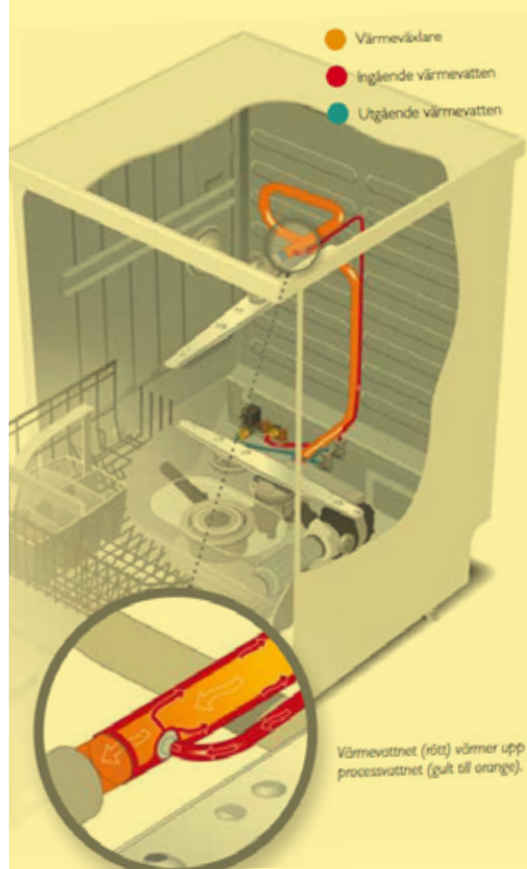


Diskmaskin

Utvärdering från tidigare prototyp

Maskinen utvecklades med utgångspunkt från de tidigare avkoppar som tidigare tagits fram vid Högtryckslaboratoriet. Den totala värmeförmågan i prototyp-värmeväxlaren var på upp till 5,5 kW vid en framledningstemperatur på ca 1,5 liter per minut. Dock var tryckfallet på värmeförmågan över värmeväxlaren på drygt 40 kPa (≈ 4 m). Det totala tryckfallet över maskinens värmeförmåga per minut.



Figur 2.1. Diskmaskinen med den nytutvecklade koaxialv
[10].

Fjärrvärmedrivna vitvaror

ERFARENHETER FRÅN UTVECKLING, INSTALLATIONER
OCH KOSTNADSBERÄKNINGAR

TOMAS PERSSON
ROGER RENSTRÖM

FÖRORD

Ända sedan fjärrvärmen började byggas ut i Sverige har de totala fjärrvärmeleveranserna ökat. Idag försörjs de allra flesta flerbostadshus med fjärrvärme och utbyggnadstakten håller på att mattas av. Allt talar dessutom för att vi genom olika energieffektiviserande åtgärder kommer att minska behovet av fjärrvärme för uppvärmning i framtiden.

En relativt ny användning av fjärrvärme är att driva vitvaror som diskmaskiner, tvättmaskiner, torskskåp och torktumlare med fjärrvärme. Projektet har tittat på utveckling och kommersialisering av värmedrivna vitvaror och hur de kan anslutas mot fjärrvärmesystem i olika systemlösningar. Forskarna har även undersökt vitvarornas energimässiga och ekonomiska förutsättningar.

Arbetet har utförts av Tomas Persson på Högskolan Dalarna och Roger Renström på Karlstads Universitet. Projektgruppen har haft tillgång till kompetens från Asko Appliances som också har bidragit med finansiering. Till projektet har en referensgrupp varit knuten bestående av Kjell Andersson Mälarenergi, Gunnar Nilsson Göteborg Energi och Anders Sahlén Asko.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras gemensamt av Energimyndigheten och fjärrvärmebranschen. Fjärrsyn ska stärka möjligheterna för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för det hållbara samhället till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtidens teknik.

Bo Johansson
Ordförande i Svensk Fjärrvärmes teknikråd

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns styrelse eller Svensk Fjärrvärme har tagit ställning till innehållet.

SAMMANFATTNING

Värmedrivna vitvaror eller HWC-maskiner som de kallas av tillverkaren värms med varmt vatten från en cirkulerande krets via en värmeväxlare inbyggd i maskinen, till skillnad från konventionella maskiner som värms med el. Denna teknik skall inte förväxlas med maskiner som är anslutna till varmvattenledningen och fylls på med varmt vatten och som därmed begränsas till disk- och tvätt. Syftet med fjärrvärmedrivna vitvaror är alltså att använda fjärrvärme, som har lägre kvalitet och pris än el-energi för uppvärmning och torkning och på så sätt spara el och utöka fjärrvärmeunderlaget. En jämförelse av koldioxidutsläpp och primärenergianvändning mellan konventionella vitvaror och fjärrvärmedrivna vitvaror visar att både koldioxidutsläpp och primärenergianvändning blir lägre för fjärrvärmedrivna vitvaror om biobränsle anses koldioxidneutralt och den el som ersätts är producerad i kolkraftverk eller gaskombikraftverk.

Denna rapport beskriver utveckling och kommersialisering av värmedrivna vitvaror (disk- och tvättmaskiner samt torktumlare och torkskåp) och hur de kan anslutas mot fjärrvärmesystem i olika systemlösningar. Dessutom har de energimässiga och ekonomiska förutsättningarna för tekniken undersökts. Erfarenheterna från fältprovning är dock mycket begränsade, eftersom de byggen där fälttesterna skulle ske försenades. Under 2013 färdigställs ett flerbostadshus med värmedrivna vitvaror i 160 lägenheter i Västerås.

De utvecklade maskinernas värmeanvändning som andel av total energianvändning vid 60 graders framledningstemperatur har uppmätts till ca 50 % för diskmaskinen, 67 % för tvättmaskinen, 80 % för torktummlaren och 93 % för torkskåpet. I det studerade flerbostadshuset av passivhusstandard uppgår lasten från värmedrivna vitvaror komfortgolvvärme och handdukstorkar till upp mot 30 % av husets totala värmeanvändning. För småhus är motsvarande siffra upp mot 20 %. Att använda fjärrvärme istället för elvärme till dessa installationer som normalt är elvärmda kan alltså minska elbehovet betydligt i lågenergibebyggelse vilket också minskar både koldioxidutsläppen och primärenergianvändningen.

Ekonomiska analyser har genomförts för två olika systemkoncept (separat vitvarukrets och Västeråsmodellen) för nybyggda småhusområden och flerfamiljshus där fjärrvärme inte bara används till vitvaror utan också till handdukstorkar och komfortgolvvärme. De ekonomiska analyserna visar att Västeråsmodellen är den mest ekonomiskt intressanta systemlösningen med värmedrivna vitvaror, handdukstork och komfortgolvvärme. I flerfamiljshus kan den vara konkurrenskraftig mot de elvärmda alternativen (konventionellt system med eldrivna vitvaror, komfortgolvvärme och handdukstorkar) om prisskillnaden mellan el och fjärrvärme är större än 0,7 kr/kWh. En parameterstudie visar att kapitalkostnaden blir ganska hög jämfört med energikostnaden, vilket betyder att lång livslängd och många cykler är viktigt för att förbättra de ekonomiska förutsättningarna för värmedrivna vitvaror.

