

# EFFEKTIV VÄRMEÅTERVINNING FRÅN SPILLVÄRME I FLERBOSTADSHUS

*Utvärdering av ett möjligt alternativ till GEO-FTX*

**Adnan Ploskić**

**2019-11-06**

# FÖRORD

Projektet har pågått mellan 2016-09-05 och 2019-09-20 och har finansierats av SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) och Energimyndigheten genom deras forskningsprogram E2B2. Projektet är en del av den gemensamma satsningen mellan Bravida Sverige AB, SBUF och Kungliga Tekniska högskolan (KTH) vars huvudsyfte är att underlätta överföringen av forsknings- och utvecklingsresultat från akademien till branschen.

Projektet har genomförts i nära samarbete med projektets referensgrupp bestående av fastighetsägarna AB Stockholmshem, Valvet Förvaltning AB, Telge Bostäder AB, installationsföretaget Bravida Sverige AB, installationskonsulten WSP Sverige AB och systemleverantören Uponor. Forskningsarbetet i projektet har i huvudsak utförts av doktoranden Behrouz Nourozi som genom detta projekt avlade sin licentiatexamen på KTH/Byggetenskap i september 2019. Professor emeritus Sture Holmberg har varit huvudhandledare i detta licentiatprojekt och doktorerna Adnan Ploskić och Qian Wang Adnan har också bidragit genom handledarinsatser som biträdande handledarna och i viss mån genom eget forskningsarbete. Adnan Ploskić var ledare för det aktuella projektet.

Den huvudsakliga rapporteringsformen av resultaten var papper i internationella tidskrifter och tekniska artiklar i branschpressen. Högskoleingenjörstudenterna Aza Kader, Peter Yousif och Simon Härer har gett värdefulla bidrag till projektet genom sina examensarbeten. Nedan följer listan med publicerade artiklar och övriga bidrag.

- **Licentiatavhandling.** Behrouz Nourozi. *Sustainable building ventilation solutions with heat recovery from waste heat*. KTH Royal Institute of Technology. ISBN 978-91-7873-297-5. Sep. 2019.
- **Vetenskaplig artikel.** Behrouz Nourozi, Qian Wang, Adnan Ploskić. *Energy and defrosting contributions of preheating cold supply air in buildings*. Applied Thermal Engineering 146 (2019) 180-189.
- **Vetenskaplig artikel.** Behrouz Nourozi, Qian Wang, Adnan Ploskić. *Maximizing thermal performance of building ventilation using geothermal and wastewater heat*. Resources, Conservation and Recycling. 143 (2019) 90-98.
- **Konferensartikel.** Behrouz Nourozi, Qian Wang, Adnan Ploskić. *Identifying Frost Threshold in a Balanced Mechanical Ventilation System by Inlet and Exhaust Air Temperature Control*. The 11th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC2019) July 12-15, 2019, Harbin, China.
- **Konferensartikel.** Simon Härer, Behrouz Nourozi, Qian Wang, Adnan Ploskić. *Frost reduction in mechanical balanced ventilation by efficient means of preheating cold supply air*. The 10th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings (IAQVEC), 5-7 September 2019, Bari, Italy.
- **Technical article.** Behrouz Nourozi, Simon Härer, Qian Wang, Adnan Ploskić. *Life cycle cost analysis of air preheating systems using wastewater and geothermal energy*. The REHVA European HVAC Journal, 56(1): 47-51. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32067.86563>
- **Teknikartikel.** Adnan Ploskić. *Spillvatten är en hållbar resurs*. VVS-FORUM 55. NR 10. Okt. 2017.
- **Examensarbete.** Aza Kader, Peter Yousif. *Förvärmning av tilluften med återvunnen värme*.
- Kungliga Tekniska Högskolan. Byggteknik och Design. BD2017;22. Stockholm. 2017-06-08.
- **Examensarbete.** Simon Härer. *Life Cycle Cost Analysis of novel Heat Recovery Systems using renewable Heat Sources. A Case Study of a Multi-Family Building in Sweden*. Reutligen University. ABE/KTH Royal Institute of Technology. Matriculation Number: 751471. Stockholm. 2019-01-20.

