



Effektiv värmeåtervinning från spillvärme i flerbostadshus





Effektiv värmeåtervinning från spillvärme i flerbostadshus

En undersökning av värmepumparnas potential som ett alternativ och komplement till FTX

Adnan Ploskić, Bravida Sverige AB, Kungliga Tekniska Högskolan, KTH

Qian Wang, Uponor AB, Kungliga Tekniska Högskolan, KTH

Behrouz Nourozi, Kungliga Tekniska Högskolan, KTH



Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

Effektiv värmeåtervinning från spillvärme i flerbostadshus är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av Adnan Ploskić och har genomförts i samverkan med SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

Projektet har tagit fram kunskap om hur uppvärmningsbehovet för en byggnad kan effektiviseras genom bättre värmväxling och ett mer effektivt värmepumpssystem med samtidig värmeåtervinning från utgående ventilationsluft och spillvatten.

Stockholm, den 19 maj 2020

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Projektet syftade till att utveckla ett effektivt värmeåtervinningssystem för spillvatten i byggnader. Tyngdpunkten i projektet lades på optimering av samdriften mellan spillvattentank (korttidsenergilagring), uteluftsförvärmare och FTX-system. Målet var att utvärdera systemets totala prestanda och dess förmåga att minska värmeeffektbehovet för ventilation under köldtoppar. Simuleringsprogram Trnsys, Matlab och Excel användes för att utvärdera systemets potential.

Det undersökta systemet minskade de momentana värmeeffekttopparna för ventilation med upp till 40 procent 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 sex watt per kvadratmeter uppvärmd golvyta under köldtopparna. Byggnadens värmeenergianvändning minskades dock bara måttligt av uteluftsförvärmningen.

Arbetet i projektet har bidragit till en djupare insikt i vikten av korrekt styrning. Bättre styrning av vätskeflöden och inställning av styrtemperaturer ökade systemets totala värmeåtervinningsgrad med cirka 10 procent i genomsnitt. Genomförd livscykelkostnadsanalys (LCC) visade att återbetalningstiden för det undersökta systemet varierar mellan 8 och 16 år beroende på vilket värmeåtervinningssystem för spillvatten som används.

En av huvudslutsatserna är att spillvattenvärmepumpar bör användas för att minska värmeenergianvändningen i flerbostadshus. Tyngdpunkten i nästa etapp kommer därför att läggas på utveckling av driftstrategier för effektiv samdrift mellan (korttids) energilagring, spillvattenvärmepump och byggnaders värme- och ventilationssystem.

Energieffektivisering, spillvattenvärmeåtervinning, ventilation, FTX, avfrostning, värmeeffektbehov, flerbostadshus



Summary

The main aim of the project was to develop a novel heat recovery system for wastewater in apartment buildings. The focus of the project was on optimization of the integration of a wastewater storage (short-term energy storage), with an outdoor air preheater and a heat-recovery ventilation system. The goal was to evaluate the overall performance of the system and its ability to reduce the heat power demand for ventilation during peak loads (coldest days). Simulation software Trnsys, Matlab and Excel were used to evaluate the system's potential.

The proposed heat recovery system reduced the instantaneous ventilation heat peak loads by up to 40 percent in Jokkmokk's climate (northernmost Sweden). The risk for freezing in the ventilation heat exchanger was halved in the same climate and almost eliminated in Stockholm's climate. The elimination of the need for defrosting reduced the heating demand of the reference building by approximately six watts per square meter of heated floor area during the peak loads. However, the heating energy need (kWh) of the building was only moderately reduced by the proposed outdoor air preheating.

The research in this study has resulted in a deeper insight into the importance of a proper control of the proposed heat recovery systems. Better control of the operational fluid flows and set temperatures increased the average heat-recovery rate of the entire system by about ten percent. Life Cycle Cost Analysis (LCC) also showed that the payback time for the proposed heat recovery system varies between 8 and 16 years depending on which wastewater recovery system is used.