För passiva småhus blir kostnaden för Västeråsmodellen med värmedrivna vitvaror, handdukstork och komfortgolvvärme likvärdig med de elvärmda alternativen vid energiprisskillnader på 0,7 kr/kWh inklusive moms, medan det krävs prisskillnader på 0,9 kr/kWh inklusive moms för normaliserade småhusområden.

Sammanfattningsvis kan sägas att i kommuner med ett konkurrenskraftigt fjärrvärmepris finns det viss lönsamhet för hela konceptet enligt Västeråsmodellen med värmedrivna vitvaror, komfortgolvvärme, och handdukstorkar. Om man däremot ser på konkurrensen för enskilda vitvaror är det främst torktumlaren som är konkurrenskraftig i bostäder. Målpriset på 1000 kr extra för värmedrift har inte kunnat uppnås inom projektet för diskmaskiner och tvättmaskiner. Det krävs lägre priser och låga anslutningskostnader för att räkna hem diskmaskinen och tvättmaskinen som enskilda komponenter.

Värmedrivna tvättmaskiner och torktumlare är konkurrenskraftiga i flerfamiljstvättstugor. Speciellt i de fall där beläggningen är god och flera maskiner delar på anslutningskostnaden till fjärrvärmecentralen kan värmedrift bli riktigt lönsam. Torkskåpens konkurrenskraft har inte kunnat utvärderas, då priset ännu inte fastställts.

Att använda VVC-systemet för värmedistribution till värmedrivna vitvaror kan vara mycket intressant, men det kräver att legionellaproblematiken kan lösas. I nuläget finns ingen lösning som uppfyller formuleringarna i boverkets byggregler. Ett annat distributionssätt som kan vara intressant, men som inte undersökts i studien är att använda VVC för varmvattendistribution och en gemensam radiator- och vitvarukrets med konstant framledningstemperatur.

Den aktör som förväntas ha störst ekonomiskt intresse av att tekniken implementeras är sannolikt fjärrvärmebolagen som får sälja mer värme och det ligger därmed främst på deras ansvar att marknadsföra tekniken i mötet med sina kunder.

SUMMARY

Heat-driven appliances (heat-fed) or HWC machines as they are called by the manufacturer are heated with warm water from a circulating circuit via a heat exchanger built into the machine, unlike conventional machines that are heated with electricity. The heat-fed appliances should not be mistaken for machines that are connected to the hot water line and is filled with warm domestic water and thus limited to dishwashers and washing machines.

The purpose of heat-fed appliances is to use energy from district heating for washing and drying which has a lower quality and price instead of electricity. A comparison of carbon dioxide emissions and primary energy use between conventional home appliances and heat-fed appliances using Swedish district heating shows that both carbon dioxide emissions and primary energy consumption is in favor using district heating. This requires that biofuel used is considered carbon-neutral and that electricity being replaced is produced in coal-fired or gas fired power plants.

This report describes the development and commercialization of heat-fed appliances (dishwashers, washing machines, tumble dryers and drying cabinets) and how they can be connected to the district heating system. In addition, the energetic and economic condition for the technology is investigated. The experience of field testing, however, is very limited, because the buildings, where field testing would take place were delayed. During 2013 a multifamily house with 160 apartments equipped with heat-fed appliances is erected in Västerås, Sweden.

The fraction of the electricity demand used by the machines that can be replaced by district heating at 60 °C supply water temperature was measured to be approximately 50 % for the dishwasher, 67 % for the washing machine, 80 % for the tumble dryer and 93 % for the drying cabinet. In the studied passive apartment house, the load from heat-fed appliances, comfort heated bathroom floors and heated towel rails corresponds to 30 % of the total heat use in the house. For single-family homes, the corresponding figure is 20 %. Using district heating instead of electricity for these installations that are normally electrically heated will significantly decrease the demand for electricity which reduces both carbon dioxide emissions and primary energy consumption.

Economic analyses were conducted for two different system concepts, which means either supplying heat through an additional circuit with constant supply water temperature or using the so-called Västerås-model, where the hot water circulation system and the radiator circuit is replaced with a circuit with constant supply water temperature. This circuit is supplying heat to the heat-fed appliances, the towel dryers, the heating system and supplying the domestic hot water using locally distributed heat exchangers. Newly built single-family homes and apartment blocks were analyzed, both designed as passive houses and conventional houses. Economic analyses show that the Västerås-model is the most economically interesting system for using heat-fed appliances, heated towel rails and comfort floor heating in bathrooms. It can be economically competitive against the conventional electrically heated components

(conventional systems with electrically heated appliances, comfort heated floors and heated towel rails) if the price difference between electricity and district heating is higher than 0.7 SEK/kWh including VAT (≈ 0.08 EUR/kWh). A sensitivity analysis shows that the capital cost will be quite high compared to the cost of energy, which means that long life time and many cycles is important in order to improve the economic conditions for heat-fed appliances.

In conclusion, there is some profitability for the whole concept of the Västerås-model using district heating to heat-fed appliances comfort floor heating and heated towel rails in bathrooms in municipalities with a competitive district heating price. However, if we look at the competition for individual appliances, it is mainly the tumble dryer that is competitive in the housing. The target price of 1000 SEK extra for a heat-fed appliance could not be achieved within the project for dish washers and tumble dryers. Lower costs for heat-fed machines and installation is required for the dishwasher and the washing machine to be marketable as a single component.

Heat-fed washing machines and dryers are competitive in multifamily laundries, especially in those cases where the occupancy rate is high and several machines can be sharing the connection costs to the district heating central. The competitiveness of the drying cabinets have not been assessed as the consumer price was not yet determined.

To use domestic hot water circulation system for the heat-fed white goods can be very interesting, but it requires that the legionella colonization risks can be eliminated. At present, there is no solution that fulfills the Swedish building regulations.