# SAMMANFATTNING

Projektet syftade till att utveckla ett effektivt värmeåtervinningssystem för spillvatten i byggnader. Tyngdpunkten i projektet lades på optimering av samdriften mellan spillvattentank (korttidsenergilager), uteluftsförvärmaren och fläktstyrt till-och frånluftssystem med värmeåtervinning (FTX-system). Målet var att utvärdera systemets helhets prestandan och dess förmåga att minska värmeeffektbehovet för ventilation under köldtoppar. Simuleringsprogram Trnsys, Matlab och Excel har använts för att utvärdera systemets potential.

Simuleringar har visat att det föreslagna värmeåtervinningssystemet skulle kunna minska de momentana värmeeffekttopparna för ventilation med upp till 40 % i Jokkmokks klimat. Risken för påfrysning i värmeväxlaren i FTX-systemet halveras i samma klimat och nästan elimineras i Stockholms klimat. Elimineringen av avfrostningsbehovet minskade referensbyggnadens värmeeffektbehov med ungefär 6 watt per kvadratmeter uppvärmd golvyta under köldtopparna. Byggnadens värmeenergianvändning (kWh) minskades dock obetydligt av uteluftsförvärmningen.

Arbetet i denna projektetapp har gett oss djupare insikt i vikten av korrekt styrning av föreslaget värmeåtervinningssystem. Bättre styrning av vätskeflöden och bättre inställning av styrtemperaturer ökade värmeåtervinningsgraden hos det undersökta FTX-systemet med cirka 8-10 % i genomsnitt. Genomförd livscykelkostnadsanalys (LCC) visade att återbetalningstiden för det föreslagna värmeåtervinningssystemet varierar mellan 8 till 16 år beroende på vilket tanklagringssystem för spillvatten används.

En av huvudslutsatser från denna projektetapp är att spillvattenvärmepumpar bör användas för minska värmeenergianvändningen (kWh) i flerbostadshus. I nästa etapp vill vi därför grundligt undersöka potentialen av spillvattenvärmepumpar i flerbostadshus. Tyngdpunkten i framtida arbetet bör därför läggas på utveckling av driftstrategier för en effektiv samdrift och integrering av spillvattentank, spillvattenvärmepump med fjärrvärmesystemet i ett flerbostadshus. Med detta system skulle värmeenergianvändningen i ett modernt flerbostadshus potentiellt kunna minskas med upp till 30 % och med 10-15 % i ett befintligt flerbostadshus.

# INNEHÅLL

1. BAKGRUND.....	4
1.1 SYFTE OCH MÅL.....	5
2. METOD OCH GENOMFÖRANDE.....	5
2.1 UNDERSÖKTA SYSTEMEN.....	6
3. RESULTAT.....	7
4. DISKUSSION .....	9
5. SLUTSATSER.....	10
REFERENSER .....	10

## 1. BAKGRUND

Varje individ i Sverige använder dagligen mellan 80 och 180 liter vatten och mellan 700 och 1000 kilo luft i våra bostäder. Båda flöden är i genomsnitt 20 grader varma när det lämnar byggnader. Mellan 1.6 och 2.7 MWh per person skulle kunna sparas årligen genom att minska denna temperatur till 5 grader. Denna förlorade energimängd motsvarar i dagsläget ungefär den årliga elproduktion som svensk vindkraft och kraftvärme levererar [1].

Trots faktum att energibehovet för varmvattenberedning utgör 40-60 % av den totala energianvändningen i nya och renoverade flerbostadshus [2, 3] och att spillvattenvärmeåtervinning skulle medföra avsevärda energibesparingar är det fortfarande få tillverkare i Sverige som erbjuder kompletta lösningar för småskalig värmeåtervinning ur spillvatten. Till skillnad från frånluftsvärmeåtervinning, integrering av spillvattenvärmeåtervinning med befintliga värmesystem i byggnader är fortfarande ovanlig och tämligen ett outforskat område i Sverige.

Syftet med detta projekt var därför att ta fram en teknisk lösning som möjliggör en samtidig värmeåtervinning från byggnadens utgående frånluft och spillvatten. Huvudidén var att använda värmen från utgående spillvattnet för att förvärma den inkommande ventilationsluften till byggnaden. Undersökta systemet är en vidareutveckling av det så kallade GEO-FTX systemet där en uteluftsförvärmare placeras på tilluften framför ett FTX system [4].