One of the main conclusions of this project is that wastewater heat pumps should be used to reduce the heating energy need in multi-family houses. The focus of the next phase will be on developing operational strategies for the efficient integration of (short-term) energy storage, wastewater heat pump and heating and ventilation system in a multi-family house.

Energy efficiency, wastewater heat recovery, heat recovery ventilation, defrosting, peak load shaving, apartment buildings



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	SYFTE OCH MÅL	8
2	GENOMFÖRANDE	9
3	RESULTAT	10
4	DISKUSSION	13
5	PUBLIKATIONSLISTA	14
6	REFERENSER	16

BILAGOR

FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.



1 Inledning och bakgrund

Varje individ i Sverige använder dagligen mellan 80 och 180 liter vatten och mellan 700 och 1000 kilo luft i våra bostäder. Båda flödena är i snitt 20 grader varma när det lämnar byggnaden. Mellan 1,6 och 2,7 MWh per person skulle kunna sparas årligen genom att minska denna temperatur till fem grader. Energimängden motsvarar ungefär den årliga elproduktion som levereras av svensk vindkraft och kraftvärme [1].

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

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 värme från utgående spillvatten för att förvärma den inkommande ventilationsluften till byggnaden. Det undersökta systemet är en vidareutveckling av det så kallade HSB-FTX systemet där en luftförvärmare placeras på tilluften framför ventilationsaggregatets värmeväxlare [4]. En stor del av arbetet i projektet bestod i att ta fram driftstrategier och att driftoptimera det föreslagna värmeåtervinningssystemet.

På senare tid har det blivit standard att installera frånluftvärmepump eller mekanisk från- och tilluftssystem med värmeväxlare (FTX-system) i nya och renoverade flerbostadshus. Det har lett till att värmeförluster från ventilation har minskat med 70–90 procent 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 temperatur på tilluften sker kondensation på frånluftsidan och det bildas över-skottsvatten i värmeväxlaren. Om värmeväxlarens yttemperatur på kalla sidan samtidigt är lägre än fryspunkten (noll grader) övergår det kondenserade vattnet till frost och is. Systemet behöver då 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 en ökning av värmeeffektbehovet med 12,4 kilowatt under de kallaste dagar. Denna kortvariga effekttopp motsvarar ungefär en byggnads medeleffektbehov för uppvärmning av ventilationsluften under november, mars eller april månad i Stockholms region.

Det finns olika avfrostningstekniker. Gemensamt för dem alla 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 vilket resulterar i ett ökat effektbehov. En frostbelagd värmeväxlare ökar därmed både värmeenergi- och värmeeffektbehov i byggnader under de kallaste dagarna. För att undvika för låg tilluftstemperatur till rummen under avfrostningen



måste ett eftervärmningsbatteri användas. Vidare ökar även ett förhöjt värmeeffektbehov den fasta kostnaden för uppvärmningen i fjärrvärmebetjänta hus. Högst sannolikt lär den här kostnaden öka i framtiden i takt med att värmeenergibehovet minskar stadigt i svenska byggnader. Det finns därmed ett stort incitament för bostadsrättsföreningar och andra ägare till flerbostadshus att ha en väl fungerande ventilation med lågt värmeeffektbehov under årets kallaste perioder.

Hypotesen i projektet var att både värmeenergi- och värmeeffektbehovet av ett FTX-system kan minskas med hjälp av återvunnen värme från utgående spillvatten. I den 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).

1.1 Syfte och mål

Det övergripande syftet med projektet är att hjälpa samhället och byggbranschen att uppnå uppsatta och framtida energi- och miljömål genom att ta fram en teknisk lösning för att minska värmeeffekt- och värmeenergibehovet i flerbostadshus. Målet var att undersöka hur värmeenergin från utgående spillvatten kan användas för att minska energi- och effektbehovet för ventilation i flerbostadshus. Målet var också att analysera de ekonomiska aspekterna för det föreslagna systemet för att bedöma systemets lönsamhet.