The district heating companies is expected to have the greatest benefits from the implementation of the technology, as they may sell more heat and it is therefore mainly their responsibility to market the technology in meetings with their customers.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	11
1.1	BAKGRUND	11
1.2	PROBLEMATISERING	13
1.3	SYFTE OCH MÅLSÄTTNING	15
1.4	METOD	15
2	UTVECKLING AV PROVSERIE	19
2.1	DISKMASKIN	19
2.2	TVÄTTMASKIN	22
2.3	TORKTUMLARE	25
2.3.1	Erfarenhet och historik	25
2.3.2	Inledande försök med kapacitetstester	27
2.3.3	Provning av torkkapacitet och fuktbelastning	28
2.3.4	Värmevattentemperaturens betydelse	29
2.3.5	Studie över fuktproblematiken	33
2.3.6	Slutliga provningsresultat	34
2.4	TVÄTTMASKIN OCH TORKTUMLARE I FÄLTTEST	36
2.5	TORKSKÅP	39
2.5.1	Laboratorieprovning vid Karlstads Universitet	40
2.5.2	Fältprovning på daghem i Västerås	44
2.5.3	Mätresultat	45
3	DISTRIBUTIONSSYSTEM	52
3.1	SEPARAT VITVARUKRETS	52
3.2	VÄSTERÅSMODELLEN	52
3.3	VÄRMEFÖRLUSTER I DISTRIBUTIONSLEDNINGAR	53
3.4	RETURTEMPERATUR	56
3.5	VVC-LEDNINGEN SOM DISTRIBUTIONSSYSTEM	56
3.5.1	Legionellarisker	57
3.5.2	Legionellasäkra lösningar	58
3.6	INDIVIDUELL ENERGIMÄTNING	61
4	ENERGI- OCH KOSTNADSBERÄKNINGAR	63
4.1	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	63
4.1.1	Studerade systemlösningar	63

4.1.2	Studerade hustyper	68
4.1.3	Studerade kombinationer	68
4.1.4	Antaganden och indata	69
4.1.5	Flöden och sammanlagring	71
4.1.6	Tryckfall	72
4.1.7	Värmeförluster	72
4.1.8	Kostnader	73
4.2	RESULTAT AV STUDIEN FRÅN VCON	73
4.3	EKONOMISK UTVÄRDERING	76
4.3.1	Beräkning av kapitalkostnader	79
4.3.2	Energikostnader	80
4.3.3	Ekonomisk utvärdering av systemkombinationer	82
4.3.4	Ekonomisk utvärdering för enbart vitvaror	87
4.3.5	Ekonomisk utvärdering för fastighetstvättstugor	93
5	ANVISNINGAR FÖR PROJEKTERING	95
5.1.1	Maximal icke cirkulerad rörlängd	95
5.2	SYSTEMLÖSNING FÖR NYA BOSTADSHUS	96
5.3	SYSTEM FÖR BEFINTLIGA BOSTADSHUS	97
5.4	SANNOLIKA FLÖDEN OCH RÖRDIMENSION	98
5.5	VÄRMEFÖRLUSTER	101
5.6	DIMENSIONERANDE VÄRMEEFFEKT	102
5.7	ÖVRIGA DRIFTSERFARENHETER	103
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	104
6.1	UTVECKLING AV MASKINER	104
6.2	DISTRIBUTIONSSYSTEM	104
6.3	EKONOMISK UTVÄRDERING	105
6.4	MILJÖVÄRDERING	107
6.5	FÄLTPROVNING OCH DRIFTSERFARENHETER	108
6.6	REKOMMENDATIONER TILL BRANSCHEN	110
7	REFERENSER	112
	BILAGA 1	116
	BILAGA 2	120

1 INLEDNING

Värmedrivna vitvaror eller HWC-maskiner som de kallas av tillverkaren värms med varmt vatten från en cirkulerande krets via en värmeväxlare inbyggd i maskinen, till skillnad från konventionella maskiner som värms med el. Syftet med fjärrvärmedrivna maskiner är att använda fjärrvärme, som har lägre kvalitet och pris än el-energi för uppvärmningen av maskinerna och på så sätt spara el och utöka fjärrvärmeunderlaget. Detta blir allt viktigare i en tid då det framtida fjärrvärmeunderlaget spås minska [24, 37]. I ett framtida perspektiv med allt energieffektivare hus är förhoppningen att tekniken med värmedrivna vitvaror tillsammans med vattenburna handdukstorkar och komfortgolvvärme och övrigt värmebehov ändå kan ge ett tillräckligt värmeunderlag för att motivera fjärrvärmeanslutning.

Denna rapport beskriver utveckling och kommersialisering av värmedrivna vitvaror (disk- och tvättmaskiner samt torktumlare och torkskåp). Förutom själva maskinernas tekniska konstruktion och prestanda har även olika typer av distributionssystem undersökts och dess för- och nackdelar. Dessutom har de energimässiga och ekonomiska förutsättningarna för tekniken undersökts.

1.1 Bakgrund

De första försöken med värmedrivna vitvaror för hushållsbruk genomfördes i Holland på 90-talet i samarbete mellan ECOFYS och Miele [52]. Inom projektet utvärderades tio tvättmaskiner och tio torktumlare i holländska hushåll. Som värmedistributionssystem användes det konventionella radiatorsystemet, vilket innebar att framledningstemperaturen måste vara hög hela året och temperaturregleringen i huset styrdes enbart av rumstermostater. Den utvecklade torktummlaren som var av typen kondensummlare hade utmärkta prestanda, men tvättmaskinen var försedd med en värmeväxlare placerad i tvättmaskinens bottentråg, vilket ökade maskinens vattenförbrukning och därmed också energianvändningen. Elbesparingen för tvättmaskinen uppmättes till 69 % och för torktummlaren var elbesparingen ca 76 %. Ingen marknadsintroduktion gjordes dock av tekniken efter detta projekt.

Nästa projekt med värmedrivna vitvaror genomfördes vid Högskolan Dalarna i samarbete med ASKO Appliances AB mellan år 2004 och 2006, där en diskmaskin och en tvättmaskin försågs med en koaxialvärmeväxlare [38]. Syftet var då inte primärt fjärrvärmedrift utan att tekniken skulle användas i kombination med solvärme-system [39]. Genom användning av en kompakt koaxialvärmeväxlare ökade inte vattenförbrukningen som i den holländska studien vilket bidrog till att energianvändningen kunde hållas näst intill oförändrad vid värmedrift. Elbesparingen vid 60 graders framledningstemperatur och standardprogram beräknades till ca 64 % för tvättmaskinen och ca 79 % för diskmaskinen [38].

År 2006 genomfördes försök med en värmedriven torktumlare som använde värmevatten för uppvärmning av luften och kallvatten för att kondensera ut vattnet ur

den fuktiga luften. Projektet utfördes i samarbete mellan Karlstads universitet, Asko Appliances AB och bostadsbolaget KBAB [22, 42, 46].

År 2006 installeras också värmedrivna vitvaror i fjärrvärmehuset i Göteborg [54]. I demonstrationshuset provas olika system för att använda fjärrvärme istället för el. Diskmaskinen och tvättmaskinen var de prototyper som tidigare utvecklats vid Högskolan Dalarna och torktumlaren kommer från utvecklingsprojektet i Holland [52]. Under 2012 har också de värmedrivna vitvarorna varit med i det danska tävlingsbidraget Solar Decathlon Europe 2012 [44], där ett energieffektivt småhus designats.

Varmvattenanslutna maskiner

Varmvattenanslutna maskiner, är maskiner som fylls på med varmt tappvatten som sedan används som processvatten för att diska och tvätta. För att möjliggöra sköljning i kallt vatten är tvättmaskinen ansluten till både varmvattenledning och kallvattenledning. Diskmaskinen som normalt även sköljer i varmt vatten är enbart ansluten till varmvattenledningen.