På senare tid har det blivit en standard att installera ett mekanisk från- och tilluftssystem med värmeväxlare (FTX-system) eller en frånluftvärmepump i nya och renoverade flerbostadshus. Detta har lett till att ventilationsvärmeförluster har minskat med 70-90 % i dessa byggnader. Plattvärmeväxlare och roterande värmeväxlare är de två vanligaste luftvärmare som används i FTX-system för att överföra värmen från den varma och fuktiga frånluften till den kalla och torra uteluften (tilluften). Vid hög fukthalt i frånluften och låg utetemperatur bildas kondensation på frånluftsidan. Detta leder till att överskottsvatten bildas i värmeväxlaren. Om värmeväxlarens yttemperaturen på kalla sidan är samtidigt lägre än fryspunkten (noll grader Celsius) övergår detta kondensvatten till frost och is och systemet måste avfrostas.

Avfrostning är en effektkrävande process. Tidigare undersökningar har visat att det krävs i genomsnitt omkring 6.2 watt per kvadratmeter uppvärmd golvyta för att avfrostas en plattvärmeväxlare [4-8]. För ett flerbostadshus med 2000 kvadratmeter uppvärmd golvyta innebär det alltså en ökning av värmeeffektbehovet med 12,4 kilowatt under köldtoppar. Denna kortvariga effekttopp motsvarar ungefär byggnadens medeleffektbehov för uppvärmning av ventilationsluften under november, mars eller april månad i Stockholms region.

Det finns olika avfrostningstekniker. Gemensamt för alla dessa tekniker är att de avsevärt minskar mängden värmeenergi som kan återvinnas under avfrostningsprocessen. I vissa fall måste till och med ytterligare värmeenergi tillföras systemet om avfrostningen skall gå snabbt. Detta kräver en hög värmeeffekt tillförsel. En frostbelagd värmeväxlare ökar således både värmeenergi- och värmeeffektbehovet i byggnader under de kallaste dagarna. För undvika en för låg tilluftstemperatur till rummen under avfrostningen måste eftervärmningsbatteri användas under denna process. Det bör även nämnas att förhöjt värmeeffektbehov ökar även den fasta kostnaden för uppvärmningen i fjärrvärmebetjänta hus. Högst sannolikt lär den här kostnaden öka i framtiden i takt med att värmeenergibehovet (kWh) minskar stadigt i svenska byggnader. Det finns därmed ett stort incitament för bostadsrättsföreningar och andra ägare till flerbostadshus att säkerställa en väl fungerande ventilation med lågt värmeeffektbehov även under de kalla perioderna.

Grundhypotesen i projektet har varit att både värmeenergi- och värmeeffektbehovet av ett FTX-system kan minskas med hjälp av återvunnen värme från utgående spillvatten. I aktuella projektetappen undersökte vi möjligheten att använda värme från utgående spillvatten för att minska uppvärmningsbehovet av ventilationsluften. På det sättet ville vi använda en av byggnadens värmeförluster (från spillvatten) för att minska ett av dess energi- och effektbehoven (för ventilation). En stor del av arbetet i detta projekt ägnas åt att ta fram driftstrategier och att driftoptimera det föreslagna värmeåtervinningssystemet.

## 1.1 Syfte och mål

Övergripande syftet med projektet är att hjälpa samhället och byggbranschen att uppnå uppsatta och framtida energi- och miljömål. Det primära syftet i detta projekt var att ta fram en teknisk lösning för att minska effekt- och energibehovet i flerbostadshus. Målet med projektet var att undersöka hur värmeenergin från spillvatten kan användas för att minska energi- och effektbehovet för ventilation i flerbostadshus. Målet var också att analysera de ekonomiska förutsättningarna för det föreslagna systemet för att bedöma systemets kostnadseffektivitet.