Kortfattat kan projektets mål sammanfattas enligt följande:

- Att få djupare förståelse av samspelet mellan lagrad spillvatten, uteluffförvärmaren och FTX-systemet.
- Att utvärdera besparingspotentialen av det föreslagna värmeåtervinningssystemet.
- Att ta fram styrintervaller för luft- och vätskeflöden för att effektivisera samdrift.
- Att optimera driftstrategier för att maximera systemets potential.
- Att validera systemets prestanda med mätdata från litteraturen.
- Att undersöka systemets ekonomiska lönsamhet.
- Att producera ett licentiatarbete med två vetenskapliga artiklar och två konferensbidrag (eller motsvarande).
- Att lägga grunden till projektets nästa etapp.

Projektet har pågått mellan 2016-09-05 och 2018-12-31 och har finansierats av Energimyndigheten (inom programmet E2B2) och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF).



2 Genomförande

Dynamiska simuleringar med hjälp av simuleringsprogram Trnsys, Matlab och MS-Excel har använts för att utvärdera potentialen av det föreslagna värmeåtervinningssystemet. Mätdata från tidigare rapporter har använts för att validera simuleringsresultaten. God överensstämmelse mellan simuleringsresultat och mätdata har uppnåtts i samtliga studier.

Forskningsarbetet utfördes i huvudsak av doktoranden Behrouz Nourozi som tog sin licentiatexamen i juni 2019 vid avdelningen för Strömnings- och klimatteknik på Bygghvetenskap/KTH. Arbetet i denna projektetapp låg till grund för hans examen. Doktorerna Adnan Ploskić och Qian Wang bistod främst genom handledarinsatser och i viss mån med egen forskning. Adnan Ploskić var projektledare för det aktuella projektet.

Projektet genomfördes i nära samarbete med projektets referensgrupp: Fastighetsägarna AB Stockholmshem, Valvet Förvaltning AB, Telge Bostäder AB, installationsföretaget Bravida Sverige AB, installationskonsulten WSP Sverige AB och systemleverantör Uponor.

Förutom vetenskapliga artiklar och konferensbidrag har även följande examensarbeten genomförts i anslutning till projektet:

- i) Examensarbetet "Spillvattenenergi - En outnyttjad energikälla" av högskoleingenjörstudenterna Haci Candemir och Philip Model på KTH/Bygghvetenskap användes som förstudie till projektet. Examensarbetet gjordes under våren 2015 och handleddes av Adnan Ploskić.
- ii) Högskoleingenjörstudenterna Aza Kader och Peter Yousif genomförde sitt examensarbete "Förvärmning av tilluften med återvunnen värme" på KTH/Bygghvetenskap inom ramen för projektet. I examensarbetet undersöktes möjligheten att förvärma inkommande ventilationsluft med hjälp av en spillvattenvärmepump. Arbetet genomfördes under våren 2017 och handleddes av Adnan Ploskić och Qian Wang.
- iii) Utbytesstudenten Simon Härer från Reutlingen Högskolan 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/Bygghvetenskap mellan 2018-09 och 2018-12. Hans arbete fokuserade i huvudsak på bedömningen av kostnadseffektiviteten av det undersökta värmeåtervinningssystemet. Arbetet handledes av Behrouz Nourozi och Stephan Pitsch.



3 Resultat

Syftet med projektet var att utveckla ett system för effektiv värmeåtervinning ur byggnadens spillvatten. Huvudtanken var att använda värmeenergi från utgående spillvatten för att minska värmebehovet för värmning av den inkommande ventilationsluften. Effektiv användning av energin från lagrat spillvatten, effektivisering av värmeväxling i distributionssystem, uteluftförvärmaren och FTX-aggregatet hade därför en central betydelse i projektet.