Elbesparingen med varmvattenanslutna vitvaror blir lägre än med värmedrivna vitvaror, eftersom det varma vattnet som fylls på i maskinen inte räcker för att värma både disk/tvättgodset och maskinhöljet. I en simuleringsstudie av Persson [39] jämförs prestanda för varmvattenanslutna och värmedrivna vitvaror anslutna mot en ackumulatortank. I studien fylls maskinerna med 55-gradigt tappvarmvatten och varmvattenledningens längd antas vara fem meter till diskmaskinen och två meter till tvättmaskinen. Elbesparingen med värmedrivna maskiner var 90 % för diskmaskinen och 73 % för tvättmaskinen. Motsvarande besparing med varmvattenanslutna maskiner var 35 % för diskmaskinen och 53 % för tvättmaskinen. Besparingspotentialen är alltså lägre med varmvattenanslutna maskiner och dessutom kan inte varmvattenpåfyllning tillämpas för att driva torktumlare och torkskåp. Dessa är motiven till att detta projekt har utvecklat värmedrivna vitvaror (HWC-maskiner) med inbyggda värmeväxlare.

Andra studier om värmedrivna vitvaror

Åberg et al. [55] undersökte inverkan på koldioxidutsläppen i Uppsala vid en storskalig implementering av fjärrvärmedrivna vitvaror tillsammans med olika scenarier av energieffektivisering till åren 2020 och 2030. Energieffektiviseringen i fastighetsbeståndet och implementering av HWC-tekniken visade sig ha en utjämnande effekt på lasten och sommarlasten ökar. Koldioxidutsläppen beräknas minska med ca 19 % till 2030 och elproduktionen i kraftvärmeverken ökar med ca 5 % om HWC-tekniken implementeras i 57 % av de fjärrvärmeuppvärmda lägenheterna och den elproduktion som trängs undan är kolkondens. Åberg undersökte också ett scenario där kolkondens antogs ersättas med naturgasproducerad el i gaskombikraftverk och då ökar istället de totala koldioxidutsläppen beroende på att Uppsala eldar främst avfall och torv som har betydligt högre emissionsfaktorer av koldioxid än biobränslen.

I en projekteringskurs vid Chalmers undersöktes de värmedrivna prototypmaskinerna i Fjärrvärmehuset i Göteborg ur ett livscykelperspektiv i jämförelse med konventionella maskiner med eldrift [21]. Bland annat studerades inverkan på global

uppvärmning, försurning och övergödning. Traditionella elvärmda maskiner som drivs med svensk elmix gav lägst miljöpåverkan enligt studien tätt följt av värmedrivna maskiner och fjärrvärmedrift. Drivs istället maskinerna med europeisk elmix eller kolkraft blir miljöpåverkan klart minst för de värmedrivna vitvarorna med fjärrvärmedrift. Enligt studien utgör materialproduktionen en förhållandevis liten del av miljöbelastningen jämfört med energianvändningen.

Kupferschmidt [32] undersökte i ett examensarbete energibesparingspotentialen av bland andra varmvattenanslutna tvättmaskiner i flerfamiljstvättstugor som var anslutna till Telge Nät AB. Slutsatsen var att det fanns 905 fastighetstvättmaskiner som tillsammans hade en potential att öka värmelasten i fjärrvärmenätet med 1,65 GWh/år, alltså ca 1800 kWh per maskin och år.

I ett 30 poängs examensarbete av Alma Hess och Sara Kralmark som genomförs under våren 2013 vid Lunds Tekniska Högskola undersöks förutsättningar för att använda värmedrivna vitvaror i den planerade stadsdelen Solbjer på Brunnshög i norra Lund. De preliminära slutsatserna är bland annat att värmedrivna vitvaror ur ett livcykelperspektiv är både ekonomiskt och klimatmässigt mer lönsamma i jämförelse med konventionella eldrivna vitvaror. Motsvarande 10 % av den planerade stadsdelens totala elenergiebehov kan ersättas med värmeenergi om värmedrivna vitvaror installeras istället för eldrivna.

1.2 Problematisering

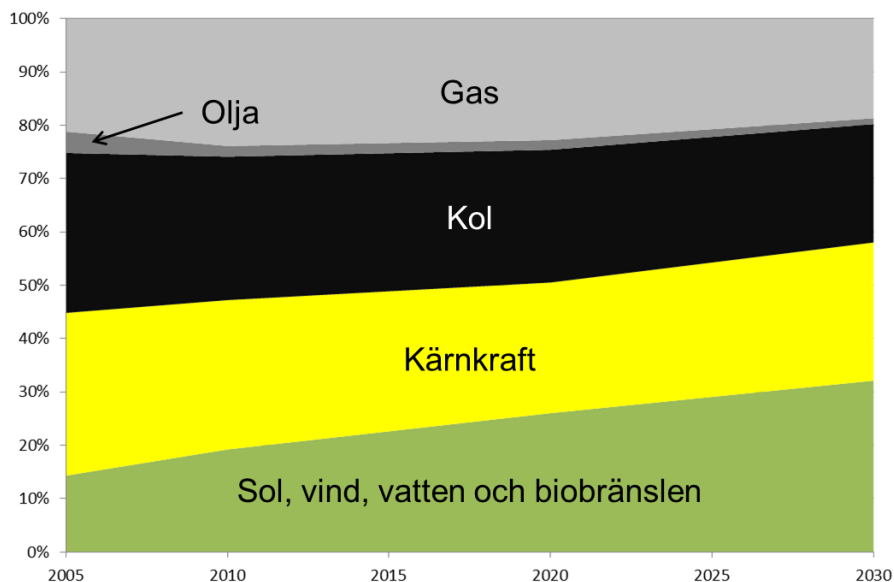
EU:s medlemsstater har inom det så kallade 20 20-målet kommit överens om att växthusgasutsläppen skall minska med 20 % och att andelen förnyelsebar energi skall öka till 20 % inom EU år 2020 [15]. Senare har EU också fastställt som mål att till år 2020 även spara 20 % av sin förbrukning av primärenergi [16]. Nationella miljömål har ställts upp som syftar till att minska energianvändningen och öka energieffektiviteten. Men många av de energisparåtgärder som premieras t.ex. i BBR riskerar istället att gynna lösningar som kräver mer el än idag [41]. Fokuserar man på slutanvändarnas köpta energianvändning som kan bli fallet inom bostadssektorn är det lätt att energieffektivisera med t.ex. värmepumpar, eller passivhus, men detta kan innebära att fjärrvärme i många fall blir ointressant och att byggnadsbeståndet i allt högre grad blir elvärt, om än med relativt låga värden på köpt energi per m².

Ställs krav på minskad mängd köpt energi i samband med renovering, är detta ett hot mot fjärrvärmen då det gynnar konvertering till värmepumpar och omöjliggör en konvertering från värmepump till fjärrvärme. Det är redan idag problematiskt att konvertera från värmepump till fjärrvärme, eftersom köpt energimängd (specifika energianvändningen) ökar och detta tolkas som att energiprestanda försämras.

