



Guideline

## Design af fordampersystem til store udeluftvarmepumper

EUDP 2019-I  
Optimering af store udeluftvarmepumper

# Guideline

## Design af fordampersystem, til store udeluftvarmepumper

EUDP 2019-I  
Optimering af store udeluftvarmepumper

---

Filnavn: Guideline store udeluftvarmepumper SHA ver5.docx

**Udarbejdet af**  
Teknologisk Institut  
Kongsvang Allé 29  
8000 Aarhus C  
Køle- og Varmepumpeteknik

November 2022  
Redaktør: Svenn Hansen

## Guideline om design af fordampersystem til store udeluftvarmepumper

### Indhold

Indledning .....	3
Fordamperen .....	3
Coils.....	3
Ventilatorer.....	4
Kølemiddel og systemdesign .....	5
Flere fordampere .....	5
Fordamperydelse .....	5
Drift .....	5
Bestandighed .....	7
Afrimning .....	8
Økonomiske forhold .....	8

### Indledning

Denne guideline er dels udarbejdet som dokumentation for de vigtigste resultater af det arbejde, der er blevet udført i EUDP-projektet "Optimering af store udeluftvarmepumper", og dels til vejledning af købere og projekterende virksomheder i forhold til hensigtsmæssigt valg og design af fordampersystemer til store udeluftvarmepumper.

### Fordamperen

Det er producenten, der designer og konstruerer fordamperen og dermed bærer ansvaret for produktet. En fordamper består af et antal coils, et antal ventilatorer, samt en casing - designet og konstrueret i forhold til kølemiddelsystem og opstillingssted. En coil (et rørbundt) består af et antal rør med udvendige finner, der er anbragt i et fastlagt mønster. Varmetransporten sker gennem finner og rør. En eller flere ventilatorer sørger for at en luftmængde strømmer gennem coil'en. Coils og ventilatorer er bygget sammen i en casing, der tilsammen udgør fordamperenheden. I fordamperenheden kan coils'ene anbringes med vandret, lodret (flatbed-type) eller skrå (v-type) gennemstrømning af luft

I EUDP-projektet "Optimering af store udeluftvarmepumper" er der specifikt arbejdet med en fordamper, der er produceret af LuVe til anvendelse i et varmepumpeanlæg med ammoniak ved Brædstrup Fjernvarme.

### Coils

Materialet til rørene i en coil kan være stål, kobber eller aluminium. Varmeledningsevnen er meget forskellig i disse materialer. Ringest er rustfri stål med varmeledningsevne  $\lambda$  14-16 [W/mK], derefter kommer aluminium med varmeledningsevne  $\lambda$  205-237 [W/mK] og til sidst kobber med varmeledningsevne  $\lambda$  385-401 [W/mK].

Rørdiameteren burde vælges i forhold til ønsket hastighed og tryktab på kølemiddelsiden i rørene, men i praksis har producenterne nogle "standard-rør", som de kan vælge mellem, i forhold til produktionen.

Finnerne er normal fremstillet af aluminium og kan enten være "glatte" eller "wavy". Den "wavy" type er varmeoverføringsmæssigt bedst.

Finneafstanden har betydning for tryktabet på luftsiden og for hvor meget is/rim, der kan opbygges på finnerne uden af spalten mellem finnerne, bliver blokeret eller reduceret så meget at luftflow'et reduceres uacceptabelt meget.

Sidst, men ikke mindst, bliver rørene konfigureret (forbundet til hinanden) med u-stykker og headers i et antal parallelle "pass'es", så tryktabet på kølemiddelsiden bliver af ønsket størrelsesorden og således at fordelingen af kølemiddel mellem pass'ene sker så ensartet som mulig.

I Luvé's fordampere til varmepumpen i Brædstrup af "flatbed-typen er der brugt rustfri stålør med størrelse 5/8" med godstykkelse 0,5 mm. Finner er udført af 0,25 mm aluminium med 5 mm finneafstand. Headernes kobling til rørene blev ændret undervejs i projektet fra 3 parallelle passes (6 rørrækker med 22 rør i hver række – 8 m lange) til 1 pass for at øge hastigheden i rørene med deraf følgende større ydelse.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Finneafstand > 5 mm (6-8 mm)*
- *Luftgennemstrømning nedad i fordamper af flatbed-type*
- *Konfigurering af coils med headers og u-stykker for acceptabel indvendig varmeovergang*

## Ventilatorer

En eller flere ventilatorer skal primært sikre luftmængde og ensartet luftfordeling gennem fordampers coils under drift – både med og uden is/rim på finnerne. Man regner normalt med at opnå mest homogen luftfordeling ved at "suge" i stedet for at "blæse" gennem coil. Ventilatorer benyttes også til at holde luften så stille som muligt i coil'en under afrimning for at minimere unødigt spild af afrimningsvarme til omgivelserne. Ventilatorerne udsender lyd – stigende lydniveau med stigende hastighed - så det kan være hensigtsmæssigt at hastighedsregulere i forhold til støjkrav på forskellige tidspunkter af døgnet. Ventilatorerne skal være energimæssigt effektive i forhold til luftmængde under drift.

