. I dette tilfælde står Horsens fjernvarme for produktionen, hvor deres andel af forskellige brændsler pr. år fra 2020 til 2023 ses på Figur 8.1.



**Figur 8.1.** Andel af brændsler fra fjernvarme Horsens ([Fjernvarme Horsens 2023a](#))

Andelene betyder, at den samlede mængde udledning af CO<sub>2</sub>-e/kWh, er 66,8 g/kWh. Det betyder, at der ved en sammenlagt besparelse af varmeenergi på 1.024,1 MWh/år vil sænke udledningen af CO<sub>2</sub>-e/år med 68,4 tons.

Derudover vil besparelsen i el sænke udledningen af CO<sub>2</sub>-e/år med 1,47 ton fra de to pumper. Beregningen er ud fra en gennemsnitlig udledning af 132 g CO<sub>2</sub>-e/kWh i 2022 ([Green Power Denmark 2023](#)). Det vil sammenlagt give en besparelse på ca. 69,87 ton CO<sub>2</sub>-e.

Ved at spare på CO<sub>2</sub>-e udledning, kan der ansøges om et tilskud til energirenoeringen fra Energistyrelsen til erhverv. Ordningen blev indført som en del af energiaftalen i 2018, og er gældende fra 2020 til 2029. ([Økonomistyrelsen 2023](#)) Tilskuddet vil fungere som en yderlige motivationsfaktor til bygherren, når de kan få dele af deres investering refunderet med det samme af regeringen.

### 8.2.1 Energitilskud

Til beregning af det tilskud energirenoeringen er berettiget til, vælges den største værdi af enten 10 øre/kWh sparet pr. år over tiltagets levetid eller 500 kr/ton CO<sub>2</sub>-e sparet pr. år over tiltagets levetid ([Energistyrelsen 2023d](#)). Da levetiden for tiltagene præsenteret i rapporten er forskellig fra hinanden, vil det opdeles i forskellige kategorier. En oversigt af levetiderne kan ses på Tabel 8.3.

| Energisparende tiltag                  | Levetid<br>[år] |
|----------------------------------------|-----------------|
| Optimering af klimaskærm               | 12              |
| Udskiftning af ventilationskomponenter | 8               |
| Udskiftning af cirkulationspumper      | 8               |

**Tabel 8.3.** Levetider for energisparende tiltag ([Energistyrelsen 2023d](#))

Ved at opdele besparelserne efter de ovenstående kategorier, vil alle tiltagene være berettiget til et forventet samlet tilskud set på Tabel 8.4. Da udskiftningen af cirkulationspumper ikke leder til et tilskud på 10.000 kr., som er det mindste beløb der er tilskudsberettiget, er det ikke inkluderet i det samlede tilskudsbeløb.

| Energisparende tiltag                     | Årlig besparelse         |                             | Besparelse over hele levetid |                          | Tilskud ud fra kWh | Tilskud ud fra CO <sub>2</sub> -e |
|-------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------------|
|                                           | [kWh/år]                 | [ton CO <sub>2</sub> -e/år] | [kWh]                        | [ton CO <sub>2</sub> -e] | [kr]               | [kr]                              |
| Efterisolering af bygningsdele            | 888,41 · 10 <sup>3</sup> | 59,35                       | 10.660,92 · 10 <sup>3</sup>  | 712,2                    | 1.066.092          | 356.100                           |
| Udskiftning af varmeveksler i ventilation | 135,67 · 10 <sup>3</sup> | 9,06                        | 1.085,36 · 10 <sup>3</sup>   | 72,48                    | 108.536            | 36.240                            |
| Udskiftning af cirkulationspumper         | 11.131                   | 1,47                        | 89.048                       | 11,76                    | 8.904,8            | 5.880                             |
| <b>Samlet tilskud</b>                     |                          |                             |                              |                          |                    | <b>1.174.628 kr.</b>              |

**Tabel 8.4.** Mulig tilskud til energirenovering præsenteret i rapporten

Bemærk at det forventede tilskud fra Tabel 8.4 kan være større eller mindre afhængigt af hvad den målte energibesparelse vil være efter det første år efter tiltagene, da tilskuddet beregnes ud fra nettoforskellen mellem energiforbruget før og efter implementering af løsningsforslagene ganget med tiltagets levetid. Ligeledes vil tilskuddet have et loft på enten 50%, 40% eller 30% afhængigt af om virksomheden er lille, mellem eller stor, defineret af Energistyrelsen. ([Energistyrelsen 2023d](#))

I dette kapitel er der redegjort for flere faktorer der giver øget incitament til implementering fra bygherren. Med mulighed for at få et tilskud i kombination med øget indtægt fra huslejen, vil tilbagebetalingstiden fra energirenoveringen til bygherren sænkes væsentligt. Det vurderes derfor med høj sandsynlighed at energirenoveringen vil indføres af bygherren, såfremt deres hensigt vil være at fortsat bevare det eksisterende byggeri.



# Diskussion 9

---

Mange af problemerne med det eksisterende varmesystem, er en konsekvens manglende helhedsvurdering før implementering af løsningerne. Overdimensionerede komponenter er et produkt af manglende tid og/eller ressourcer givet fra bygherren til de rådgivende ingeniører. Da bygningen ikke har noget energimærke, hvilket ofte ses ved ældre produktionsejendomme, har det ikke været muligt at vurdere det dimensionsgivende varmetab ordentligt, hvorfor det af nødvendighed skulle antages. Gennem analyse af driften og størrelsen af komponenterne i varmesystemet, vurderes det at bygherrens primære fokus var at sikre varme ud til lejerne. Det skyldes med stor sandsynlighed at lejerne selv har ytret utilfredshed overfor bygningens varmesystem. Bygherren har derfor skulle tilfredsstille lejerne ud fra en hurtig løsning, hvorfor der ikke har været tid til at lave en optimal løsning. Således er der under den oprindelige energirenovring ikke tænkt på driften udenfor opvarmningssæsonen.

Ved ikke at have tænkt langsigtet under den oprindelige implementering, har det ledt til mange af de problemer der ses med varmesystemet i dag som bl.a. dårlig regulering og afkøling af fjernvarmeforsyningen. I stedet burde hele energirenovringsprojektet have haft fokus på mere end bare varmesystemet. Komponenterne kunne være mindre hvis varmetabet blev mindsket gennem optimering af klimaskærmen og bedre varmevekslere i ventilationsaggregaterne, resulterende i mindre komponenter og bedre regulering. Ved paralleldrift af vekslerne i varmecentralen, er drift udenfor opvarmningssæsonen ikke blevet betragtet. Såfremt vandet ikke var beskidt, ville paralleldriften kun give dårlig afkøling udenfor opvarmningssæsonen. Men eftersom de er blevet tilstoppet af det beskidte vand, har det ledt til dårlig afkøling over hele året, hvorfor de bør udskiftes inden deres forventede levetid.

Dette projekt belyser problematikker med energirenovringsprojekter forbundet med ændret anvendelse af gamle produktionsejendomme, hvor bygherren har til formål at udleje. Her ses der ikke nogen særlig interesse i at investere for meget i renoveringsprojektet. Det kan skyldes at bygherren er ligeglad, da de ikke hæfter for driftsomkostningerne, og hermed ikke ser nogen grund til at sænke bygningens energiforbrug. En anden mulighed er, at det vil lede til for stor irritation for udlejerne, hvis store dele af klimaskærmen skal efterisoleres, hvor dele af lejemålene vil være utilgængeligt grundet renovering. Det bør derfor aftales med lejerne hvordan renoveringen skal foregå, på en måde så det ikke er til for stor gene. Det kan f.eks. være gennem etapevis renovering aftalt med lejerne, så de er klar over renoveringens tidsplan.

Ved at oplyse bygherrer om de mulige tilskudsordninger og økonomiske gevinster relateret til energirenovring, vil der være øget sandsynlighed for at der ikke bliver implementeret løsninger der kan give problemer senere, som set i dette projekt, men i stedet lavet et fremtidssikret varmesystem der holder den forventede levetid.

Gennem analyse af varmesystemet for den gamle telefonfabrik på Ane Staunings Vej 21 i Horsens, kan det konkluderes at der er et til flere problemer med det eksisterende varmesystem.

Ved at efterisolere klimaskærmen samt optimere komponenter i ventilationsaggregatet, kan der opnås en væsentlig besparelse i det årlige energiforbrug samtidigt med at størrelsen på alle komponenter i varmesystemet mindskes. Hermed vil reguleringskomponenter ikke være særligt overdimensioneret til drift udenfor opvarmningssæsonen. Dette bør give bedre regulering hele året rundt resulterende i bedre afkøling, når pladevarmevekslerne drives i kaskadeoperation.

Når bygninger opkøbes til lejemål kan der jf. dette projekt konkluderes, at bygherrer ikke har særlig interesse i at investere væsentligt i energirenoveringer. Primært fordi renoveringen vil mindske de årlige driftsomkostninger, hvilket betales af lejerne ved siden af huslejen. For at sikre implementering fra bygherren, skal de informeres om de tilgængelige tilskudsordninger samt den økonomiske gevinst ved energirenoveringen, som sænker tilbagebetalingstiden. Manglende indledningsvis investering kan resultere i løbende udskiftninger af komponenter, hvilket over tid vil gøre energirenoveringsprojektet dyrere end nødvendigt.

Det er derfor vigtigt at betragte hele bygningen under et energirenoveringsprojekt, så varmesystemets komponenter ikke bliver unødvendigt store. Reguleringen af komponenterne skal også fungere ud fra bygningens nye anvendelse, hvorfor den tidligere reguleringsmetode ikke bør betragtes. På denne måde vil der opnås et bedre fungerende varmesystem ud fra den nye anvendelse, over hele året. I tilfælde af retrofitting skal der også tages højde for den dårlige vandkvalitet på sekundærkredsen, hvilket uden tidligere gennemskylning kan være lige så gammelt som det originale varmesystem. Udskiftning af vandet eller etablering af filtre vil derfor øge levetiden for de nye komponenter markant.