Låg energianvändning anses som ett av de största hoten mot lönsamhet i framtida fjärrvärmesystem [27]. Dessutom finns problem med att energislag för nya hus, som väljs i projekteringskedet ibland är baserade på glädjekalkyler som underskattar värmebehovet [20, 31], vilket därmed kan minska lönsamheten för fjärrvärme jämfört med andra energislag i energikalkylen [35]. Dock finns det också positiva faktorer med minskade energibehov. Minskade energibehov gör det möjligt att sänka framled-

ningstemperaturen, vilket gör att värmeförlusterna också minskar. Energieffektivisering i fastighetsbeståndet har en utjämnande effekt på lasten, vilket också kan vara positivt.

Verklig energieffektivisering på tillförselsidan istället för på brukarsidan kräver ett större systemperspektiv [30]. Det är svårt att värdera miljöpåverkan från olika energikällor mot varandra. En möjlighet är att använda primärenergibegreppet vid energieffektivisering. Även om det inte ger en rättvis värdering av olika energislags miljöpåverkan, så styr det i alla fall mot energieffektivare lösningar i hela kedjan från tillförsel till användning.



Figur 1.1. Prognos för elproduktionen (nettoproduktion) inom EU [26].

Primärenergi, är ett mått på den totala energimängd som använts för att t.ex. leverera en kWh el eller fjärrvärme till slutkund. Av denna anledning blir primärenergifaktorn högre för el som genererats ur ett bränsle som t.ex. kol än för värme som producerats ur motsvarande bränsle, eftersom verkningsgraden vid elproduktion med kolkondens är ca 40 %.

Eftersom elproduktionen inom EU till stor del är beroende av kolkraft och kommer att vara det under lång tid framöver (Figur 1.1) kan man resonera att ersättning av elenergi med motsvarande mängd värmeenergi reducerar koldioxidutsläppen. I Sverige och i Norden har vi dock mer vattenkraft och kärnkraft, vilket gör att koldioxidutsläppen är lägre här. Elnäten är till stor del sammanlänkade med Europa och därför blir det den dyraste kolkraftsproducerande elen som går in på marginalen.

Vid värdering av miljöpåverkan från elanvändning kan man använda olika viktningsskallor vid miljööredovisning av en befintlig verksamhet och när man analyserar vilken inverkan en förändring av verksamhetens energianvändning får. I det första

fallet är de flesta överens om att någon form av medel för den använda energimixen är ett bra antagande (Nordisk el-mix), medan man i det andra fallet kan argumentera för att använda marginalet, som oftast är kolkraft i ett europeiskt perspektiv. Användning av värmedrivna vitvaror minskar elanvändningen på marginalen och sparar därmed både koldioxidutsläpp och primärenergi. Beräkning av koldioxidutsläpp och primärenergi för värmedrivna vitvaror redovisas i avsnitt 6.4 på sidan 107.

De miljömässiga fördelarna med fjärrvärmedrivna vitvaror är framförallt minskad elanvändning och samtidigt möjlighet till ökad elproduktion i kraftvärme med till stor del förnybara bränslen och avfall. Värmedrivna vitvarors påverkan på koldioxidutsläpp och primärenergianvändning studeras i avsnitt 6.4 på sidan 107. Minskad elanvändning tränger delvis undan kolkraftsproducerad el på marginalen och elproduktionen inom EU kommer under lång tid framöver till största delen att ske med icke förnybara bränslen (Figur 1.1).

Det måste dock påpekas att de värmedrivna vitvarorna använder ungefär lika mycket energi som konventionella elvärmda maskiner [38]. Dessutom tillkommer värmeförluster i distributionsledningar, som kan uppgå till ca 20 % av levererad värmemängd [39]. Totalt använder alltså värmedrivna vitvaror alltid mer energi på förbrukarsidan (köpt energi), men på tillförselsidan med kärn- eller kolkraftsproducerad el så innebär ersättning av el med fjärrvärme en energibesparing av primär energi. Dessutom medför ökad fjärrvärmelast ökad elproduktion. Antas att andelen el i fjärrvärmeverket utgör ca 35 % av såld energi kan varje kWh el som ersätts med fjärrvärme också generera 0,54 kWh extra el.

Trots att värmedrivna vitvaror alltså inte ger en energibesparing hos slutkunden, kan tekniken alltså spara primärenergi i form av kol. Dessutom fokuserar EU på att minska primärenergianvändningen med 20 % till 2020 [15, 17], och denna typ av krav bör gynna tekniken med värmedrivna vitvaror.

1.3 Syfte och målsättning

Projektets syfte var att generera en provserie av värmedrivna disk- tvätt- och torkmaskiner som installeras och provas i nya eller befintliga bostadshus med fjärrvärme. Olika lösningar för fjärrvärmedistribution till vitvaror skulle undersökas och jämföras ur ett kostnads- och energiperspektiv. Dessutom var målsättningen att utveckla teknik och system som möjliggör ekonomiska lösningar för fortsatt fjärrvärmeutbyggnad till nybyggda energisnåla flerbostadshus och grupphusområden där fjärrvärme används till vitvaror, handdukstorkar, komfortgolvvärme och ventilationsvärmeväxlare.

1.4 Metod

Rapporten beskriver arbetet med att utveckla och prova en första serie värmedrivna vitvaror för hushållsbruk, tvättstugor och daghem. Arbetet har genomförts inom följande delprojekt; *disk och tvätt, torktumlare, torkskåp* samt *distributionssystem och demonstrationsbyggande*.

Disk- och tvättmaskiner

Disk- och tvättmaskinen utvecklades med utgångspunkt från de prototyper som tidigare tagits fram vid Högskolan Dalarna [38]. Utmaningen var att tillverka värmeväxlaren i rostfritt stål istället för i koppar och att minska tryckfallet på värmevattensidan så att energieffektiva cirkulationspumpar kan användas.

Torktumlare

Torktumlare kan byggas både som kondensumlare och frånluftstumlare. Kondensumlaren har en sluten återcirkulerande luftkrets där ett värmebatteri värmer luften innan den går in i trumman och en kylare avfuktar luften efter trumman. Normalt används rumsluft för att kyla och avfukta luften i en plattvärmeväxlare. En frånluftstumlare avger den fuktiga luften direkt till rummet eller till ett dragavbrott mot frånluftdonet.

Generellt har kondensortumlarna problem med ludd på värmeväxlarytorna. Detta problem har inte frånluftstumlarna. För att eliminera luddproblem i värmeväxlarna valdes i detta projekt att utveckla en värmevattendriven frånluftstumlare. Att även kondensortumlaren fungerar med värmevattendrift demonstrerade Miele när man tog fram en värmedriven kondensumlare [52]. Utmaningen i detta projekt var att få kortast möjliga torktider vid olika driftbetingelser. För att optimera torkprestandan provades olika vattentemperaturer, och tvättlaster i en tidig prototyp.

Hur avgivning av fukt till rummet från frånluftstumlare påverkar fuktbelastningen i rummet undersöktes i flera delstudier (se avsnitt 2.3.5 på sidan 33). Dels gjordes försök i en 9 m² stor lokal med fönster vid Karlstads universitet, dels gjordes mätningar i en av Göteborg energis tvättstugor som försetts med värmedrivna vitvaror.