Luvé's fordampere til varmepumpen i Brædstrup af "flatbed-typen" er designet for luftstrømning nedad med at blæse gennem coils med 8 ventilatorer fra ZIEHL-ABEGG (hver luftmængde 100.000 m<sup>3</sup>/h ved statisk trykdifferens 21-22 Pa). Luftstrømningsretningen blev ændret fra nedadgående til opadgående undervejs i projektet. Der blev konstateret problemer med "stall" af ventilatorerne i situationer med is/rim på finnerne, samt problemer med is/rim-opbygning på ventilatorblade og omgivende "hus" i visse driftssituationer. Af støjmæssige hensyn var omdrejningsantallet sat til max. 370 rpm.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Ventilatorer, der ikke stall'er, under normale driftsforhold både uden og med is/rim på finner*
- *Luftgennemstrømning nedad – for at undgå is/rim-opbygning på ventilatorblade og omgivende "hus"*
- *Mulighed for forskellige hastigheder – i forhold til støjkrav på forskellige tider af døgnet*

## Kølemiddel og systemdesign

Store udeluftvarmepumper benytter forskellige kølemidler med dertil hørende forskellige systemdesign. Anlæg med ammoniak (R717) udføres typisk som flertrinsanlæg med oversvømmede fordampere via pumpecirkulationssystem (cirkulationstal ca. 3) eller naturlig cirkulation. Der er også udført store varmepumpeanlæg i Danmark med kuldioxid CO<sub>2</sub> (R744), propan (R290) og HFO (R1234) med tilsvarende systemdesign og valg af hovedkomponenter. Nogle gange ser man anlæg bygget som indirekte system uden fordampende kølemiddel i fordampere, men dette vil alt andet lige reducere anlæggets samlede virkningsgrad. Anvendelse af "fornuftige" briner kan dog være hensigtsmæssig i forhold til sikkerhedsmæssige forhold på opstillingsstedet mht. giftighed og brændbarhed.

Varmepumpeinstallationen i Brædstrup benytter ammoniak som kølemiddel og er opbygget som et to-trinsanlæg med stempel og skruekompressor samt economizer. Fordampersystemet er opbygget med pumpecirkulation fra 2 pumpeseparatorer, der hver er tilsluttet til 10 fordampere. Der er blevet målt intensivt på 2 af de 20 fordampere; den ene med cirkulationstal 2-3, den anden med cirkulationstal  $\approx 1$  (DX-styring).

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- R717, som kølemiddel – med mindre at der er store fordele ved andet valg
- Væsketilførsel til fordampere som DX med cirkulationstal  $\approx 1$  eller som oversvømmet system med cirkulationstal 1,2-1,5

## Flere fordampere

Der er på mange måder udfordrende at få mange fordampere placeret på den mest hensigtsmæssige måde. De rent praktiske forhold mht. pladsbehov og ønsket opstillingssted spiller ind, samt ofte også arkitekters og kunders ønsker om, at det "skal se ordentligt ud". Mange kalder det en "fordampergård", når mange fordampere placeres i én eller flere rækker. Der skal især tages hensyn til støj-udbredelse, minimering af recirkulation, samt opsamling og bortførelse af kondensvand og is fra afrimning, når "fordampergården" designes.

I Brædstrup er anlæggets 20 fordampere placeret lige ved siden af maskinbygningen i én lang række på et stativ ca. 3 m over terræn med støbt "drypbakke" nedenunder sammen med 2 pumpeseparatorer. Der har været visse støjmæssige udfordringer, der dog ikke har medført behov for opstilling af støjskærm, og der er konstateret en del recirkulation.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- Udførelse af CFD-beregninger for hver enkelt tilfælde - for at kunne designe fordampergård optimalt ift. støjkrav og minimal recirkulation
- Placering af fordampere så højt over jordniveau som muligt

## Fordamperydelse

En udendørs opstillet fordampers ydelse (den optagne energi taget fra køling af udeluft og overført til fordampning af kølemiddel) afhænger af mange forhold.

### Drift

Fordamperydelsen påvirkes af følgende forhold under normal drift:

#### Luftflow

Luften, der tilgår coil'en, kan have forskellige temperatur over og under 0°C, samt have forskellige indhold af fugt, regn, sne eller tåge.