# Litteratur

---

- Aalborg Universitet (2023), *Bachelorprojekt*, <https://moduler.aau.dk/course/2023-2024/B-IE-D7-10>. Sidst tilgået 04.11.2023.
- Alfa Laval (2004), *The theory behind heat transfer - Plate heat exchangers*, [https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/alfa\\_laval\\_heating\\_and\\_cooling\\_hub\\_the\\_theory\\_behind\\_heat\\_transfer.pdf](https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/alfa_laval_heating_and_cooling_hub_the_theory_behind_heat_transfer.pdf).
- Danfoss (2020), *ECL Comfort 310 regulator, fjernbetjening ECA 30/31 og applikationsnøgler*, <https://assets.danfoss.com/documents/76829/AI155886473192da-000602.pdf>. Sidst tilgået 08.12.2023.
- Danfoss (Ukendt), *Data sheet Micro Plate Heat Exchanger (MPHE): XB59*, <https://store.danfoss.com/en/Climate-Solutions-for-heating/Heat-Exchangers/Plate-heat-exchangers/Micro-Plate-Heat-Exchanges/Micro-Plate-heat-exchanger%2C-XB59M-1%2C-Number-of-plates%3A-160/p/004B1941>. Sidst tilgået 20.11.2023.
- Danfoss Climate Solutions for heating (2015), *Brazed & Gasketed Micro Plate™ Heat Exchangers*, [https://www.youtube.com/watch?v=73tIkWD6wx0&ab\\_channel=DanfossClimateSolutionsforheating](https://www.youtube.com/watch?v=73tIkWD6wx0&ab_channel=DanfossClimateSolutionsforheating).
- Danmarks Statistik (2024a), *Befolkningens højest fuldførte uddannelse*, <https://rb.gy/g5px93>. Sidst tilgået 01.01.2024.
- Danmarks Statistik (2024b), *BYGB12: Bygninger efter område, ejerforhold, anvendelse og arealintervaller*, <https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/selectvarval/saveselections.asp>. Sidst tilgået 01.01.2024.
- Dansk Standard (2011), 'Ds418 - beregning af bygningers varmetab'.
- Elberegner.dk (2023), *Hvor meget er el steget?*, <https://elberegner.dk/elpriser/elpris-udvikling/>. Sidst tilgået 19.12.2023.
- Energistyrelsen (2021), *Energistatistik 2021, Technical report*, Energistyrelsen.
- Energistyrelsen (2023a), *Fjernvarmepuljen*, <https://ens.dk/service/tilskuds-stoetteordninger/fjernvarmepuljen>. Sidst tilgået 03.11.2023.
- Energistyrelsen (2023b), *Inddata for forskellige vinduestyper (HB2019 - Historisk)*, <https://hbemo.dk/haandbog-for-energikonsulenter-hb2019-gaeldende/bilag-4-energimaerkning-af-eksisterende-bygninger/vejledende-tekniske-bilag-og-tabeller/vinduer-og-yderdoere/inddata-for-forskellige-vinduestyper>. Sidst tilgået 27.11.2023.

- Energistyrelsen (2023c), *Statistik på Danmarks energimærker*, <https://old.spareenergi.dk/forbruger/vaerktoejr/find-statistik-paa-danmarks-energimaeker>. Sidst tilgået 01.11.2023.
- Energistyrelsen (2023d), *Vejledning til ansøgning*, <https://spareenergi.dk/sites/default/files/media/documents/2023-06/Final%20Vejledning%20Erhvervspulje.pdf>. Sidst tilgået 29.12.2023.
- Energistyrelsen (2023e), *Ældre bygningsreglementers krav til U-værdier (HB2016 - Historisk)*, <https://hbemo.dk/haandbog-for-energikonsulenter-hb2016-2018/vejledende-tekniske-anvisninger-i-tabelform/bygningsdele/aeldre-bygningsreglementers-krav-til-u-vaerdier>. Sidst tilgået 01.11.2023.
- Energistyrelsen (Ukendt), *Energieffektivisering af ventilations- og udsugningsanlæg*, [https://old.spareenergi.dk/sites/forbruger.dk/files/contents/publication/energieffektivisering-af-ventilations-og-udsugningsanlaeg/ventilation\\_ens\\_erhverv\\_temahaefte.pdf](https://old.spareenergi.dk/sites/forbruger.dk/files/contents/publication/energieffektivisering-af-ventilations-og-udsugningsanlaeg/ventilation_ens_erhverv_temahaefte.pdf). Sidst tilgået 03.11.2023.
- FilArkiv (2023), *Byggesagsarkiv*, <https://rb.gy/dfe2uv>. Sidst tilgået 18.11.2022.
- Fjernvarme Horsens (2023a), *Fjernvarmedeklaration*, <https://fjernvarmehorsens.dk/om-fjernvarme-horsens/miljoedeklaration.php>. Sidst tilgået 19.12.2023.
- Fjernvarme Horsens (2023b), *Takstblad 2023*, <https://fjernvarmehorsens.dk/oekonomi/takstblad.php>. Sidst tilgået 08.12.2023.
- Fjernvarme Horsens (2023c), *Tekniske bestemmelser for levering af fjernvarme*, <https://fjernvarmehorsens.dk/mediarkiv/pdf/bestemmelser/tekniske-bestemmelser-2022.pdf>. Sidst tilgået 04.11.2023.
- Fluidhandling PRO (2023), *Enhancing Pump Performance: KATflow 200 Portable Flowmeter Insights*, <https://fluidhandlingpro.com/enhancing-pump-performance-katflow-200-portable-flowmeter-insights/>. Sidst tilgået 10.12.2023.
- Green Power Denmark (2023), *2022 blev et dyrt og vildt energiår, men strømmen var grønnere*, <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/13667833/2022-blev-et-dyrt-og-vildt-energiar-men-strommen-var-gronnere?publisherId=13560944>. Sidst tilgået 19.12.2023.
- Grundfos (2023a), *MAGNA3 40-150 F*, <https://product-selection.grundfos.com/dk/products/magna/magna3/magna3-40-150-f-97924271?pumpsystemid=2234454226&tab=variant-sizing-results>. Sidst tilgået 15.12.2023.
- Grundfos (2023b), *MAGNA3 50-150 F*, <https://product-selection.grundfos.com/dk/products/magna/magna3/magna3-50-150-f-97924285?pumpsystemid=2233647356&tab=variant-sizing-results>. Sidst tilgået 15.12.2023.
- Grundfos (2023c), *MAGNA3 65-150 F*, <https://product-selection.grundfos.com/dk/products/magna/magna3/magna3-65-150-f-97924299?pumpsystemid=2229823056&tab=variant-sizing-results>. Sidst tilgået 13.12.2023.

- Grundfos (2023d), *TPE 100-110/4 A-F-A-BAQE-JWA*, <https://product-selection.grundfos.com/dk/products/tp-tpe/tpe-series-1000-tpe2/tpe-100-1104-99113688?pumpsystemid=2233672410&tab=variant-sizing-results>. Sidst tilgået 14.12.2023.
- Grundfos (2023e), *TPE2 80-150 N-A-F-A-BQQE-HWB*, <https://product-selection.grundfos.com/dk/products/tp-tpe/tpe-series-1000-tpe2/tpe2-80-150-98437738?pumpsystemid=2233678164&tab=variant-sizing-results>. Sidst tilgået 14.12.2023.
- Hansen, H., Kjerluf-Jensen, P. & Stampe, O. B. (2018), *Varme- og Klimateknik, Grundbog*, number 978-87-982652-0-7 in '4', Danvak ApS.
- Horsens Kommune (2023), *Varmeplan 2023-2030 for horsens kommune*, Technical report, Horsens Kommune.
- IMI Hydronic Engineering (2023a), *TA-Modulator*, <https://www.imi-hydronic.com/da-dk/product/ta-modulator>. Sidst tilgået 30.11.2023.
- IMI Hydronic Engineering (2023b), *TA-Modulator - Combined control & balancing valves*, <https://www.imi-hydronic.com/da-dk/product/ta-modulator>. Sidst tilgået 30.11.2023.
- IMI Hydronic Engineering (2023c), *TA-Scope*, <https://www.imi-hydronic.com/product/ta-scope>. Sidst tilgået 10.12.2023.
- Lemke, T. (2019), *Tilslutningspligt: Er du tvunget til at få fjernvarme?*, <https://www.bolius.dk/er-du-tvunget-til-at-faa-fjernvarme-21779>. Sidst tilgået 01.11.2023.
- Močnik, S., Blagojevič, B. & Muhic, S. (2020), 'Numerical analysis with experimental validation of single-phase fluid flow in a dimple pattern heat exchanger channel', *Strojniski Vestnik* **66**, 544–553.
- Ovesen, K. (2000), 'Varmeanlæg med vand som medium', **1**(87-563-1058-7).
- parsloe, C. & Martin, N. (2015), *The Definitive Guide to Pressure Independent Control Valves*, <https://www.pettinaroli.dk/wp-content/uploads/2020/04/PICV-Teknisk-guide.pdf>.
- Skueprocessen (Ukendt), *DRY normalår Danmark 2001-2010*, [https://skueprocessen.azurewebsites.net/Sagen/Afg%C3%B8relsens\\_time/Afg%C3%B8relsens\\_timeSub/Timebaserede\\_graddageSub/DRY\\_Normal%C3%A5r\\_Danmark\\_2001\\_2010](https://skueprocessen.azurewebsites.net/Sagen/Afg%C3%B8relsens_time/Afg%C3%B8relsens_timeSub/Timebaserede_graddageSub/DRY_Normal%C3%A5r_Danmark_2001_2010). Sidst tilgået 27.11.2023.
- Social- og Boligstyrelsen (2023), *Bygningsreglementet*, <https://bygningsreglementet.dk/>. Sidst tilgået 19.11.2023.
- Social- og Boligstyrelsen (2024), *Energiforbrug og klimapåvirkning (§ 250 - § 298)*, [https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav/267\\_270](https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav/267_270). Sidst tilgået 09.01.2024.
- Standard, D. (2002), 'Ds 469/till. 1:2002 - varmeanlæg med vand som varmemærende medium - dimensionering og regulering af varmegivere - energieffektivitet for pumper'.

Standard, D. (2008), 'Ds/iso 12241 - termisk isolering til udstyr i byggeri og driftstekniske anlæg - beregningsregler'.

Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur (2023), *Skråfoto*, [https://skraafoto.dataforsyningen.dk/?orientation=north&center=723276.62%2C6178919.3%2C15.5&item=2021\\_84\\_40\\_2\\_0043\\_00083917&item2=2023\\_84\\_40\\_2\\_0140\\_00055931](https://skraafoto.dataforsyningen.dk/?orientation=north&center=723276.62%2C6178919.3%2C15.5&item=2021_84_40_2_0043_00083917&item2=2023_84_40_2_0140_00055931). Sidst tilgået 20.09.2023.

Systemair (2023), *Geniox aggregater*, <https://www.systemair.com/da-dk/produkter/aggregater/geniox/geniox>. Sidst tilgået 02.12.2023.

The engineering mindset (Ukendt), *Laminar flow turbulent flow*, <https://theengineeringmindset.com/micro-plate-heat-exchangers/laminar-flow-turbulent-flow/>. Sidst tilgået 27.11.2023.

Videncenter for energibesparelser i bygninger (2021), *Varmeafgiversystemer*, <https://byggeriogenergi.dk/media/1720/guide-varmeafgiversystemer.pdf>. Sidst tilgået 04.11.2023.

Vurderingsstyrelsen (2023), *BBR Kort*, <https://kort.bbr.dk/?selected=ccf28e3d-d5b2-482b-b72b-10816c617f1d&p=553217.4318,6191995.06,11.618&bfe=5645914>. Sidst tilgået 04.11.2023.

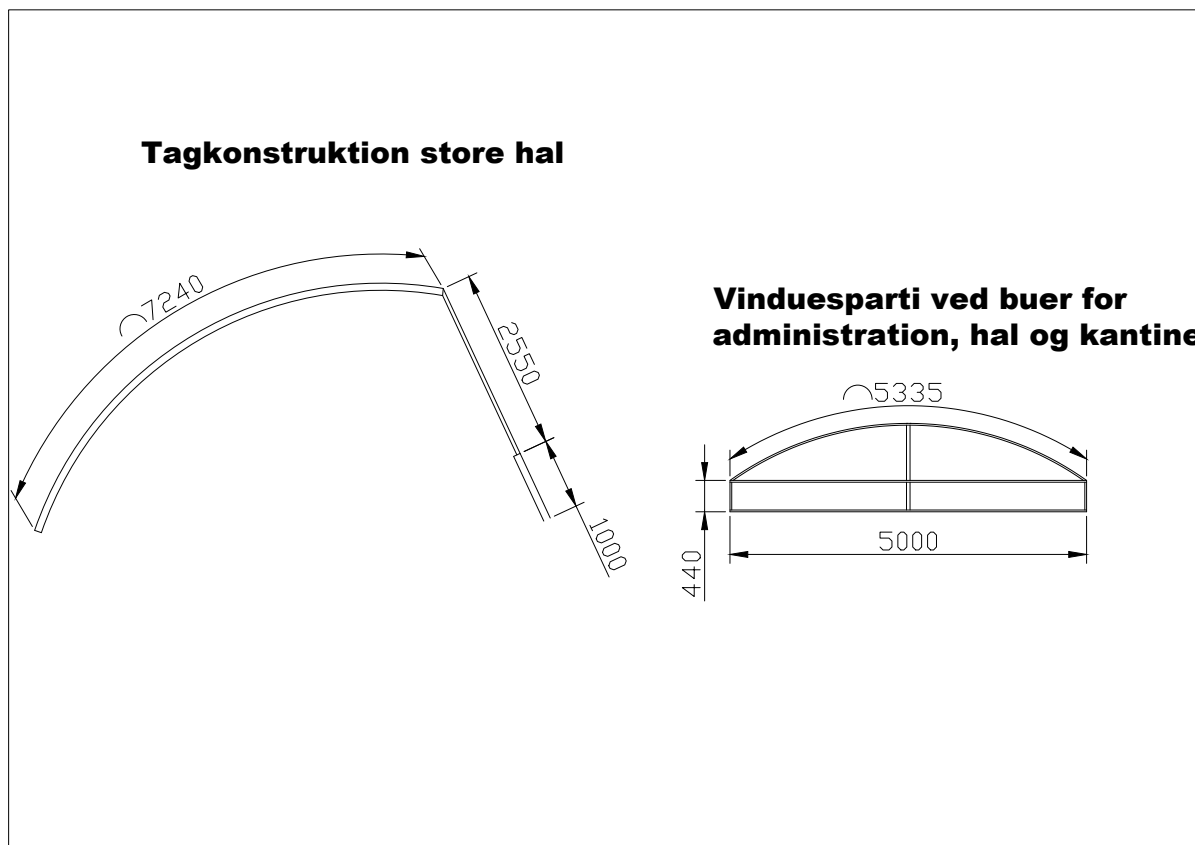
Økonomistyrelsen (2023), *Erhvervstilskud til energieffektiviseringer og CO<sub>2</sub>-reduktioner*, <https://www.statens-tilskudspuljer.dk/klima-energi-og-forsyningsministeriet/energistyrelsen/20>. Sidst tilgået 28.12.2023.

# Beregning af varmetab

# A

## A.1 Arealer

Til beregning af arealet for de buede vinduespartier på nord- og sydfacaden for den gamle produktionshal, administrationsbygning og kantine, samt tagkonstruktionen for den gamle produktionshal, gøres brug af opbygningerne set på Figur A.1. De 2,55 m for den skrå flade på tagkonstruktionen er ovenlysvinduer, hvor den resterende meter har samme opbygning som buen.



**Figur A.1.** Skitse af buekonstruktioner i klimaskærm

Dernæst er antallet af buer og deres længde blevet talt og opmålt på baggrund af tegningsmateriale jf. ([FilArkiv 2023](#)). Disse opmålinger har ledt til arealer på Tabel A.1 og linjetabslængder på Tabel A.2.



| Konstruktionsdel     | Bygningsafsnit |         |          |        |                         |        |
|----------------------|----------------|---------|----------|--------|-------------------------|--------|
|                      | Etage V        | Etage S | Prod     | Admin  | OJ                      | Kant   |
| Ydervægge            | 482,18         | 688,7   | 976,25   | 398,25 | 426,3                   | 49,11  |
| Vinduer i facade     | 160,46         | 357,73  | 458,4    | 545,14 | 66,43                   | 158,9  |
| Ovenlysvinduer       | -              | -       | 4105,5   | -      | -                       | -      |
| Buede vinduer        | -              | -       | 114,19   | 275,04 | -                       | 106,96 |
| Døre                 | 24,35          | 14,62   | 63,28    | 5,8    | 8,61                    | -      |
| Vinduesfacade        | -              | -       | -        | -      | 336                     | -      |
| Terrændæk            | 570,92         | 972,8   | 10.216,7 | 1350,2 | 1067                    | 546    |
| Tag                  | 568,8          | 972,8   | 16.268,2 | 1918,8 | 886 (ny) & 181 (gammel) | 676,1  |
| Etageadskillelse/dæk | -              | -       | 4273,3   | 302,5  | -                       | 88,2   |

Tabel A.1. Opmålte arealer i m<sup>2</sup> til beregning af transmissionstab

| Konstruktionsdel                    | Bygningsafsnit |         |        |       |       |       |
|-------------------------------------|----------------|---------|--------|-------|-------|-------|
|                                     | Etage V        | Etage S | Prod   | Admin | OJ    | Kant  |
| Samlinger omkring vinduer i ydervæg | 631,3          | 982,9   | 1007,9 | 650,1 | 363,9 | 290,5 |
| Samlinger omkring døre i ydervæg    | 29,6           | 28      | 81,3   | 21,2  | 12,5  | -     |
| Samlinger omkring ovenlysvinduer    | -              | -       | 3271   | -     | -     | -     |
| Terrændæk                           | 118,9          | 151,4   | 383,2  | 215,1 | 202,2 | 18,12 |
| Karm fra vinduer/døre på terrændæk  | 9,4            | 6,96    | 28,8   | 17,8  | 16,3  | 70    |

Tabel A.2. Opmålte længder i m til beregning af linjetab

## A.2 Koefficienter til beregning af transmissionstab

For at beregne transmissionstabet gennem klimaskærmen, skal transmissions- og linjetabskoefficienten,  $U$ -værdien og  $\Psi$ , for de forskellige konstruktionsdele bestemmes. Her er alle konstruktionsdeles  $U$ -værdier og  $\Psi$  beregnet og bestemt med afsæt tegningsmateriale fra byggesagsarkivet. (FilArkiv 2023) Vinduer og døres  $U$ -værdier er bestemt ud fra håndbogen for energikonsulenter (Energistyrelsen 2023b), med sidste registrerede renovering og observationer taget i betragtning. Til beregning af  $U$ -værdien for div. konstruktioner, bruges Ligning A.1.

$$U = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{R_{se} + d_n/\lambda_n + \dots + R_{si}} \quad (\text{A.1})$$

Hvor:

|           |                                      |                          |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------|
| $U$       | Transmissionskoefficient             | [W/(m <sup>2</sup> ·°C)] |
| $\sum R$  | Samlet isolans for konstruktion      | [(m <sup>2</sup> ·°C)/W] |
| $R_{se}$  | Udvendig overgangsisolans jf. DS418  | [(m <sup>2</sup> ·°C)/W] |
| $d_n$     | Tykkelse af materialelag             | [m]                      |
| $\lambda$ | Varmedningsevne af materialelag      | [W/(m·°C)]               |
| $R_{si}$  | Indvendig overgangsisolans jf. DS418 | [(m <sup>2</sup> ·°C)/W] |

Såfremt det er nødvendigt at korrigere for luftspalter eller murbindere ved f.eks. en ydervæg, gøres brug af Ligning A.2 og Ligning A.3, for at finde den korrigerede  $U$ -værdi.

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left( \frac{R_i}{R_T} \right)^2 \quad (\text{A.2})$$

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f \cdot \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2}{d_1} \quad (\text{A.3})$$

Hvor:

|              |                                                                                           |                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| $\Delta U_g$ | Korrektion for luftspalter                                                                | $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$  |
| $\Delta U''$ | Aflæst korrektionsfaktor jf. tabel A.1 i DS418<br>( <a href="#">Dansk Standard 2011</a> ) | $[[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$ |
| $R_i$        | Isolans for isoleringen                                                                   | $[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$  |
| $R_T$        | Totale isolans for konstruktion                                                           | $[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$  |
| $\Delta U_f$ | Korrektion for bindere                                                                    | $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$  |
| $\alpha$     | Koefficient på 0,8 jf. DS418 ( <a href="#">Dansk Standard 2011</a> )                      | [-]                                             |
| $\lambda_f$  | Varmedledningsevne for binder                                                             | $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$    |
| $n_f$        | Antal bindere pr. $\text{m}^2$                                                            | [-]                                             |
| $d_1$        | Tykkelse af isoleringslag der indeholder bindere                                          | [m]                                             |

Til beregning af disse korrektioner, anvendes der altid niveau 1 ift. luftspalter på Tabel A.1 i DS418, og for bindere anvendes der altid 8 bindere pr.  $\text{m}^2$  med en diameter på 4 mm i rustfrit stål.