Huvudslutsatsen från denna studie är att värmebehovet för ventilation i ett flerbostadshus bestäms i huvudsak av värmeåtervinningseffektivitet (temperaturverkningsgraden) hos ventilationsvärmeväxlaren. Studien visade att det är nödvändigt att värmeåtervinningsgraden är ungefär 85 procent på tilluftssidan för att säkerställa den termiska komforten vid låga utetemperaturer. Det har också konstaterats att värmeåtervinningsgraden på tilluftssidan måste vara omkring 90 procent för att kunna förvärma inkommande ventilationsluften för en byggnad på 1600 m² (=560 l/s tilluft) från cirka minus 8 °C till +18 °C utan eftervärmning. Genom att komplettera FTX-systemet med en uteluftförvärmare som värms med cirkulerande vatten från byggnadens spillvatten kunde komfortkravet säkerställas även vid en utetemperatur på ungefär -17 °C.

Den valda uteluftförvärmaren klarade av att förvärma den inkommande ventilationsluften från 3 till 11 grader beroende på utetemperaturen. Vid 5 grader Celsius utetemperatur förvärmades inkommande luftflödet till cirka 8 grader Celsius och vid -15 grader Celsius till ungefär -7 grader Celsius 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 procent under vissa förhållanden med det föreslagna värmeåtervinningsystemet. Risken för påfrysning var cirka 50 procent lägre för ett FTX-system med plattvärmeväxlaren och uteluftförvärmaren i Jokkmokks klimat och var nästan eliminerad i Stockholms klimat.

Den ursprungliga värmeåtervinningsgraden (temperaturverkningsgraden) hos FTX är avgörande för den totala energieffektiviteten för det föreslagna värmeåtervinningsystemet. Ju högre den ursprungliga värmeåtervinningsgraden är desto lägre blir potentialen av det föreslagna systemet med uteluftförvärmaren. Nyttan med uteförvärmning är högre för FTX-systemet med plattvärmeväxlare än med roterande värmeväxlare. Studien har visat att avfrostningsbehovet för FTX-system med plattvärmeväxlaren och uteluftförvärmaren startar ungefär vid samma utetemperatur (mellan -12 grader Celsius och -17 grader Celsius) som för FTX-system med roterande värmeväxlare. Därför är nyttan av uteluftförvärmning för ett FTX-system med roterande värmeväxlare begränsad i klimat där utetemperatur sällan faller under -12 grader Celsius.



Avfrostningen är en mycket effektkrävande process. Det är vanligt att värmeåtervinningsgraden hos FTX-system sjunker ner till 25–30 procent under denna process. Det är en minskning av den normala återvinningsgraden med ungefär tre gånger. Minskningen sker dessutom när uteluften är som kallast och när värmeeffektbehovet är som högst. Tidigare undersökningar har visat att avfrostningsbehovet för plattvärmeväxlare börjar då utetemperatur faller under ungefär -5 grader Celsius när den relativa fuktigheten är cirka 30 procent i frånluften. Detta innebär att ett FTX-aggregat med plattvärmeväxlare behöver avfrostas under cirka en månad av ett normalt år i Stockholms klimat. Motsvarande tid för Kiruna är ungefär 4,5 månader. En avfrostningscykel för en plattvärmeväxlare varar normalt mellan 60 och 90 minuter.

Studien har visat att avfrostningsbehovet kan minskas avsevärt med hjälp av värme från lagrat spillvatten. Avfrostningsbehovet kunde elimineras för ett FTX-system i Stockholms klimat. Undersökningen visade även att 85 procent av värmen som användes för beredning av tappvarmvatten kunde återföras till byggnaden med det föreslagna värmeåtervinnningssystemet. Detta gäller givetvis när systemet är i drift.Utförda analyser visade att systemets största potential ligger i minskningen av byggnadens värmeeffektbehov under köldtopparna. Byggnadens användning av värmeenergi påverkades dock måttligt av förvärmningen av uteluften. Detta resultat är i enighet med mätresultat som nyligen rapporterades av Sundin [7]. Vi kan därmed konstatera att projektets hypotes delvis har bekräftats. Utförda undersökningar har visat att referensbyggnadens värmeeffektbehov kunde minskas med det föreslagna värmeåtervinnningssystemet, dock inte dess värmeenergibehov vilket vi från början trodde det skulle göra.