Kortfattat kan projektets mål sammanfattas enligt följande:

- Att få djupare förståelse av samspelet mellan lagrad spillvatten, uteluftsfövärmaren och FTX-systemet.
- Att utvärdera besparingspotentialen av det föreslagna värmeåtervinningssystemet.
- Att arbeta fram lämpliga styrintervaller för luft- och vätskeflöden för effektivare drift.
- Att optimera driftstrategier för att maximera systemets värmeöverföringsgrad.
- Att undersöka systemets ekonomiska lönsamhet (uppskatta återbetalningstiden).
- Att producera en licentiatexamen med två vetenskapliga artiklar och två konferensbidrag.
- Att lägga grunden till projektets nästa etapp.

## 2. METOD OCH GENOMFÖRANDE

Dynamiska simuleringar med hjälp av simuleringsprogram TRNSYS, Matlab och Excel har används för att utvärdera potentialen av de föreslagna värmeåtervinningssystemen. Mätdata från tidigare rapporter har används för att validera egna simuleringsresultat. God överensstämmelse mellan simuleringsresultat och mätdata har uppnåtts i samtliga studier.

Forskningsarbetet i detta projekt utfördes i huvudsak av doktoranden Behrouz Nourozi. Arbetet resulterade i ett licentiatarbete (Sustainable building ventilation solutions with heat recovery from waste heat) som avlades i september 2019 vid dåvarande avdelning för Strömnings- och klimatteknik på Byggvetenskap vid Kungliga Tekniska högskolan (KTH). Professor emeritus Sture Holmberg har varit huvudhandledare för detta licentiatprojekt och doktorerna Adnan Ploskić och Qian Wang Adnan bidrog också genom handledarinsatser som biträdande handledarna samt i viss mån genom egen forskning. Adnan Ploskić var projektledare för aktuella projektet.

Projektet genomfördes i nära samarbete med projektets referensgrupp: fastighetsägarna AB Stockholmskem, Valvet Förvaltning AB, Telge Bostäder AB, installationsföretaget Bravida Sverige AB, installationskonsulten WSP Sverige AB och systemleverantören Uponor.

I varje delmoment (artikel) i projektet ägnades en ansevärd del av forskningstiden åt valideringsarbetet. God överensstämmelse mellan tidigare mätningar och utförda numeriska och analytiska simuleringar

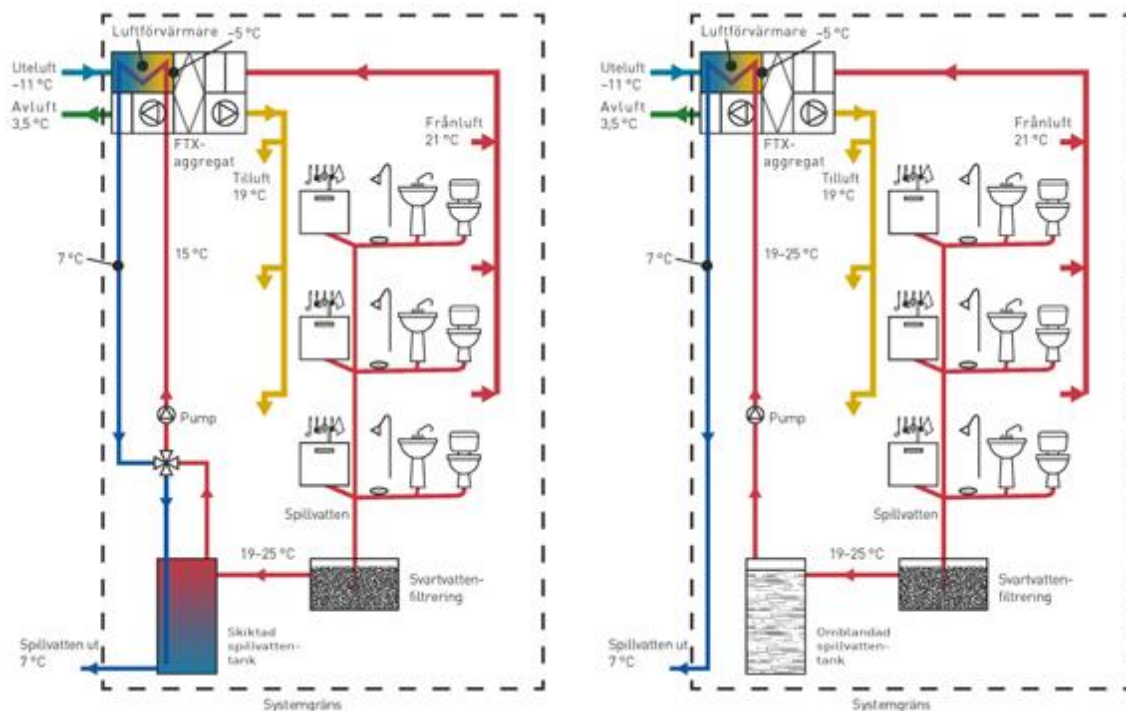
har uppnåtts i varje delmoment. Avvikelsen mellan dessa tre metoder var mindre än 10 %. Mer information om detta kan hittas i varje artikel. Listan med publicerade artiklar finns ovan i Förord.