Desto højere temperatur desto større indhold af fugt kan der findes i luften. Indholdet af fugt kan kondensere eller sætte sig som is/rim på finnerne, hvis temperaturen er under luftens dugpunkt – alt efter om finnetemperaturen er under eller over 0°C. Vand og is/rim på finner kan øge fordamperydelsen. Regn, sne eller tåge kan både øge eller reducere fordamperydelsen.

I nogle tilfælde kan sne eller is delvist blokere for luftflow'et, hvis f.eks. sne sætter sig på ventilatorerens gitter eller hvis der utilsigtet dannes en is-plade under coil'en.

Afhængig af vindretning og -hastighed kan der forekomme mere eller mindre recirkulation. Ved recirkulation forstås at den netop afkølede luft danner hvirvler og opblandes med udeluften og derefter tager en tur mere gennem coil'en. Fænomenet forekommer på den side af coil'en hvorfra vinden kommer. Recirkulation reducerer fordamperydelsen.

Ventilatorerne sørger for at luft strømmer gennem coil'en. Luftmængden reduceres, når der opbygges rim/is på finnerne ved fordampningstemperaturer under 0°C, hvorved spalten mellem finnerne reduceres. Mindre luftmængde reducerer fordamperydelsen.

I Brædstrup har fordamperne været i drift med alle forekommende udeforhold i perioden fra anlægsopstart i november 2020 til skrivende stund (august 2022). Der er registreret udelufttemperaturer mellem ca. -15 og +38°C med varierende luftfugtigheder, og der har været skiftende vindretninger og -hastigheder med regn, sne og tåge. Luftgennemstrømningsretningen blev i september 2021 ændret fra nedadgående til opadgående retning. Ved nedadgående strømningsretning bliver luften trykket gennem coil'en af ventilatorerne og en del af luftens indhold af regn, sne eller tåge vil blive slynget ud mod fordamperens casing af ventilatoren før det når frem til coil'en. Ved opadgående strømningsretning har der været situationer med opbygning af is på ventilatorvinger og omgivende hus, så tippen af vingerne med is på har stødt på is på det omgivende hus og afgivet støj. Luftstrømmen har været helt eller delvis blokeret pga. utilstrækkelig afrimning og pga. dannelse af is-plader under coil'en. Der er registreret varierende tilgangstemperaturer af luften som sikkert tegn på recirkulation.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Nedadgående luftstrømning gennem fordamperen for at undgå situationer med isdannelse på blæservinger og omgivende hus*
- *Hensyntagen til et omfang af recirkulation ved dimensionering af fordamperne – f.eks. via et sikkerhedstillæg*
- *Hensyntagen til drift med rim/is på finnerne ved dimensionering af fordamperne – f.eks. via et sikkerhedstillæg*
- *Valg af lille dimensionerende temperaturdifferens – bl.a. for at minimere rim/is-opbygning på finner med resulterende reduktion af ydelsen*
- *Sikring af behovsstyret afrimning – så fordamperne i mest mulig af driftstiden fungerer uden unødvendig ydelsesreduktion pga. rim/is på finnerne*

#### Kølemiddelflow

Tilførslen af ammoniak til fordamperne kan foregå på forskellig vis – f.eks. sker det typisk på pumpecirkulationsanlæg med indstilling af en bestemt åbningsgrad på en reguleringsventil svarende til beregning af et ønsket cirkulationstal (vådt oversvømmet system), hvorved der strømmer ammoniak i

både væske- og gasform ud af fordamperne. Væsketilførsel kan også ske gennem en ekspansionsventil styret efter en lille overhedning via en controller, hvorved der kun strømmer ammoniak i gasform ud af fordamperen (tørt overhedet system). Omfanget af kølemiddelflow gennem coil'en påvirker fordamperydelsen. Nyere undersøgelser har vist at fordamperydelsen på den målte fordampertype var størst ved cirkulationstal på 1,2-1,5.

Fordampningstemperaturen af ammoniakken gennem coil'en afhænger af trykket, hvilket betyder at fordampningstemperaturen falder gennem coil'en fra start til slut i forhold til trykfaldet gennem coil'en. Sugetrykket (trykket ved udgangen af fordamperne) dannes af kompressorerne og vil derfor være det samme for alle parallelkoblede fordampere. Et stort trykfald gennem fordampers coils på kølemiddelsiden vil bevirke en stor forskel i fordampningstemperatur (glid) fra start til slut, hvorved fordamperydelsen reduceres.

I Brædstrup har væsketilførslen af ammoniak til 19 af anlæggets 20 fordampere være styret af en åbningsgrad på en reguleringsventil svarende til at cirkulationstal på 2-3, og én fordampere været styret med 1°K overhedning svarende til et cirkulationstal tæt på 1. Der er konstateret væsentligt trykfald på fordamperne med stort cirkulationstal svarende til glid på op til 3-4°K i fordampningstemperatur.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Tilstræbe væsketilførsel af ammoniak med et cirkulationstal på 1-1,5 – for at opnå størst mulig ydelse*

#### Andet

Snavs udvendig på finnerne vil reducere ydelsen.