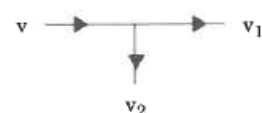
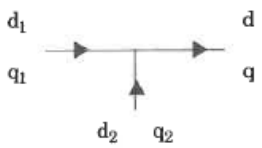
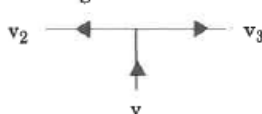
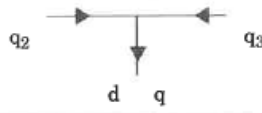
Alle linjetabskoefficienter er bestemt ud fra prædefinerede koefficienter fra DS418 ([Dansk Standard 2011](#)). En oversigt af U-værdierne og linjetabskoefficienterne kan ses på Tabel A.3.

| Konstruktionsdel                                                                      | Bygningsafsnit |         |      |       |                            |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|------|-------|----------------------------|------|
|                                                                                       | Etage V        | Etage S | Prod | Admin | OJ                         | Kant |
| <b>U-værdier <math>[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]</math></b>            |                |         |      |       |                            |      |
| Ydervæg                                                                               | 0,34           | 0,28    | 0,29 | 0,29  | 0,25                       | 0,29 |
| Væg mod jord                                                                          | 0,26           | -       | -    | -     | -                          | -    |
| Vinduer i facade                                                                      | 2,2            | 2,2     | 1,5  | 1,5   | 1,42                       | 1,4  |
| Ovenlysvinduer                                                                        | -              | -       | 4,1  | -     | -                          | -    |
| Buede vinduer                                                                         | -              | -       | 2,8  | 2,8   | -                          | 2,8  |
| Døre                                                                                  | 1,8            | 1,8     | 1,8  | 1,8   | 1,8                        | -    |
| Porte                                                                                 | -              | -       | 1,8  | -     | -                          | -    |
| Vinduesfacade                                                                         | -              | -       | -    | -     | 1,42                       | -    |
| Terrændæk                                                                             | 0,23           | 0,25    | 0,29 | 0,29  | 0,16                       | 0,29 |
| Tag                                                                                   | 0,17           | 0,26    | 0,85 | 0,85  | 0,19 (ny)<br>0,24 (gammel) | 0,85 |
| Dæk mod ingeniørgang                                                                  | -              | -       | 3,47 | 3,47  | -                          | 3,47 |
| <b>Linjetabskoefficienter <math>[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]</math></b> |                |         |      |       |                            |      |
| Vinduer/døre i ydervæg                                                                | 0,13           | 0,11    | 0,11 | 0,11  | 0,11                       | 0,11 |
| Ovenlys                                                                               | -              | -       | 0,33 | -     | -                          | -    |
| Terrændæk                                                                             | 0,61           | 0,61    | 0,61 | 0,61  | 0,24                       | 0,61 |
| Karm på terrændæk                                                                     | 0,11           | 0,11    | 0,11 | 0,11  | 0,11                       | 0,11 |

**Tabel A.3.** Koefficienter til beregning af bygningens dimensionsgivende varmetab gennem transmission

# Tryktab B

## B.1 Modstandskoefficienter til enkeltab

|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |           |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|-----------|---------------------|-----------|-------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|---|---|-----|-----|-----|-----|
| Dimensionsskifte<br>$\zeta$ henføres til $p_d$ i<br>det mindste tværsnit                          | Indsnævring: $\zeta = 0$<br>Udvidelse:<br><table><tr><td><math>d_1/d_2</math>:</td><td>0,1</td><td>0,2</td><td>0,3</td><td>0,5</td><td>0,7</td><td>0,9</td></tr><tr><td><math>\zeta_1</math></td><td>1</td><td>1</td><td>0,9</td><td>0,6</td><td>0,3</td><td>0,1</td></tr></table> |               |             |           |                     |           |             | $d_1/d_2$ : | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | $\zeta_1$ | 1 | 1 | 0,9 | 0,6 | 0,3 | 0,1 |
| $d_1/d_2$ :                                                                                       | 0,1                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,2           | 0,3         | 0,5       | 0,7                 | 0,9       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| $\zeta_1$                                                                                         | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1             | 0,9         | 0,6       | 0,3                 | 0,1       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| Vinkler (90°)                                                                                     | d(mm):                                                                                                                                                                                                                                                                             | < 10          |             | 10 – 15   |                     | 20 – 25   |             | > 32        |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | $\zeta$ :                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2,5           |             | 2,0       |                     | 1,5       |             | 1,0         |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| Bøjninger (90°)                                                                                   | kort:                                                                                                                                                                                                                                                                              | $\zeta = 0,5$ |             |           | lang: $\zeta = 0,3$ |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| Afgrening*<br>   | $v_1/v$                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\zeta_1$     |             |           | $v_2/v$             | $\zeta_2$ |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | 0,5                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,5           |             |           | 0,4                 | 7         |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | 1,0                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0             |             |           | 0,6                 | 3,5       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |           | 0,8                 | 2,5       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |           | 1,0                 | 2,0       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |           | 2,0                 | 1,0       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| Tilløb*<br>    | $\zeta_1$                                                                                                                                                                                                                                                                          | $q_1/q$       | $d_1/d < 1$ |           |                     |           | $d_1/d = 1$ |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,6           | 0,8         |           |                     |           | 1,5         |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,8           | 0,3         |           |                     |           | 0,5         |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1,0           | 0           |           |                     |           | 0           |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | $\zeta_2$                                                                                                                                                                                                                                                                          | $q_2/q$       | $d_2/d$     |           |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               | 0,3         | 0,4       | 0,5                 | 0,7       | 1,0         |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,1           | 0,5         | 0         | -2,0                | -7        |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,2           | 1,0         | 1,0       | 0,5                 | 0         |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,3           |             | 1,3       | 1,0                 | 1,0       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,4           |             | 1,0       | 1,0                 | 1,3       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,5           |             |           |                     | 1,5       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |           |                     | 2,0       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| Fordeling*<br> | $v_2/v$                                                                                                                                                                                                                                                                            |               |             | $\zeta_2$ |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | 0,6                                                                                                                                                                                                                                                                                |               |             | 3,0       |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | 1,0                                                                                                                                                                                                                                                                                |               |             | 1,3       |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | 1,5                                                                                                                                                                                                                                                                                |               |             | 0,8       |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | 2,0                                                                                                                                                                                                                                                                                |               |             | 0,5       |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| Sammenløb*<br> | $\zeta_2$                                                                                                                                                                                                                                                                          | $q_2/q$       | $d_2/d$     |           |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               | 0,5         | 0,7       | 0,8                 | 1,0       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,3           | 5           | 7         | 9                   | 15        |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,5           | 1,3         | 2,0       | 3,0                 | 5         |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0,7           | 1,0         | 1,3       | 1,8                 | 3,0       |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| Afspærringsorganer                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |           |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
|                                                                                                   | $d \leq 25 \text{ mm}$                                                                                                                                                                                                                                                             |               |             |           | $d > 25 \text{ mm}$ |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| sædeventil                                                                                        | 10                                                                                                                                                                                                                                                                                 |               |             |           | 5                   |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| fristrømsventil                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |             |           | 1,5                 |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| skydeventil                                                                                       | 0,3                                                                                                                                                                                                                                                                                |               |             |           | 0,3                 |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |
| * $\zeta$ henføres til $p_d$ i det berørte tværsnit.                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |             |           |                     |           |             |             |     |     |     |     |     |     |           |   |   |     |     |     |     |

Figur B.1. Oversigt til bestemmelse af enkeltabskoefficienter (Hansen et al. 2018)

## B.2 Tryktab til cirkulationspumper

### Eksisterende forhold

Indledningsvist, er placeringen af alle blandesløjfer fastlagt, med afsæt i observationer fra besigtigelse samt opdelingen af lejemålene. Disse overvejelser har ledt til placeringerne set på Figur 5.1 i hovedrapporten. Masseflowet ud til de forskellige blandesløjfer fremgår af Tabel B.1, hvor der også er angivet, om blandesløjferne forsyner VVB og varmeklader til ventilationsaggregater.

| Blandesløjfe               | Areal af opland<br>[m <sup>2</sup> ] | Forsyner varmeklader?<br>[Ja/Nej] | Forsyner VVB?<br>[Ja/Nej] | P til VVB<br>[kW] | $\Phi$<br>[kW] | m<br>[kg/s] | q<br>[m <sup>3</sup> /h] |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|----------------|-------------|--------------------------|
| A1.1                       | 750,7                                | Nej                               | Nej                       | 0                 | 60,63          | 0,48        | 1,76                     |
| A1.2                       | 901                                  | Nej                               | Nej                       | 0                 | 72,76          | 0,58        | 2,11                     |
| A2.1                       | 3891                                 | Ja                                | Ja                        | 3613,8            | 92,62          | 0,74        | 2,69                     |
| A2.2                       | 634,2                                | Ja                                | Ja                        | 3809,8            | 51,67          | 0,41        | 1,50                     |
| A3.1                       | 4205,2                               | Ja                                | Ja                        | 3649,6            | 544,73         | 4,34        | 15,83                    |
| A3.2                       | 695,7                                | Nej                               | Nej                       | 0                 | 66,34          | 0,53        | 1,93                     |
| A3.3                       | 659,6                                | Nej                               | Ja                        | 3649,6            | 63,62          | 0,51        | 1,85                     |
| A4.1                       | 2347,7                               | Ja                                | Ja                        | 3632,1            | 239,81         | 1,91        | 6,97                     |
| A4.2                       | 1479                                 | Ja                                | Nej                       | 0                 | 139,54         | 1,11        | 4,05                     |
| A4.3                       | 2650,5                               | Nej                               | Nej                       | 0                 | 241            | 1,92        | 7,00                     |
| A4.4                       | 2134                                 | Ja                                | Ja                        | 3689,9            | 59,62          | 0,47        | 1,73                     |
| A4.5                       | 1687,2                               | Ja                                | Ja                        | 3619,9            | 47,88          | 0,38        | 1,39                     |
| A4.6                       | 2141                                 | Ja                                | Ja                        | 8889,4            | 208,16         | 1,66        | 6,05                     |
| 332,7 m2 uden blandesløjfe | 332,7                                | Nej                               | Nej                       | 0                 | 30,25          | 0,24        | 0,88                     |