Förutom publicerade vetenskapliga artiklar och konferensbidrag har även följande examensarbeten genomförs inom ramen för detta projekt:

- i) Examensarbetet ”Spillvattenenergi - En outnyttjad energikälla” av högskoleingenjörstudenterna Haci Candemir och Philip Model på KTH/Byggvetenskap användes som förstudie till projektet. Examensarbetet gjordes under våren 2015 och handledes av Adnan Ploskić.
- ii) Högskoleingenjörstudenterna Aza Kader och Peter Yousif genomförde sitt examensarbete ”Förvärmning av tilluften med återvunnen värme” på KTH/Byggvetenskap inom ramen för projektet. I examensarbetet undersöktes möjligheten att förvärma inkommande ventilationsluft med hjälp av en spillvattenvärmepump. Arbetet genomfördes under våren 2017 och handledes av Adnan Ploskić och Qian Wang.
- iii) Utbytesstudent Simon Härer från Reutlingen Högsolan i Tyskland genomförde sitt examensarbete ”Life Cycle Cost Analysis of novel Heat Recovery Systems using Renewable Heat Sources - A Case Study of a Multi-Family Building in Sweden” på KTH/Byggvetenskap mellan 2018-09 och 2018-12. Hans arbete i huvudsak fokuserade på uppskattning av kostnadseffektiviteten av värmeåtervinningssystem som utvärderades i projektet. Arbetet handledes av Behrouz Nourozi på KTH/Byggvetenskap och Stephan Pitsch på Reutlingen Högsolan.

## 2.1 Undersökta systemen

Figur 1 visar schematiska illustrationer av de två värmeåtervinningssystem som har studerats i projektet. I båda systemen filtreras spillvatten och leds till en uppsamlingstank. Temperaturen på spillvattnet i tankens övre del är 19-25 grader och därifrån pumpas det till uteluftsförvärmaren som värmer den inkommande ventilationsluften till FTX. När använt spillvatten lämnar tanken håller det 5-7 grader [9]. I figuren till vänster visas systemet med spillvattentanken med temperatursiktning längs tankens höjd. I det andra något enklare system används en likadan tank men utan temperatursiktning. Vattnet tappas från tankens varma toppdel med ett lägre flöde för att säkerställa en returtemperatur på omkring 7 grader [9].



**Figur 1.** Schematiska illustrationer av de två studerade systemen. Illustration: Jan Fredriksson. Källa: VVS-FORUM, NR 10, Oktober 2019 [9].

### 3. RESULTAT

Huvudsyftet i detta arbete var att kartlägga och tydliggöra det komplexa samspelet mellan systemets olika komponenter som visas i figur 1. Målet med detta var att underlätta förståelsen av systemets potential och drift för branschens olika aktörer. Målsättningen med detta var att få en djupare inblick i hur de olika komponenterna påverkar och är påverkade av varandra samt att fastställa systemets eventuella energi- och effektbesparingspotential.

Huvudidén var att använda värmeenergi från utgående spillvatten för att minska värmebehovet för uppvärmning av den inkommande ventilationsluften. Effektiv användning av lagrat varmt spillvatten, effektivisering av värmeväxling i distributionssystem, luftförvärmaren och FTX-aggregatet hade därför en central betydelse i projektet.

Huvudslutsatsen från den första studien var att värmebehovet för ventilation i ett flerbostadshus bestäms i huvudsak av värmeåtervinningseffektivitet (temperaturverkningsgraden) hos FTX-aggregatet. Studien visade att värmeåtervinningsgraden (temperaturverkningsgraden) på tilluftssidan bör vara över 85 % för att säkerställa den upplevda termiska komforten vid låga utetemperaturer.