Korrekt val och styrning av driftflöden och drifttemperaturer har stor betydelse för effektiv drift av det föreslagna värmeåtervinnningssystemet. Resultat visar att temperaturen på den inkommande ventilationsluften endast bör höjas till strax över avfrostningsstarten i ett FTX-system. För ett system med plattvärmeväxlare innebär det en höjning av utetemperatur till strax över -5 grader Celsius beroende på den relativa fuktigheten i frånluften. Denna uteluftsförvärmning gör att avfrostningsbehovet för FTX-aggregatet minskar eller kan elimineras, aggregatets värmeåtervinningsgrad förblir hög (över 80 procent) även under köldtoppar, cirkulationspumpen mellan spillvattentanken och uteluftförvärmaren får avsevärd kortare drifttid (vilket sparar driftel) samt att vattentemperaturen i spillvattentanken hålls hög under en längre tid. Sammantaget gör detta att hela värmeåtervinnningssystemet får en högre värmeåtervinningsgrad och en stabilare drift.

Genomförd livscykelkostnadsanalys (LCC) har visat att återbetalningstiden för det föreslagna systemet varierar mellan 8 och 16 år beroende på vilket lagringssystem för spillvatten som används. Återbetalningstiden för det föreslagna systemet kan därmed vara både kortare och längre än för det liknande HSB-FTX systemet som använder borrhålsvärme för att minska värmebelastningen för FTX-systemet [6]. Vår LCC-analys visade dock att återbetalningstiden för HSB-FTX-systemet är cirka två gånger lägre (cirka 20 år) än vad som tidigare rapporterats av Simanić [6]. Skillnaden kan bero på olika drifttider. Vår drifttid var avsevärt kortare än i studien som utfördes av Simanić.

Följande huvudslutsatser kan därmed dras från den utförda forskningen i projektet:



- 1) Potentialen av det föreslagna värmeåtervinningssystemet bestäms i huvudsak av den ursprungliga värmeåtervinningseffektiviteten hos FTX-aggregatet. Ju högre aggregatets värmeåtervinningseffektivitet är desto lägre blir potentialen för det föreslagna systemet.
- 2) För att säkerställa rätt tilluftstemperatur bör värmeåtervinningsgraden hos FTX-aggregatet vara över omkring 80 procent. Det är oftast svårt att uppnå under köldtoppar utan uteluftsförvärmning av den inkommande ventilationsluften till aggregatet.
- 3) Förvärmning av den inkommande ventilationsluften med återvunnen värmeenergi från byggnadens spillvatten kunde minska de momentana värmeeffekttopparna för ventilation med upp till 40 procent under vissa förutsättningar i Jokkmokks klimat.
- 4) Värmeenergianvändningen i en byggnad med ett FTX-system påverkas måttligt av uteluftsförvärmning.
- 5) Risken för påfrysning i ventilationsvärmväxlaren kunde halveras med uteluftsförvärmning med hjälp av värme från spillvatten i Jokkmokks klimat och nästan elimineras i Stockholms klimat.
- 6) Det föreslagna värmeåtervinningssystemet kan återföra upp till 85 procent av värmen som användes för tappvarmvattenberedning då systemet var i drift.
- 7) Korrekt val och korrekt styrning av driftflöden och drifttemperaturer är avgörande för en effektiv drift av det föreslagna värmeåtervinningssystemet. Temperaturen på inkommande ventilationsluften bör höjas till strax över avfrostningsstarten för FTX-aggregatet, men inte högre.



4 Diskussion

Värmeförlusterna i avloppet (spillvatten) uppgår oftast till mer än 20 procent av de totala värmeförlusterna i befintliga flerbostadshus. I lågenergibostäder utgör denna värmeförlust många gånger mer än 40 procent 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 kommer att bli en norm i framtiden. Småskalig värmeåtervinning ur spillvatten i framtiden kommer troligtvis att bli lika vanlig som dagens värmeåtervinning ur frånluften. Detta har särskilt stor betydelse för flerbostadshus då uppvärmning och varmvattenberedning står för nästan 70 procent av deras totala värmeenergianvändning. Värmeåtervinningen ur spillvatten kommer således att bli en viktig del i omställningen av energisystemet i samhället.