**Tabel B.1.** Oversigt af dimensionsgivende massestrøm ud til alle blandesløjfer

På Tabel B.2, ses en oversigt af tryktabet for de kritiske strækninger der er undersøgt i hovedrapporten, hvor flowet i hver strækning er beregnet ud fra massestrømmen i Tabel B.1 ud til de nødvendige blandesløjfer som strækningen forsyner.

| Stækning          | D<br>[m] | q<br>[m <sup>3</sup> /s] | R<br>[Pa/m] | L<br>[m] | ζ<br>[-] | ΔP<br>[kPa] |
|-------------------|----------|--------------------------|-------------|----------|----------|-------------|
| <b>Hovedpumpe</b> |          |                          |             |          |          |             |
| Start - P1        | 0,2      | 1,55E-02                 | 18,56       | 15,6     | 6        | 1,01        |
| P1-1.1            | 0,2      | 1,55E-02                 | 18,56       | 10,3     | 7        | 1,03        |
| P1.1-1.2          | 0,1      | 2,24E-03                 | 15,72       | 5,3      | 4,5      | 0,26        |
| P1.2-1.3          | 0,1      | 1,17E-03                 | 4,36        | 23,55    | 2        | 0,12        |
| P1.3-1.4          | 0,1      | 1,17E-03                 | 4,36        | 97,5     | 3,5      | 0,46        |
| P1.4-A2.1         | 0,05     | 7,50E-04                 | 71,90       | 29,8     | 0,5      | 2,18        |
| <b>Stor kreds</b> |          |                          |             |          |          |             |
| P2-2.1            | 0,2      | 1,32E-02                 | 13,62       | 17,6     | 4,5      | 0,63        |
| P2.1-2.2          | 0,15     | 7,80E-03                 | 21,70       | 52,6     | 0,5      | 1,19        |
| P2.2-2.3          | 0,15     | 5,86E-03                 | 12,34       | 69,5     | 0,5      | 0,88        |
| P2.3-2.4          | 0,1      | 2,79E-03                 | 24,19       | 28,8     | 2,5      | 0,85        |
| P2.4-2.5          | 0,1      | 2,40E-03                 | 18,04       | 2        | 7,5      | 0,38        |
| P2.5-2.6          | 0,1      | 7,30E-04                 | 1,76        | 42       | 1,5      | 0,08        |
| P2.6-2.7          | 0,05     | 2,43E-04                 | 7,91        | 40,2     | 2,5      | 0,34        |
| P2.7-2.8          | 0,05     | 1,93E-04                 | 5,03        | 5,4      | 0,5      | 0,03        |
| P2.8-2.9          | 0,05     | 1,46E-04                 | 2,95        | 35,8     | 1,5      | 0,11        |
| P2.9-2.10         | 0,02     | 9,73E-05                 | 175,20      | 4,8      | 0,5      | 0,86        |
| P2.10-2.11        | 0,02     | 4,86E-05                 | 45,13       | 7,8      | 0,5      | 0,36        |

**Tabel B.2.** Tryktab for rørstrækninger nævnt i sektion 5.1

### Efter løsningsforslag

På Tabel B.3 ses det nye varmebehov og masseflow ud til blandesløjferne på Figur 5.1, som bruges til dimensionering af de nye komponenter i Del II.

| Blandesløjfe                  | Areal af<br>opland<br>[m <sup>2</sup> ] | Forsyner<br>varme-<br>fla-<br>de?<br>[Ja/Nej] | Forsyner<br>VVB?<br>[Ja/Nej] | P til VVB<br>[kW] | Φ<br>[kW] | m<br>[kg/s] | q<br>[m <sup>3</sup> /h] |
|-------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------|-------------|--------------------------|
| A1.1                          | 750,7                                   | Nej                                           | Nej                          | 0                 | 30,92     | 0,25        | 0,90                     |
| A1.2                          | 901                                     | Nej                                           | Nej                          | 0                 | 37,11     | 0,30        | 1,08                     |
| A2.1                          | 3891                                    | Ja                                            | Ja                           | 3,6138            | 78,20     | 0,62        | 2,27                     |
| A2.2                          | 634,2                                   | Ja                                            | Ja                           | 3,8098            | 26,74     | 0,24        | 0,87                     |
| A3.1                          | 4205,2                                  | Ja                                            | Ja                           | 3,6496            | 172,99    | 2,45        | 8,92                     |
| A3.2                          | 695,7                                   | Nej                                           | Nej                          | 0                 | 20,62     | 0,16        | 0,60                     |
| A3.3                          | 659,6                                   | Nej                                           | Ja                           | 3,6496            | 22,76     | 0,18        | 0,66                     |
| A4.1                          | 2347,7                                  | Ja                                            | Ja                           | 3,6321            | 78,90     | 0,80        | 2,92                     |
| A4.2                          | 1479                                    | Ja                                            | Nej                          | 0                 | 44,46     | 0,39        | 1,43                     |
| A4.3                          | 2650,5                                  | Nej                                           | Nej                          | 0                 | 76,79     | 0,61        | 2,23                     |
| A4.4                          | 2134                                    | Ja                                            | Ja                           | 3,6899            | 51,71     | 0,50        | 1,83                     |
| A4.5                          | 1687,2                                  | Ja                                            | Ja                           | 3,6199            | 41,63     | 0,40        | 1,47                     |
| A4.6                          | 2141                                    | Ja                                            | Ja                           | 8,8894            | 66,33     | 0,63        | 2,30                     |
| 332,7 m2 uden<br>blandesløjfe | 332,7                                   | Nej                                           | Nej                          | 0                 | 9,64      | 0,08        | 0,28                     |

**Tabel B.3.** Oversigt af dimensionsgivende massestrøm ud til alle blandesløjfer efter energirenovring

De nye massestrømme vil også mindske tryktabet på de kritiske strækninger nævnt i sektion 5.1. Dette ses på Tabel B.4

| Stækning          | D<br>[m] | q<br>[m <sup>3</sup> /s] | R<br>[Pa/m] | L<br>[m] | ζ<br>[-] | ΔP<br>[kPa] |
|-------------------|----------|--------------------------|-------------|----------|----------|-------------|
| <b>Hovedpumpe</b> |          |                          |             |          |          |             |
| Start - P1        | 0,2      | 7,71E-03                 | 4,68        | 15,6     | 6        | 0,25        |
| P1-1.1            | 0,2      | 7,71E-03                 | 4,68        | 10,3     | 7        | 0,26        |
| P1.1-1.2          | 0,1      | 1,42E-03                 | 6,41        | 5,3      | 4,5      | 0,11        |
| P1.2-1.3          | 0,1      | 8,72E-04                 | 2,48        | 23,55    | 2        | 0,07        |
| P1.3-1.4          | 0,1      | 8,72E-04                 | 2,48        | 97,5     | 3,5      | 0,26        |
| P1.4-A2.1         | 0,05     | 6,28E-04                 | 50,71       | 29,8     | 0,5      | 1,54        |
| <b>Stor kreds</b> |          |                          |             |          |          |             |
| P2-2.1            | 0,2      | 6,29E-03                 | 3,14        | 17,6     | 4,5      | 0,14        |
| P2.1-2.2          | 0,15     | 3,47E-03                 | 4,39        | 52,6     | 0,5      | 0,24        |
| P2.2-2.3          | 0,15     | 2,65E-03                 | 2,59        | 69,5     | 0,5      | 0,19        |
| P2.3-2.4          | 0,1      | 1,63E-03                 | 8,43        | 28,8     | 2,5      | 0,30        |
| P2.4-2.5          | 0,1      | 1,23E-03                 | 4,82        | 2        | 7,5      | 0,10        |
| P2.5-2.6          | 0,1      | 5,88E-04                 | 1,16        | 42       | 1,5      | 0,05        |
| P2.6-2.7          | 0,05     | 8,11E-05                 | 0,97        | 40,2     | 2,5      | 0,04        |
| P2.7-2.8          | 0,05     | 6,41E-05                 | 0,63        | 5,4      | 0,5      | 0,00        |
| P2.8-2.9          | 0,05     | 4,87E-05                 | 0,38        | 35,8     | 1,5      | 0,01        |
| P2.9-2.10         | 0,02     | 3,24E-05                 | 20,63       | 4,8      | 0,5      | 0,10        |
| P2.10-2.11        | 0,02     | 1,62E-05                 | 5,54        | 7,8      | 0,5      | 0,04        |

**Tabel B.4.** Tryktab for rørstrækninger nævnt i sektion 5.1, brugt til dimensionering af de nye cirkuleringspumper i Del II

### B.3 Måling af tryktab over veksler

For at undersøge årsagen til den dårlige afkøling af fjernvarmeforsyningen, blev både tryktab over veksleren og flowet målt på primær- og sekundærsiden. Målingen er foretaget den 14. november 2023, og der er gjort brug af følgende måleudstyr:

- Katronic KATflow 200 ultralyds-flowmeter med dertilhørende klemmer, se Figur B.2
- IMI TA-scope med DpS-visio og målestudser, se Figur B.3



**Figur B.2.** Eksempel på brug af KATflow 200 (Fluidhandling PRO 2023)



**Figur B.3.** TA Scope (venstre) og DpS-visio (højre) med div. tilbehør (IMI Hydronic Engineering 2023c)

For at måle flowet, var det nødvendigt at danne direkte kontakt med metalrøret, hvorfor isoleringskappen skulle skæres op. Påsætning af klemmerne kan ses på Figur B.4. Dernæst blev afstanden af klemmerne justeret, således der var bedst mulig signal mellem de to. Rørets diameter og vægtykkelsen blev målt og noteret i instrumentet, hvorefter der blev lavet en måling af flowet. På Figur B.5, ses måling af flow på sekundærsiden.