Den valda uteluftförvärmaren klarade av att förvärma den inkommande uteluften från 3 till 11 grader beroende på utetemperatur. Vid en utetemperatur på 0 °C förvärmades det inkommande luftflödet till cirka 3 °C och vid -15 °C till ungefär -8 °C innan det fördes vidare till FTX-aggregatet. Vidare noterade vi att toppvärmeeffektbehovet för värmning av ventilationsluften under januari i Jokkmokk kunde minskas med upp till 40 % under vissa förhållanden med det förslagna värmeåtervinningssystemet. Risken för påfrysning i värmeväxlaren var cirka 50 % lägre för det förslagna värmeåtervinningssystemet med plattvärmeväxlaren jämfört med ett konventionellt FTX-system i Jokkmokks klimat. Samma risk var eliminerad i de flesta fallen i Stockholms klimat med samma system.



Den ursprungliga värmeåtervinningsgraden (temperaturverkningsgraden) hos FTX är avgörande för den totala energieffektiviteten för det förslagna värmeåtervinnningssystemet. Ju högre den ursprungliga värmeåtervinningsgraden är desto lägre potentialen av det föreslagna (kombinerade) systemet blir. Nyttan av uteluftsförvärmning är större för plattvärmeväxlare än för roterande värmeväxlare. Studien har visat att avfrostningsbehovet för FTX-system med plattvärmeväxlaren och uteluftsförvärmaren startar ungefär vid samma utetemperatur (mellan  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  och  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) som för FTX-system med roterande värmeväxlare. Nyttan av uteluftsförvärmning för ett FTX-system med roterande värmeväxlare är därför mer begränsad i klimat där utetemperatur sällan faller under  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Avfrostningen i första hand är en mycket effektkrävande process. Under denna process är det vanligt att värmeåtervinningsgraden hos FTX-system sjunker ner till 25-30 %. Det är en minskning av temperaturverkningsgraden med ungefär 3 gånger jämfört med normal drift. Denna minskning sker dessutom när uteluften är som kallast och när värmeeffektbehovet är som högst. En avfrostningscykel för plattvärmeväxlare tar normalt mellan 60 till 90 minuter. Tidigare undersökningar har visat att avfrostningsbehovet för plattvärmeväxlare börjar då utetemperatur faller under ungefär  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  för frånluften med relativ fuktighet mellan 20 och 35 %. Detta innebär att ett FTX-aggregat med plattvärmeväxlare behöver avfrostas under cirka en månad under ett normalt år i Stockholms klimat. Motsvarande tid för Kiruna är ungefär 4,5 månader.

Utförda studier i detta projekt har visat att avfrostningsbehovet kan minskas avsevärt med värme från lagrat spillvatten. Ovan nämndes att avfrostningsbehovet nästan kunde elimineras för ett FTX-system i Stockholms klimat. Undersökningen har även visat att ungefär 85 % av värme som använts för beredning av tappvarmvatten kunde återföras till byggnaden då det förslagna värmeåtervinnningssystemet var i drift. Analyser visade också att systemets största potential ligger i minskningen av byggnadens värmeeffektbehov under köldtopparna. Byggnadens värmeenergianvändning (kWh) påverkades dock obetydligt av uteluftsförvärmningen. Detta resultat är i enighet med mätresultat som rapporterades av Sundin [7]. Vi kan därmed konstatera att begynnelsehypotes delvis har bekräftats. Utförda undersökningar har visat att referensbyggnadens värmeeffektbehov kunde minskas med det förslagna värmeåtervinnningssystemet, men inte dess värmeenergibehov vilket vi trodde det skulle också göra.

Korrekt val och styrning av driftflöden och drifttemperaturer har stor betydelse för en effektiv drift av det förslagna värmeåtervinnningssystemet. Resultat visar att temperaturen av inkommande ventilationsluften endast bör höjas strax över avfrostningsstarten för ett FTX-system. För systemet med plattvärmeväxlare innebär det en höjning av utetemperatur strax över  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Detta gör att:

- Avfrostningsbehovet för FTX-aggregatet minskar eller kan elimineras.
- Aggregatets värmeåtervinningsgrad förblir hög (över 80 %) även under köldtopparna.
- Cirkulationspumpen mellan spillvattentanken och uteluftsförvärmaren får en avsevärd kortare drifttid vilket sparar driftel.
- Vattentemperaturen i spillvattentanken hålls på en relativ hög nivå under en längre drifttid.