Torkskåp

Torkskåpet utvecklades relativt sent under projektet, vilket gjorde att inga färdiga produkter kom ut på marknaden under projektperioden. Prototyper provades både i laboratorium och i fält och faktorer som påverkade torktid, torkprestanda och elbesparing undersöktes. Även här var målsättningen att erhålla en kort torktid. Dessutom utvecklades en styrning för prototyperna som skulle installeras i fält. Totalt installerades två torkskåp i fritidshem/dagis i Västerås. Mätningar i fälttestet genomfördes från oktober 2012 till februari 2013 med målsättningen att uppskatta elbesparingen.

Distributionssystem och demonstrationsbyggande

Inom detta delprojekt undersöktes förutsättningslöst olika möjligheter att bygga distributionssystem för värmevattnet och att hitta lösningar som ger låga värmedistributionsförluster och lägsta möjliga kostnader i både nya och befintliga bostäder. En extern konsult gavs i uppdrag att beräkna kostnader och energiprestanda för två olika systemlösningar i villaområde respektive i flerbostadshus [33]. Husen antogs vara passivhus respektive normalisolerade hus, alltså totalt fyra olika hus.

Vidare studerades en lösning med separat värmekrets samt den s.k. Västeråsmodellen, som innebär att både det konventionella VVC-systemet och radiatorkretsen ersätts med en sekundär värmekrets med konstant framledningstemperatur och distri-

buerad varmvattenproduktion. Således undersöktes och jämfördes totalt sex olika varianter med avseende på byggkostnader och energiprestanda.

Utifrån energi- och kostnadsundersökningen genomfördes en ekonomisk utvärdering enligt annuitetsmetoden [34]. Det betyder att första årets kostnader för energi och kapital beräknas för samtliga alternativ. Kapitalkostnaden fördelas på den ekonomiska livslängd som det kan förväntas att systemet och de olika maskinerna har.

Beroende på att byggkonjunkturen har sviktat under projektperioden och att endast tvättmaskiner och torktumlare kunnat levereras under tidigare under projektet har inget bostadsområde hunnit slutföras inom projektperioden. I kvarteret Råseglet i Västerås som nu uppförs sker inflyttning i etapper under 2013, vilket är för sent för att kunna utvärderas inom projektperioden. Kvarteret innehåller 160 lägenheter som förses med Värmedrivna disk- och tvättmaskiner samt torktumlare.

Fältutvärdering

Den grundläggande principen för att utvärdera elbesparingen för maskinerna i fält har varit genom att mäta elanvändningen till maskinerna under en period på minst fyra veckor och samtidigt registrera antal cykler. Mätningen genomförs dels under en period då maskinerna drivs med värmekretsen och under en period då värmekretsen är avstängd och maskinerna enbart värms med el. Jämförelse av elanvändning per cykel för de båda perioderna ger ett värde på verklig elbesparingen med värmedriften.

Ingå diskmaskiner installerades under projektperioden. Fem tvättmaskiner och fyra torktumlare som installerades i energibolagens omklädningsrum i Västerås och Göteborg och utvärderades enligt planen, men beroende på bland annat väldigt få cykler och en förhållandevis hög standby-effekt och variationer i tvätt- och torklast kunde inga slutsatser dras med denna mätmetod.

För att utvärdera de två torkskåp som installerades på ett daghem i Västerås baserades energianalysen på drifttid istället för energi. Detta kunde göras, eftersom elvärmarna avaktiverades i dessa skåp. Eftersom fläktens elbehov och värmebatteriets värmeeffekt var känd från laboratoriemätningar kunde elbesparingen beräknas från den uppmätta drifttiden.

Värmeförluster

I konsultstudien av Larsson [33] beräknades också de årliga värmeförlusterna i distributionsledningarna utanför lägenheterna. Värmeförluster från kopplingsledningarna mellan fjärrvärmecentral och vitvaror inom lägenheten undersöktes också i två examensarbeten med hjälp av simuleringsprogrammet Comsol [43, 50]. I arbetet av Roos [43] studerades hur värmeeffektförlusterna påverkades av rördimension, flöde och isolerstandard samt av omgivande material runt röret. I arbetet av Widlund [50] studerades de årliga energiförlusterna från distributionsrör mellan värmecentral och maskiner.

VVC ledning som distributionssystem

Användning av VVC-ledningen som värmedistributionssystem är intressant, då systemet redan finns tillgängligt i de flesta fastigheter. Dock kan inkoppling av värme-

drivna vitvaror på VVC-ledningen utgöra en risk för ökad halt av legionellabakterier i varmvattnet på samma sätt som handdukstorkar anslutna mot VVC ger ökad risk [13]. I rapporten undersöks vilka anvisningar som ges i Sverige och Tyskland för att undvika Legionellatillväxt samt vilka krav som finns i de svenska byggreglerna. Utifrån dessa anvisningar diskuteras vilka möjligheter som finns för legionellasäker anslutning av vitvaror till VVC-ledningar.

2 UTVECKLING AV PROVSERIE

2.1 Diskmaskin

Utveckling från tidigare prototyp

Diskmaskinen utvecklades med utgångspunkt från den prototyp med en koaxialvärmewäxlare av koppar som tidigare tagits fram vid Högskolan Dalarna [38]. Värmeöverföringskapaciteten i prototyp-värmewäxlaren var tillfredsställande med en överförd effekt på upp till 5,5 kW vid en framledningstemperatur på 70°C och ett värmevattenflöde på ca 1,5 liter per minut. Dock var tryckfallet på värmesidan för högt med ett tryckfall över värmewäxlaren på drygt 40 kPa (≈ 4 mvp) vid ett flöde på 1,6 liter per minut. Det totala tryckfallet över maskinens värmekrets var 60 kPa (≈ 6 mvp) vid 1,6 liter per minut.



Figur 2.1. Diskmaskinen med den nyutvecklade koaxialvärmewäxlaren. Bild från Asko Appliances AB [10].

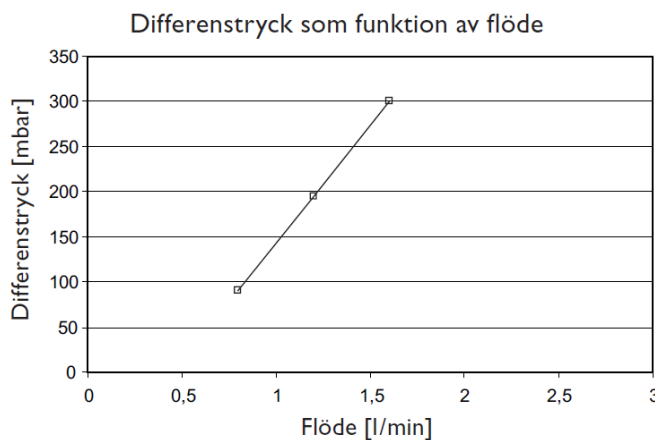
Utmaningarna i detta projekt var alltså att tillverka värmewäxlaren i rostfritt stål och att minska tryckfallet på värmevattensidan så att energieffektiva cirkulationspumpar

kan användas. Initialt undersöktes möjligheten att använda hydroformning och att integrera värmeväxlaren under diskutrymmet. Dessa idéer förkastades senare, eftersom värmeväxlaren då kom att innehålla för stor processvattenvolym, vilket försämrade maskinens energiprestanda. Lösningen blev istället att ersätta spolröret till övre diskarmen med en koaxialvärmeväxlare av rostfritt stål precis som i prototypen.