**Figur B.4.** Påsætning af klemmer på returløb til veksler på sekundærsiden



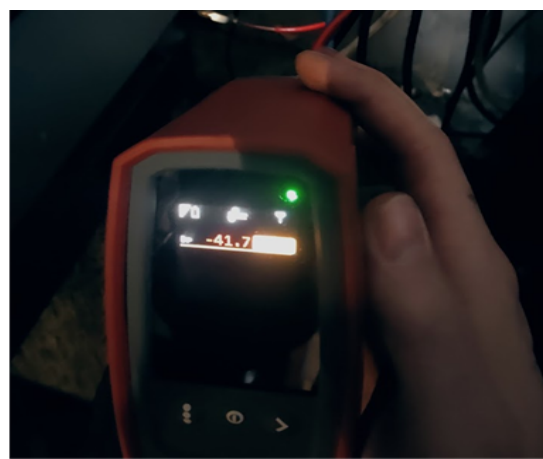
**Figur B.5.** Aflæst måling af flow på sekundærsiden

Det samme blev gjort på primær siden, hvor der blev målt et flow på  $23 \text{ m}^3/\text{h}$ .

For at måle tryktabet, blev målestudser koblet på rørene lige ud for frem- og tilbageløb for veksleren, se Figur B.6. Målestudserne var således koblet på den tilhørende DpS-visio, som kan kommunikere gennem bluetooth med TA scope. Grundet kommunikationsfejl mellem TA scope og DpS-visio, var det nødvendigt at aflæse tryktabet direkte på DpS-visio. Aflæsningen kan ses på Figur B.7.



**Figur B.6.** Påsætning af målestudser på frem- og returløb til veksler på sekundærsiden



**Figur B.7.** Aflæst måling af tryktab på sekundærsiden

Det samme blev gjort på primær siden, hvor tryktabet blev målt til  $36 \text{ kPa}$ .

## B.4 Data pladevarmeveksler

Nedenstående figur viser relevante data for de nuværende pladevarmevekslere i bygningen

Heat Exchanger

**XB59M-1-160**

Export Sale

Danfoss Code

**004B1941**

Export Order

Add to Quotation

☐ Show 1-pass solutions only

Plate Material

AISI316L

Plate Thickness (mm)

0,25

Brazing Material

Cu

Side 1

Side 2

Design Pressure (bar(g))

25

25

Connection Type

Thread

Thread

Connection Size

G 2

G 2

Connection Length

52

52

Duty & Media

Dimensional Data

Accessories

Punch List

Messages

Calculated Parameters

Unit

Side 1

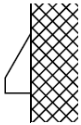
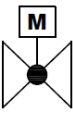
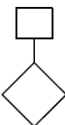
Side 2

|                            |             |               |                |
|----------------------------|-------------|---------------|----------------|
| Flow Type                  |             |               | CounterCurrent |
| Heat Load                  | kW          |               | 770,00         |
| Inlet Temperature          | °C          | 60,0          | 25,0           |
| Outlet Temperature         | °C          | 30,0          | 55,0           |
| Mass Flow Rate             | kg/h        | 22124,27      | 22130,19       |
| Volumetric Flow Rate       | m³/h        | 22,33         | 22,29          |
| Total Pressure Drop        | bar(g)      | 0,15          | 0,15           |
| Pressure Drop in Port      | bar(g)      | 0,02          | 0,02           |
| Effective Area             | m²          |               | 15,80          |
| Surface Margin             | %           |               | 2,3            |
| LMTD                       | °C          |               | 5,00           |
| HTC (Available/Required)   | W/m²·K      |               | 9968/9747      |
| Port Velocity              | m/s         | 3,42          | 3,42           |
| Shear Stress               | Pa          | 23,09         | 22,75          |
| <b>Properties of fluid</b> | <b>Unit</b> | <b>Side 1</b> | <b>Side 2</b>  |
| Fluid                      |             | Water         | Water          |
| Viscosity                  | mPa·s       | 0,5987        | 0,6562         |
| Density                    | kg/m³       | 990,9909      | 992,9542       |
| Heat Capacity              | kJ/kg·K     | 4,1764        | 4,1753         |
| Thermal Conductivity       | W/m·K       | 0,6334        | 0,6270         |
| <b>Technical</b>           | <b>Unit</b> | <b>Side 1</b> | <b>Side 2</b>  |
| Channel Pressure Drop      | bar(g)      | 0,13          | 0,12           |
| Channel Velocity           | m/s         | 0,29          | 0,29           |
| Reynold's Number           |             | 1443          | 1300           |
| Film Coefficient           | W/m²·K      | 26978         | 21466          |

**Figur B.8.** Data fra dimensionering af pladevarmeveksler, type XBH59

# P&ID symboler



|                                                                                     |                        |                                                                                     |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|    | Varmeveksler           |    | Ekspansionsbeholder         |
|    | Manuel sædeventil      |    | Udendørs<br>temperaturmåler |
|    | Motor sædeventil       |    | Tryk sikkerhedsventil       |
|   | Kugle aftapningsventil |   | Energimåler                 |
|  | Temperaturføler        |  | Sommerfuglventil            |
|  | Manuel kugleventil     |                                                                                     |                             |

**Figur C.1.** Signaturforklaring for anvendte P&ID symboler

# Data fra ny veksler

# D

BHEX

ENGINEERING  
TOMORROW



Danfoss HEXSelector 1.3.31

#1676-231207074749

|                   |              |               |              |
|-------------------|--------------|---------------|--------------|
| Kunde             | -            | Dato          | 07-12-2023   |
| Projekt           |              | Ingeniør      | Thomas Quist |
| Varmevekslertype  | XB59M-1-90   | Kontaktperson |              |
| Produktkode       | 004B1936     | E-mail        |              |
| Tilsluttede units | 1 (Parallel) |               |              |

| Kalkulerede parametre        | Enhed  | Side 1 | Side 2         |
|------------------------------|--------|--------|----------------|
| Medietype                    |        |        | CounterCurrent |
| Varmebelastning              | kW     |        | 343,33         |
| Indløbstemperatur            | °C     | 60,0   | 25,0           |
| Udløbstemperatur             | °C     | --     | 55,0           |
| Udløbstemperatur Faktisk     | °C     | 28,8   | --             |
| Total strømningsmængde       | kg/s   | 2,63   | 2,74           |
| Volumetrisk strømningsmængde | L/min  | 159,28 | 165,62         |
| Totalt tryktab               | kPa    | 6,95   | 7,32           |
| Tryktab i tilslutning        | kPa    | 0,39   | 0,42           |
| Overflade-margin             | %      |        | 0,0            |
| LMTD                         | K      |        | 4,4            |
| HTC (indeholdt/påkrævet)     | W/m²·K |        | 8939 / 8939    |
| Tilslutningshastighed        | m/s    | 1,47   | 1,52           |
| Forskydningspænding          | Pa     | 14,11  | 14,69          |

| Egenskaber for væske      | Enhed   | Side 1   | Side 2   |
|---------------------------|---------|----------|----------|
| Medium                    |         | Water    | Water    |
| Mediets viskositet        | mPa·s   | 0,6052   | 0,6562   |
| Mediets vægtfylde         | kg/m³   | 991,2392 | 992,9542 |
| Mediets varmekapacitet    | kJ/kg·K | 4,1761   | 4,1753   |
| Mediets varmeledningsevne | W/m·K   | 0,6327   | 0,6270   |

| Specifikationer               | Enhed      | Side 1 | Side 2                   |
|-------------------------------|------------|--------|--------------------------|
| Varmevekslertype              |            |        | XB59M-1-90               |
| Pladeantal                    |            |        | 90                       |
| Gruppering                    |            |        | 1*44M/1*45M              |
| Plademateriale                |            |        | AISI316L                 |
| Effektivt område              | m²         |        | 8,80                     |
| Loddet materiale              |            |        | Cu                       |
| Mængde                        | l          | 6,9    | 7,0                      |
| Vægt, tom/i drift             | kg         |        | 29,40 / 43,17            |
| Tilslutning                   |            |        |                          |
| Indløb                        | G 2 Thread |        | G 2 Thread               |
| Udløb                         | G 2 Thread |        | G 2 Thread               |
| Certificering/typegodkendelse |            |        | PED 2014/68/EU, Art. 4.3 |
| Minimum designtemperatur      | °C         |        | -10,0                    |
| Maksimum nominel temperatur   | °C         |        | 180,0                    |
| Maksimum nominelt tryk        | bar(g)     | 25,0   | 25,0                     |