Allt detta gör att det föreslagna värmeåtervinnningssystemet får en högre värmeåtervinningsgrad och en stabilare drift under en längre tid.

Genomförd livscykelkostnadsanalys (LCC) har visat att återbetalningstiden för det föreslagna värmeåtervinnningssystemet varierade mellan 8 till 16 år beroende på vilken uppsamlingstank har använts. Återbetalningstiden för det föreslagna systemet kan därmed vara både kortare och längre än för GEO-FTX systemet som använder borrhålsvärme för uteluftsförvärmning [6]. Vår LCC-analys

visade dock att återbetalningstiden för GEO-FTX-systemet är cirka två gånger lägre (cirka 20 år) än vad som tidigare rapporterats av Kempe och Jonsson [4]. Det bör dock noteras att vi i våra beräkningar inte har beaktat effekten av kostnadsminskningen för minskat värmeeffektbehov. Huvudorsaken till detta låg i faktum att prissättningen av effekttaxorna i dagsläget är mycket varierande bland svenska fjärrvärmeleverantörer.

#### 4. DISKUSSION

Värmeförlusterna i avloppet (spillvatten) oftast uppgår till mer än 20 % av de totala värmeförlusterna i befintliga flerbostadshus. I lågenergibostäder utgör denna värmeförlust vanligen mer än 40 % av totala värmebehovet. Därför är effektiv värmeåtervinningen ur spillvatten viktig och lär bli allt viktigare i framtiden.

Utvecklingen i samhället pekar på att värmeåtervinningen ur spillvatten blir en norm i framtiden. Vår förhoppning är att småskalig värmeåtervinning ur spillvatten i framtiden blir lika vanlig som dagens värmeåtervinning ur frånluften. Detta har särskild stor betydelse för flerbostadshus då nästan 70 % av deras totala värmeenergianvändning går till uppvärmning och varmvattenberedning. Värmeåtervinningen ur spillvatten kommer således att bli en viktig del i den nödvändiga omställningen av energisystemet i vårt samhälle.

Spillvatten i våra bostäder innehåller en stor mängd värmeenergi som oftast går förlorad. I detta projekt föreslog vi ett nytt värmeåtervinningssystem för utgående spillvatten. Syftet med forskningen var att utveckla en teknisk lösning för en effektsnål och miljövänlig uppvärmning av ventilationsluften med hjälp av värme från utgående spillvatten i byggnader. I projektet lades stor fokus på driftoptimering av samtidig värmeåtervinning ur utgående ventilationsluft (frånluft) och utgående frånvatten (spillvatten).

Det föreslagna kombinerade värmeåtervinningssystemet visade sig kunna minska de momentana värmeeffekttopparna för ventilation med upp till 40 % i Jokkmokks klimat. Risken för påfrysning i värmeväxlaren kunde halveras med det föreslagna systemet jämfört med det konventionella FTX-systemet i Jokkmokks klimat och nästan elimineras i Stockholms klimat. Detta gjorde att referensbyggnadens värmeeffektbehov kunde minskas med ungefär 6 watt per kvadratmeter uppvärmd golvyta under köldtopparna. I framtiden högst sannolikt lär fjärrvärmebolagen fortsätta öka kostnaden för använd värmeeffekt (kW) i takt med att värmeenergibehovet (kWh) ständigt minskar i svenska byggnader. Det finns därmed ett stort incitament för bostadsrättsföreningar och andra ägare till flerbostadshus att minska värmeeffektbehovet i deras byggnader under de kalla perioderna. Detta kan uppnås med det föreslagna systemet i detta projekt.

Arbetet i denna etapp har gett oss djupare insikt i vikten av korrekt styrning av föreslaget värmeåtervinningssystem. Bättre styrning av vätskeflöden och inställning av styrtemperaturer ökade värmeåtervinningsgraden hos FTX-systemet med cirka 10 % i genomsnitt. Detta i sin tur medförde en lägre temperatur av luften som lämnar systemet vilket minskade onödig energiförlust.