Olieophobning indvendig på ammoniakssiden vil reducere ydelsen.

I forbindelse med målingerne på anlægget i Brædstrup er der ikke konstateret snavs på finnerne. På et tidspunkt blev det diskuteret om der kunne være ophobning af olie i fordamperen, men overskæring af rør viste ingen olie.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Nøje overvejelse af systemdesignets evne til at undgå olieophobning i fordampersystemet*

#### Bestandighed

Fordampere til udeluft på store varmpumpeanlæg opstilles udendørs og skal kunne holde til dette i anlægget samlede levetid (20+ år) – forudsat at foreskrevet vedligeholdelse udføres. Alle indgående dele (rør, finner, plader, bolte ventilatorer, mv) i konstruktionen skal vælges eller overfladebehandles derefter.

Komponenterne i fordamperne ved Brædstrup er valgt eller behandlet til lang holdbarhed ved udendørs opstilling – bl.a. baseret på Luve's erfaringer fra luftkølede kondensatorer. Rør af rustfrit stål, finner af aluminium.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Sikre lang holdbarhed og bestandighed af fordampere ved nøje valg og specifikation af dette*



## Afrimning

Afrimning kan i princippet foretages på mange måder – bl.a. med el-stave eller med varmgas.

Selve styringen af afrimningen er den problematiske del. På store industrielle køle- og frostrumsfordampere benytter man ofte "ægge-urs-metoden", hvor man sætter varmgasafrimning i gang et fastlagt antal gange i døgnet (f.eks. 1-3 gange) i en fastlagt periode (f.eks. 15 minutter/gang). Denne metode kan være god nok i kolde lagerrum, hvor forholdene er meget ens året rundt, men det duer ikke til afrimning af udeluftfordampere, hvor udeforholdene varierer utrolig meget. Her er der behov for mere intelligent afrimningsstyring, hvor afrimning startes det det tidspunkt, hvor der er behov for det og hvor afrimning slutter, når afrimningen er foretaget og fladerne er "rene" for rim/is.

I Brædstrup er anlægget solgt eller købt med varmgasafrimning efter "ægge-urs-metoden" med afrimning 3-4 gang i døgnet af ca. 15 minutters varighed, når fordampningstemperaturen er stabil under  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Metoden viste sig at være for ringe, fordi afrimningen nogle gange har været helt utilstrækkelig med fuld blokering med is eller ufuldstændig og andre gange foretaget unødigt i alt for lang tid i forhold til behovet. I foråret 2022 blev en ny intelligent optimeret afrimning udviklet og testet, hvor forskellige signaler til behovsstyret start og slut af afrimning blev afprøvet. Det fungerede langt bedre, men var stadig ikke helt optimalt. Der er p.t. mest tillid til fremtidig brug af blæsernes optagne elektriske effekt til startsignal og finnetemperatur som stopsignal.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Etablering af behovsstyret effektiv afrimning med kort afrimningstid og minimalt energiforbrug*

## Økonomiske forhold

I forhold til økonomi er der omkostninger til køb, installation, samt service og vedligehold.

Købsprisen og installationsomkostningen for fordampere med tilhørende stativ og afledning af kondensvand og is, samt evt. støjdemning til en stor udeluftvarmepumpe er som regel "gemt" i den samlede anlægspris, men som udgangspunkt hænger kvalitet og pris sammen, så man får den bedste kvalitet ved at give lidt mere for produktet. Lille dimensionerende  $\Delta t$  giver naturligvis behov for flere  $\text{m}^2$  fordamperflade, hvilket for prisen til at stige samtidig med at anlæggets samlede effektivitet vil stige. Når dette er sagt skal man også huske på at det er levetidsomkostningerne man bør fokusere på til denne slags anlæg. Investeringen skal derfor ses i lyset af de efterfølgende driftsomkostninger.

Omkostninger til service og vedligehold for fordampere med tilhørende udstyr skal ses i forhold til anlæggets forventede levetid. Det handler primært om bestandighed og løbende vedligehold af sliddele (motorer og ventilatorer) samt holdbarhed af resten af fordampere med tilhørende udstyr i forhold til vind og vejr.

I Brædstrup tilfældet har detaljeret information om omkostninger til køb, installation samt service og vedligehold ikke været til rådighed for projektet. Fordampere fra Luve anses for at være af god kvalitet.

*Baseret på erfaringerne fra projektet kan følgende anbefales:*

- *Grundig overvejelse og valg af dimensionerende  $\Delta t$ ,  $\text{m}^2$  fordamperflade, samt anlægseffektivitet i forhold til økonomi*