Provningsresultat

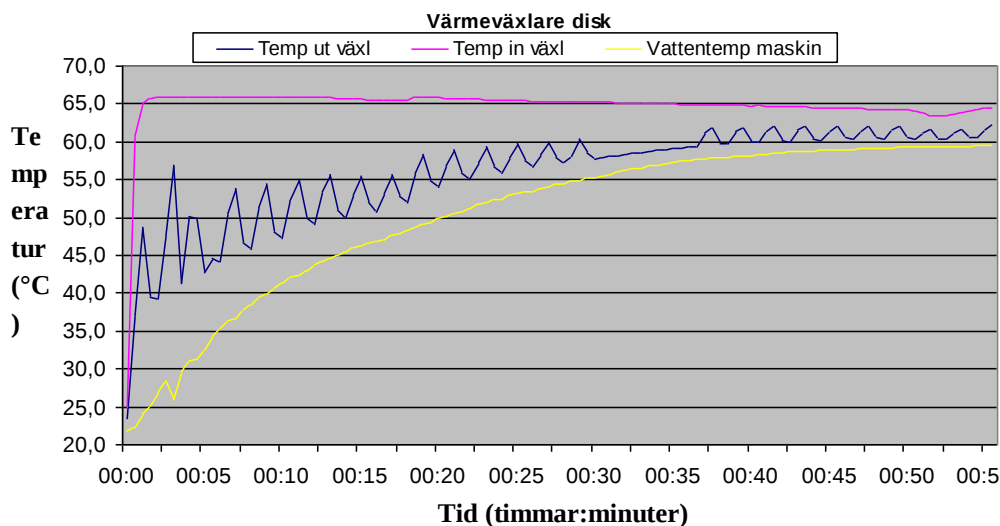
Värmeväxlarens geometrier ändrades jämfört med prototypen för att bättre passa in i diskbehållaren och koaxialvärmeväxlaren tillverkades av tunna rostfria rör i ett bockverktyg med ett för ändamålet utvecklat specialverktyg som ger stöd även mellan de båda rören vid bockning

Uppmätt tryckfall över värmekretsen på diskmaskinen har nästan halverats jämfört med prototypmaskinen av Persson [38], vilket framgår av Figur 2.2 nedan. Tryckfallet på värmevattensidan var ungefär 300 mbar ($\approx 3,1$ mvp) vid 1,6 liter per minut som är önskat flöde genom maskinen (Figur 2.2).



Figur 2.2. Uppmätt tryckfall över värmekretsen i diskmaskinen. Mätningarna har genomförts av Asko Appliances AB [9].

Värmeöverföringskapaciteten för den nyutvecklade värmeväxlaren i diskmaskinen redovisas i Figur 2.3. Värmeväxlaren har initialt en överförd värmeeffekt på upp till ca 3 kW vid en framledningstemperatur på 65°C och ett värmevattenflöde på ca 1,6 liter per minut. Detta är dock lägre än för prototypmaskinen, men ändå tillräckligt. Dock behövdes en maskin med spolarmsväxlare (växling mellan övre och nedre spolarmen) för att få tillräckligt tryck till övre spolarmen, vilket innebär att maskinen ibland stryper vattentillförseln till övre spolarmen. Detta skapar den varierande returtemperatur som visas av Figur 2.3, vilket förlänger uppvärmningstiden och höjer returtemperaturen något. Diskmaskinen växlar från värmedrift till elvärmning, då temperaturstegringen är mindre än 2°C under en period på 4 minuter, vilket inte sker i Figur 2.3.



Figur 2.3. Uppmätta drifttemperaturer för en uppvärmningssekvens med diskmaskinens värmeväxlare när spolarmsväxlare används. Värmevattenflödet är 1,6 l/minut. Mätningarna har genomförts av Asko Appliances AB.

Tabell 2.1

Uppmätt elbehov för diskmaskinen med HWC beroende på värmevattentemperatur vid flödet 1,6 liter per minut. "Energi" avser elbehovet för en cykel. Elbehovet för en maskin som inte är HWC-ansluten redovisas på tredje, sjätte och nionde raden. Mätningarna har genomförts av Asko Appliances AB.

Program	Tillval	Temp. °C ¹⁾	Förbrukningsvärden ²⁾	
			Disktid (ca timmar:minuter)	Energi (ca kWh)
Normaldisk	-	80	2:50	0,2
Normaldisk	-	55	3:30	0,5
Normaldisk ³⁾	-	-	2:55	1,0
Ecodisk	-	80	2:30	0,1
Ecodisk	-	55	3:00	0,6
Ecodisk ³⁾	-	-	2:40	1,0
Snabbdisk		80	0:40	0,5
Snabbdisk		55	1:00	0,9
Snabbdisk ³⁾		-	1:00	1,0

1) Temperatur på inkommande vatten till värmevattenkretsen.

2) Vid ovan angivna värden är flödet för värmevattnet 1,6 liter/minut.

3) Jämförande värden då maskinen inte är HWC-ansluten.

Energiklassning

Uppmätta energiprestanda för diskmaskinen med HWC-värmeväxlare i jämförelse med motsvarande eluppvärmd maskin framgår av Tabell 2.1. Elbehovet kan halveras vid en värmevattentemperatur på 55°C och minska med upp till 90 % vid en värmevattentemperatur på 80°C.

2.2 Tvättmaskin

Tvättmaskinen utvecklades med utgångspunkt från den prototyp med en koaxialvärmväxlare av koppar som tidigare tagits fram vid Högskolan Dalarna [38]. Värmeöverföringskapaciteten var tillfredsställande med en överförd effekt på upp till ca 5,2 kW vid en framledningstemperatur på 70°C och ett värmevattenflöde på ca 1,5 liter per minut. Dock var tryckfallet på värmesidan för högt. En koaxialvärmväxlare i rostfritt med lite större dimensioner än för diskmaskinen utvecklades för tvättmaskinen, se Figur 2.4.