En av huvudslutsatser från denna projektetapp är att spillvattenvärmepumpar måste användas för att minska värmeenergianvändningen (kWh) i flerbostadshus. Tyngdpunkten i framtida arbeten bör därför läggas på utveckling av driftstrategier för en effektiv samdrift och integrering av spillvattentank, spillvattenvärmepump med fjärrvärmesystemet i flerbostadshus. Med detta system skulle värmeenergianvändningen (kWh) i ett modernt flerbostadshus potentiellt kunna minskas med upp till 30 % och med 10-15 % i ett befintligt flerbostadshus.

## 5. SLUTSATSER

Följande slutsatser kan dras från den utförda forskningen i projektet:

- 1) Korrekt val av starttemperaturer och styrning av driftflöden är avgörande för att uppnå en effektiv drift av det förslagna värmeåtervinningssystemet.
- 2) Temperaturen på inkommande ventilationsluften till FTX-aggregatet bör höjas till strax över avfrostningsstarten, men inte högre. Det bör dock säkerställas att tilluftstemperaturen till rummen håller en acceptabel nivå.
- 3) Potentialen av det förslagna värmeåtervinningssystemet bestäms i huvudsak av värmeåtervinningsgraden (temperaturverkningsgraden) hos FTX-aggregatet. Ju högre värmeväxlarens temperaturverkningsgrad är desto lägre potentialen av det undersökta systemet blir.
- 4) För att säkerställa rätt tilluftstemperatur bör temperaturverkningsgraden hos FTX-aggregatets värmeväxlare vara över 80 %.
- 5) Uteluftsförvärmning med återvunnen värmeenergi från byggnadens spillvatten kan minska momentana värmeeffekttopparna för ventilation med upp till 40 % under vissa förutsättningar i Jokkmokks klimat.
- 6) Risken för påfrysning i FTX:s värmeväxlare kan halveras genom förvärmningen av uteluften med hjälp av värme från spillvatten i Jokkmokks klimat och nästan elimineras i Stockholms klimat.
- 7) Byggnadens värmeenergianvändning (kWh) kunde inte nämnvärt minskas genom den undersökta uteluftsförvärmningen i den här studien.
- 8) Det förslagna värmeåtervinningssystem kunde dock återföra upp till 85 % av värmeanvändningen för tappvarmvattenbreddning när systemet var i drift.
- 9) Uteluftsförvärmning med värme från lagrat spillvatten har ett betydligt lägre elbehov för cirkulationspumpen jämför med GEO-FTX system.

## REFERENSER

- [1] Christian Holmström. [https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/\(12-11-2019\).](https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/(12-11-2019).)
- [2] Levin P, Kumlin T. Kv Trettondagen 1 - Uppföljning av byggnadsteknik och energianvändning. BeBo - Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus. Slutrapport. Oktober 2015.
- [3] Ploskić A. Spillvatten är en hållbar resurs. VVS-Forum. Nr 10. 25 oktober 2017.
- [4] Kempe P, Jonsson R. Nybyggt flerbostadshus med förvärmning med borrhålsvatten. BeBo - Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus. Slutrapport. Juni 2015.
- [5] Orpana LF. Luftbehandlingssystem i energiberäkningar. En studie av produktdata och beräkningsmetoder. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond – SBUF. ID: 12994. November 2015.
- [6] Simanić B. Förvärmning av ventilationsluft mha borrhålsvärme utan värmepump, fallstudie Vivalla Örebro. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond – SBUF. ID: 12930. Juni 2016.
- [7] Sundin M. Geotermisk förvärmning av ventilationsluft. En utvärdering av ventilationssystemets energieffektivitet. Uppsala Universitet. Examensarbete 30 hp. UPTEC ES 18 018. ISSN: 1650-8600. Maj 2018.
- [8] Kragh J, Rose J, Svendsen S. Mechanical ventilation heat recovery in cold climates. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Vol. Bind 2, 1. Ed. Reykjavik. 2005.
- [9] Fredriksson J. Spillvatten håller frosten borta. VVS-FORUM, NR 10, 29 oktober 2019.