H45-1-1.3.31



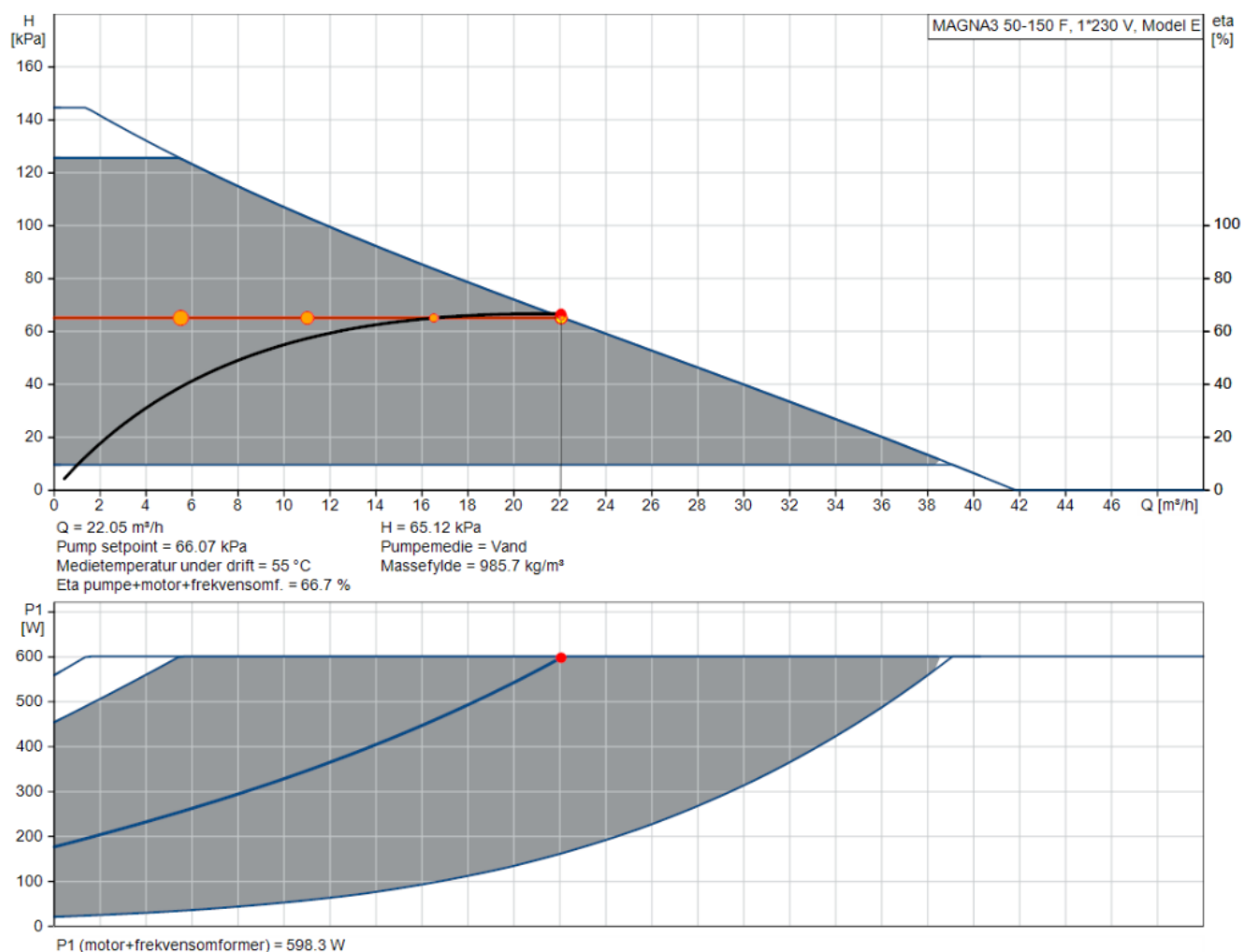
Figur D.1. Data for nye veksler

# Pumpekarakteristik

# E

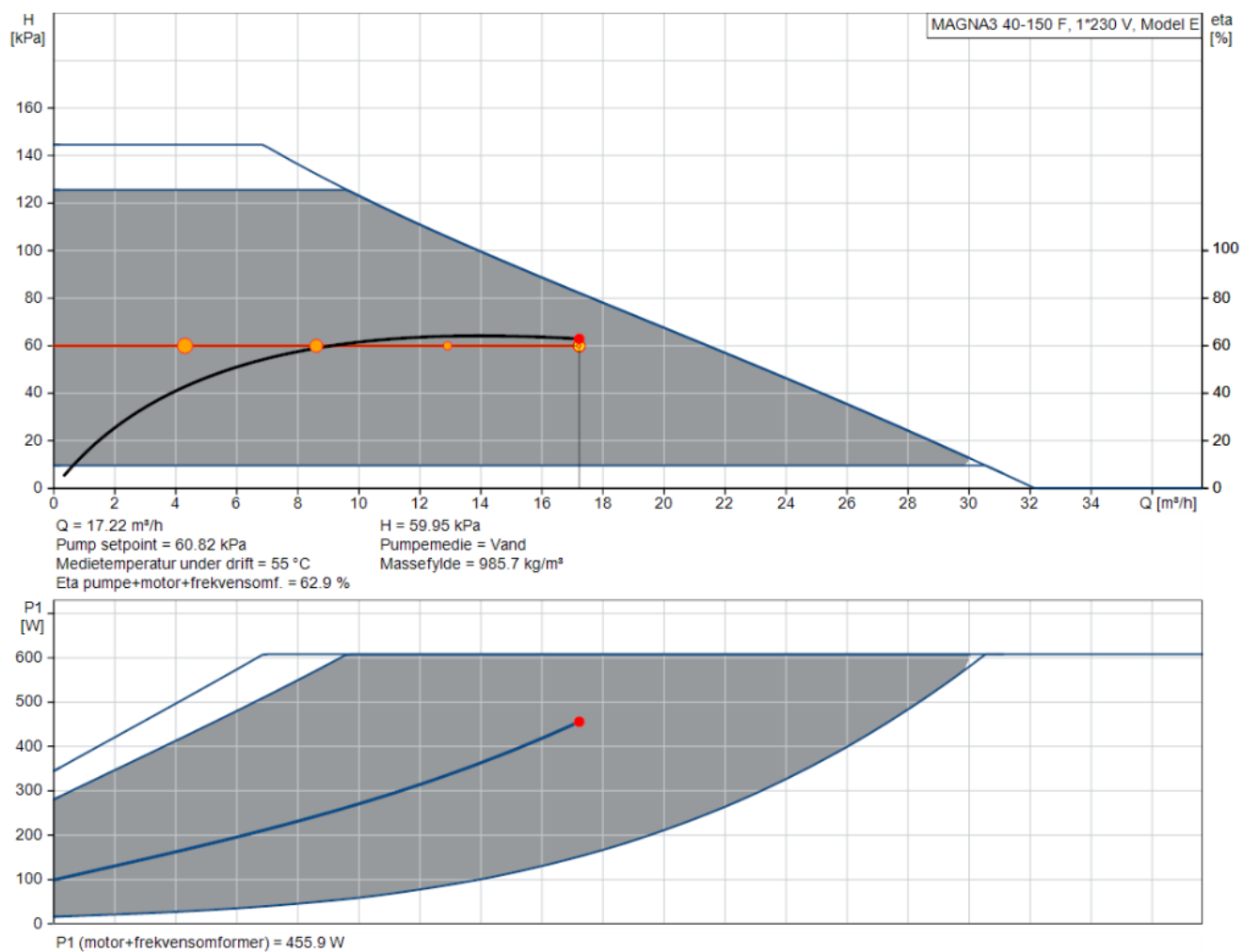
I følgende kapitel præsenteres pumpekarakteristikkerne tilhørende de dimensionerede pumper fra Del II. Karakteristikkerne indeholder en driftskurve efter reguleringsmetoden konstant tryk, med dertilhørende  $\eta$  kurve for pumpen.

## E.1 Hovedpumpe



**Figur E.1.** Pumpekarakteristik for hovedpumpe (Grundfos 2023b)

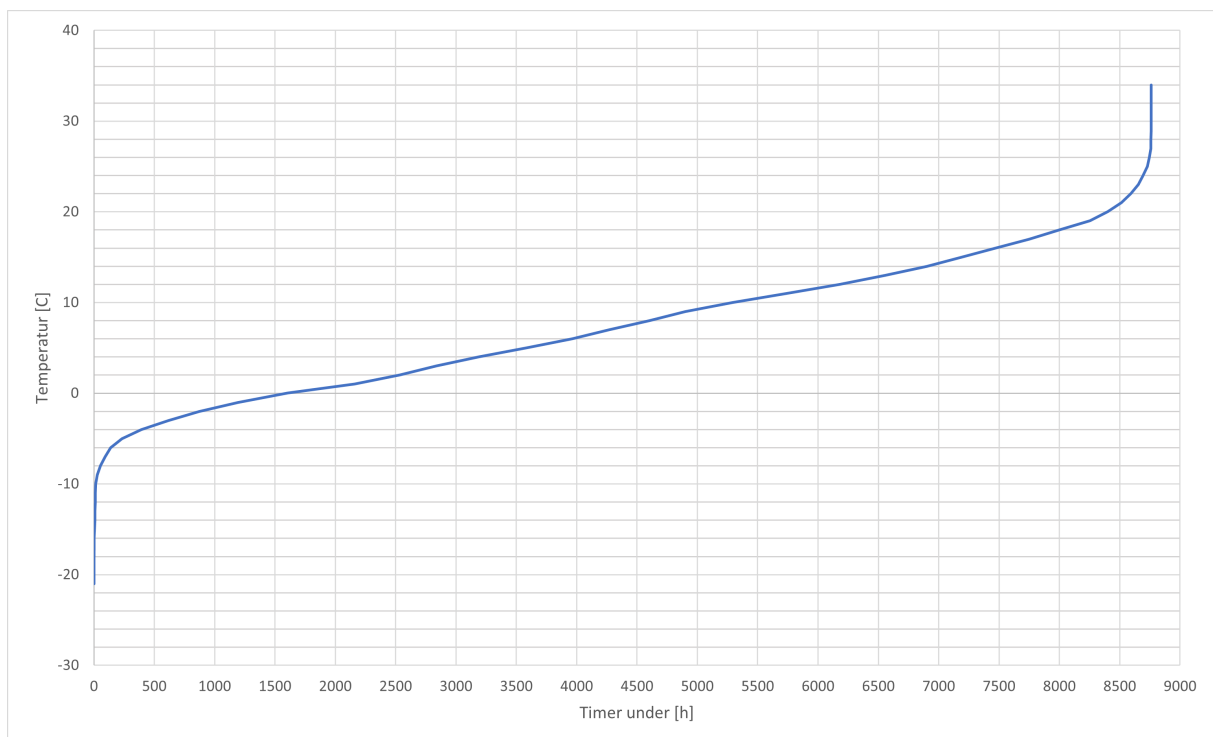
## E.2 Pumpe til stor kreds



**Figur E.2.** Pumpekarakteristik for cirkuleringspumpe til den store kreds ([Grundfos 2023a](#))

# Gradtimer til besparelsesberegning

Til bestemmelse af den årlige energibesparelse præsenteret i kapitel 8, skal antal gradtimer beregnes ud fra grafen set på Figur F.1.



**Figur F.1.** Min til max kurve over antal timer under  $x$  antal  $^{\circ}\text{C}$ , med afsæt i DRY referenceåret ([Skueprocessen Ukendt](#))

Her ses der en lineær vækst i timer under  $x^{\circ}\text{C}$  ved en udetemperatur fra ca.  $-5^{\circ}\text{C}$  og  $21^{\circ}\text{C}$ . Med en vertikal stigning i graderne under  $-5^{\circ}\text{C}$  og over  $21^{\circ}\text{C}$ , vides det at udetemperaturen vil være under eller over disse grader meget lidt af tiden i DRY året. Derfor kan det antages, at den laveste udetemperatur i timer under  $x$  antal grader vil være  $-5^{\circ}\text{C}$ . Til beregning af gradtimer bruges Ligning F.1.