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 energieffektiv 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 värmeåtervinningssystemet visade sig kunna minska de momentana värmeeffekttopparna för ventilation med upp till 40 procent i Jokkmokks klimat. Risken för påfrysning i värmeväxlaren i FTX-systemet kunde halveras med systemet i Jokkmokks klimat och nästan elimineras i Stockholms klimat. Detta gjorde att referensbyggnadens värmeeffektbehov kunde minskas med ungefär sex watt per kvadratmeter uppvärmd golvyta under köldtopparna. Det är sannolikt att fjärrvärmebolagen i framtiden kommer att öka priset för använd värmeeffekt (kW) i takt med att värmeenergiebehovet (kWh) ständigt minskar i svenska byggnader. Det finns därmed ett stort incitament för bostadsrättsföreningar och andra ägare till flerbostadshus att minska värmeeffektbehovet i sina byggnader under de kalla perioderna. Det kan uppnås med det föreslagna systemet i det här projektet.

Projektet har bidragit till djupare insikt om vikten av korrekt styrning av värmeåtervinningssystemet. Bättre styrning av vätskeflöden och inställning av styrtemperaturer ökade värmeåtervinningsgraden hos FTX-systemet med cirka 10 procent i genomsnitt. Det medförde i sin tur en lägre temperatur på luften som lämnar systemet (avlufsttemperatur), vilket minskade onödig energiförlust.

En av huvudslutsatser från projektet är att spillvattenvärmepumpar bör användas för att minska värmeenergianvändningen i flerbostadshus. Tyngdpunkten i fortsatta projekt kommer därför att läggas på utveckling av driftstrategier för effektiv integrering av (korttids) energilager, fjärrvärme och byggnaders värme- och ventilationssystem. Förhoppningen är att det kombinerade värmeåtervinningssystemet skall minska värmeenergianvändningen i ett modernt flerbostadshus med minst 30 procent och med minst 15 procent i ett befintligt flerbostadshus. Effektivisering av samdriften för dessa tre huvudkomponenter kommer därför att prioriteras i nästa etapp.



5 Publikationslista

I projektet slutfördes och publicerades följande licentiatarbete och artiklar:

Licentiatarbete

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 1

Nourozi B, Wang Q, Ploskić A. Energy and defrosting contributions of preheating cold supply air in buildings with balanced ventilation. *Applied Thermal Engineering* 146 (2019) 180-189.

Vetenskaplig artikel 2

Nourozi B, Wang Q, Ploskić A. Maximizing thermal performance of building ventilation using geothermal and wastewater heat. *Accepted Manuscript in Resources, Conservation and Recycling* 143 (2019) 90-98.

Vetenskaplig artikel 3

Ploskić A, Wang Q. Evaluating the potential of reducing peak heating load of a multi-family house using novel heat recovery system. *Applied Thermal Engineering* 130 (2018) 1182-1190.

Vetenskaplig artikel 4

Ploskić A, Wang Q. Reducing the defrosting needs of air-handling units by using heat from wastewater in apartment buildings in cold climates. *Submitted to Applied Thermal Engineering* 157 (2019) 113647.

Konferensartikel 1

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 2

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.

Följande examensarbeten har genomförts i anslutning till projektet:

Examensarbete 1

Aza Kader, Peter Yousif. *Förvärmning av tilluften med återvunnen värme*. Kungliga Tekniska Högskolan. Byggteknik och Design. BD2017;22. Stockholm. 2017-06-08.

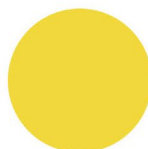
Examensarbete 2


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.



6 Referenser

- [1] <https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/>
- [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. 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 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Vol. Bind 2, 1. Ed. Reykjavik. 2005.



 *En tredjedel av all energi som används i Sverige används i bebyggelsen och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet.*

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i E2B2.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Läs mer på www.E2B2.se.