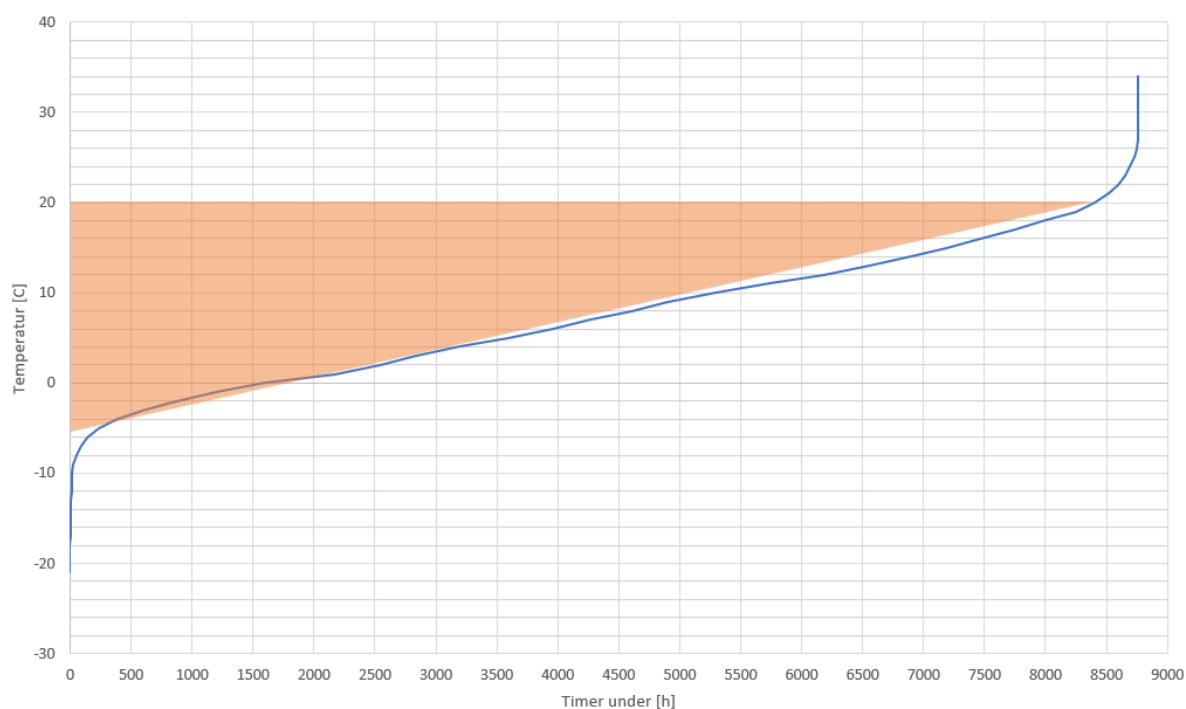
$$A_t = 1/2 \cdot \Delta T \cdot \Delta \tau \cdot \frac{\beta}{\beta_0} \quad (\text{F.1})$$

Hvor:

|               |                                                             |                          |
|---------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $A_t$         | Gradtimer pr. år                                            | $[\text{°Ch}/\text{år}]$ |
| $\Delta T$    | Temperaturforskel ved laveste udetemperatur i DRY året      | $[\text{°C}]$            |
| $\Delta \tau$ | Timer i DRY året, hvor udetemperaturen er under det ønskede | $[\text{h}/\text{år}]$   |
| $\beta$       | Brugstid                                                    | $[\text{h}]$             |
| $\beta_0$     | Totale tid (brugstid + ikke brugstid)                       | $[\text{h}]$             |

## Gradtimer bygningsopvarmning

Ved beregning af antal gradtimer til bygningsopvarmning, tages der udgangspunkt i en ønsket indetemperatur på  $20^\circ\text{C}$ . Her aflæses de nødvendige opvarmningstimer til  $\Delta \tau = 8.400\text{h}$ , med en  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ . Aflæsningen af gradtimerne er illustreret på Figur F.2.



**Figur F.2.** Aflæsning til beregning af gradtimer for bygningsopvarmning. Gradtimer er arealet af den orange trekant

Gradtimerne på Figur F.2 skal justeres ud fra brugstiden af bygningen, hvilket antages til 45 timer/uge. Det giver følgende gradtimer:

$$1/2 \cdot 25^\circ\text{C} \cdot 8.400\text{h}/\text{år} \cdot \frac{45\text{h}/\text{uge}}{168\text{h}/\text{uge}} = 28.125^\circ\text{Ch}/\text{år}$$

I hovedrapporten er bygningens specifikke varmetab pr.  $\Delta T$  udregnet både før og efter energirenoveringen, som hhv. er  $59,75\text{ kW}/^\circ\text{C}$  og  $23,31\text{ kW}/^\circ\text{C}$ . Det betyder at

## Gradtimer ventilation

Da ventilationsanlæggene er udstyret med en varmeveksler, vil det ikke være nødvendigt at opvarme luften fra  $-5^{\circ}\text{C}$  til  $20^{\circ}\text{C}$ , da varmeenergien i udsugningsluften vil opvarme den kolde udeluft med x antal grader, afhængigt af virkningsgraden for varmeveksleren. I hovedrapporten har den eksisterende veksler en virkningsgrad på 53%, hvor de udskiftes med nogle nye der har en virkningsgrad på 85%. Til beregning af gradtimerne for den årlige energibesparelse til opvarmning af indblæsningsluften, skal det vides hvor mange  $^{\circ}\text{C}$  mindre luften skal opvarmes med efter varmeveksling, når det er  $-5^{\circ}\text{C}$  udenfor. Her isoleres der for  $t_i$  i formen til bestemmelse af  $\eta$ , hvilket giver Ligning F.2.

$$t_i = t_u \cdot \eta - \eta \cdot t_f + t_f \quad (\text{F.2})$$

Hvor:

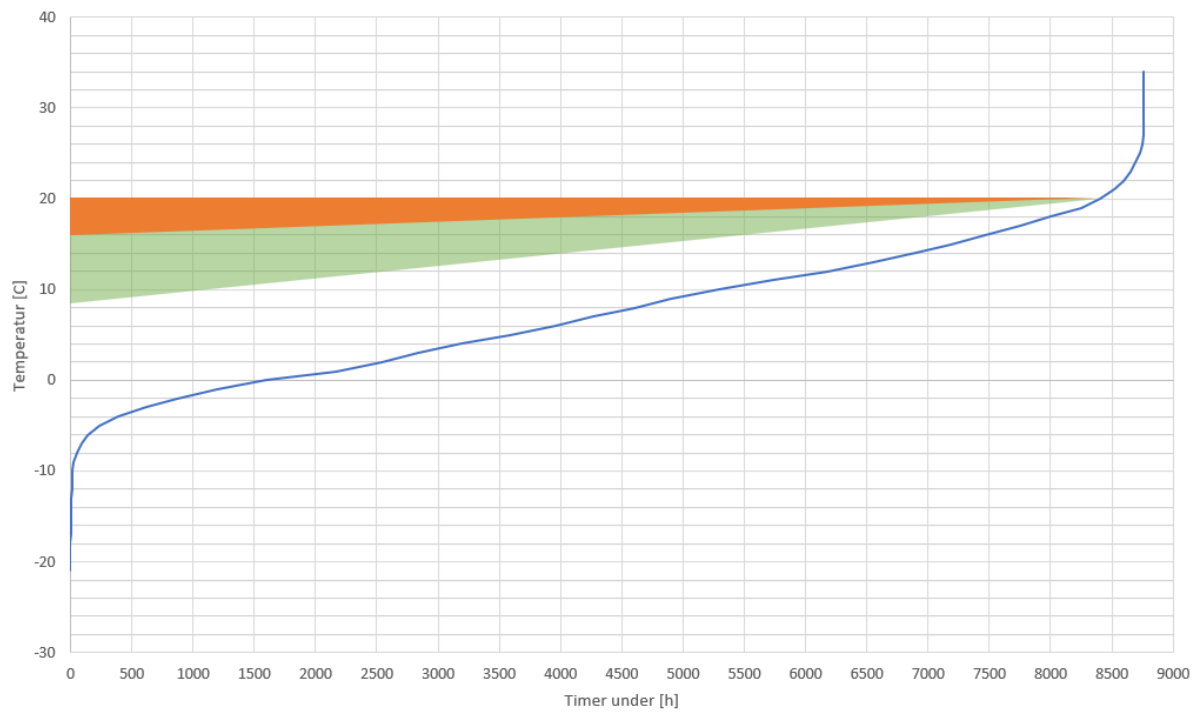
|        |                                                         |                      |
|--------|---------------------------------------------------------|----------------------|
| $t_i$  | Temperatur af indblæsningsluft efter<br>varmegenvinding | $[^{\circ}\text{C}]$ |
| $t_u$  | Temperatur af udsugningsluft før<br>varmegenvinding     | $[^{\circ}\text{C}]$ |
| $\eta$ | Virkningsgrad af varmeveksler                           | $[-]$                |
| $t_f$  | Temperatur af indblæsningsluft før<br>varmegenvinding   | $[^{\circ}\text{C}]$ |

Vha. Ligning F.2, vil det give indblæsningstemperaturer før og efter udskiftning af varmeveksleren set nedenfor:

$$t_{i,\text{før}} = 20^{\circ}\text{C} \cdot 0,53 - 0,53 \cdot (-5^{\circ}\text{C}) - 5^{\circ}\text{C} = 8,25^{\circ}\text{C}$$

$$t_{i,\text{efter}} = 20^{\circ}\text{C} \cdot 0,85 - 0,85 \cdot (-5^{\circ}\text{C}) - 5^{\circ}\text{C} = 16,25^{\circ}\text{C}$$

Besparelsen vil derfor være  $8^{\circ}\text{C}$ , ved udskiftning af vekslerne, hvilket også er illustreret på Figur F.3.



**Figur F.3.** Illustration af besparede gradtimer ved udskiftning af varmeveksler, med besparelsen markeret med grøn

Det giver følgende besparede af årlige gradtimer til opvarmning af ventilationsluften:

$$A_t = 1/2 \cdot 8^\circ\text{C} \cdot 8.400\text{h}/\text{år} \cdot \frac{45\text{h}/\text{uge}}{168\text{h}/\text{uge}} = 9.000^\circ\text{Ch}/\text{år}$$