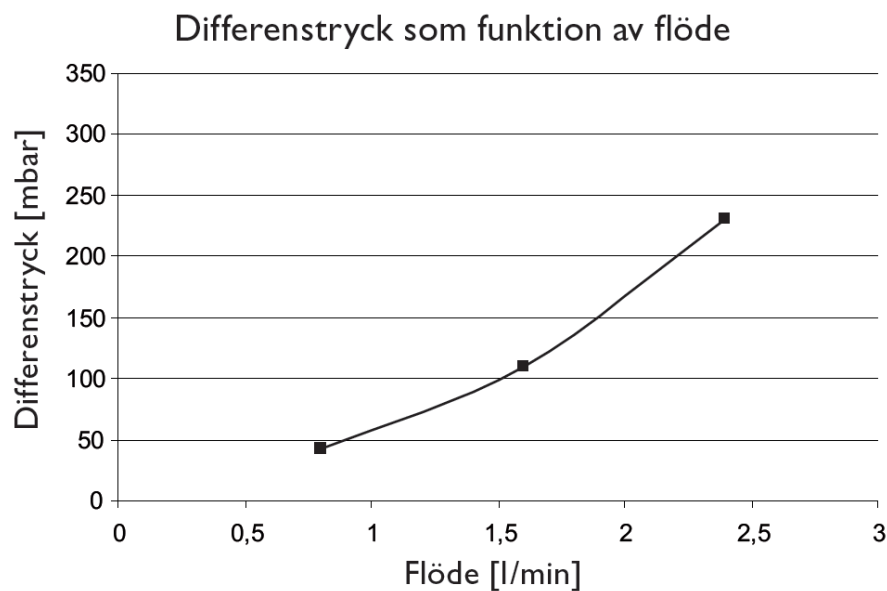


Figur 2.4. Tvättmaskinen med den nyutvecklade värmväxlaren. Bild från Asko Appliances AB [10].

Provningsresultat

Uppmätt tryckfall över värmekretsen på tvättmaskinen framgår av Figur 2.5 och var lägre än för diskmaskinen (Figur 2.2). Vid 1,6 l/minut var tryckfallet ca 110 mbar ($\approx 1,1$ mvp).

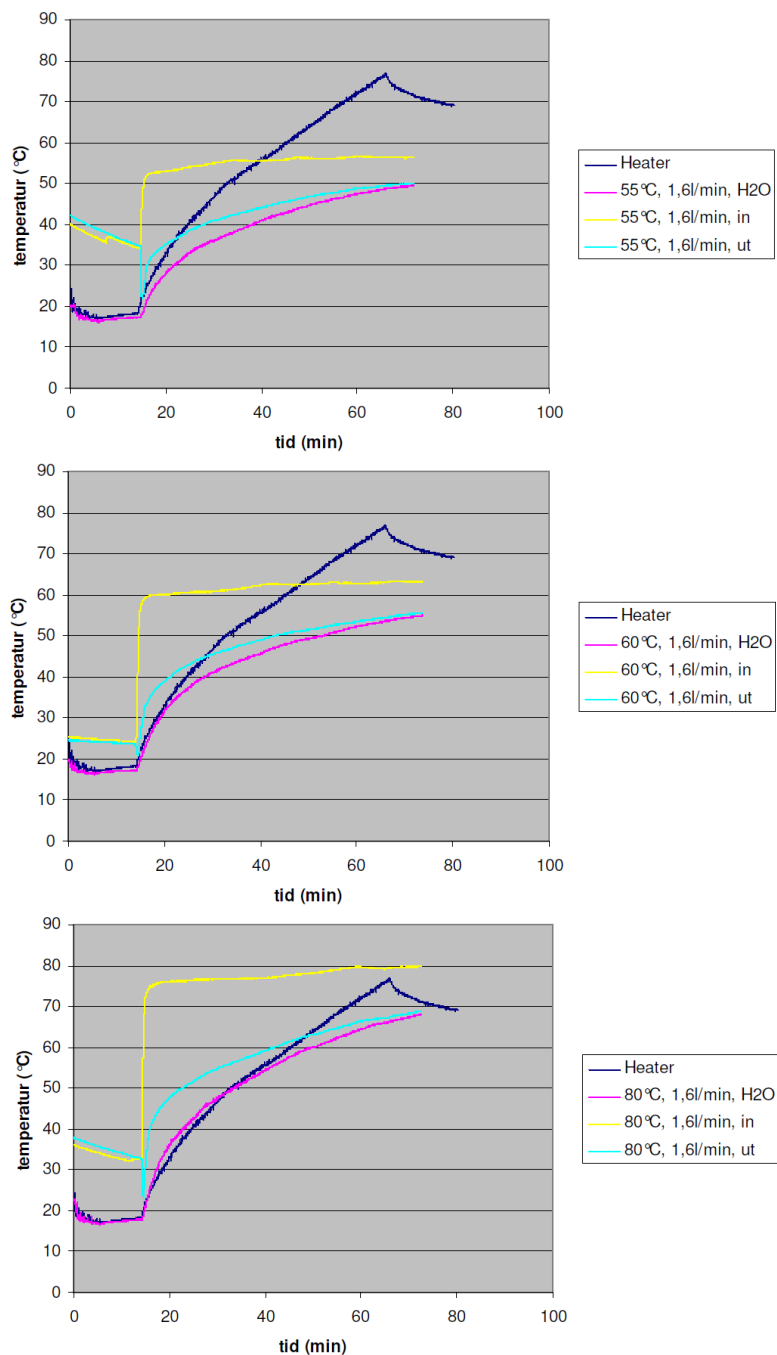
Värmeöverföringskapaciteten för den nyutvecklade värmväxlaren i tvättmaskinen redovisas i Figur 2.6 för tre olika värmevattentemperaturer. Värmväxlaren har initialt en överförd effekt på ca 3 kW vid en framledningstemperatur på 60°C och ett värmevattenflöde på 1,6 liter per minut.



Figur 2.5. Uppmätta tryckfall över värmekretsen som funktion av värmefflöde för tvättmaskinen enligt Asko Appliances AB [8].

Energiklassning

Uppmätta energiprestanda för tvättmaskinen med HWC-värmeväxlare i jämförelse med eluppvärmd maskin framgår av Tabell 2.2. Värmeanvändningen kan uppgå till ca 65 % av energibehovet vid en värmevattentemperatur på 55°C och till ca 80 % vid en värmevattentemperatur på 80°C.



Figur 2.6. Uppmätta prestanda för värmeväxlaren i tvättmaskinen jämfört med elektrisk värmare. Mätningarna har genomförts av Asko Appliances AB.

Tabell 2.2

Uppmätt elbehov för tvättmaskinen med HWC. "Energi" avser elbehovet för en cykel vid en värmevattentemperatur av 55°C respektive 80°C med värmevattenflödet 1,6 liter per minut. Elbehovet för en maskin som inte är HWC-ansluten är 1,1 kWh för detta tvättprogram. Mätningarna har genomförts av Asko Appliances AB.

Program	Inställning	Temp. °C ¹⁾	Förbrukningsvärden ²⁾	
			Programtid (ca timmar:minuter)	Energi (ca kWh)
Normal vit/kulört, 60 °C	Eco	55	4:10	0,4
Normal vit/kulört, 60 °C	Auto	55	3:50	0,5
Normal vit/kulört, 60 °C	Quick	55	3:15	0,9
Normal vit/kulört, 60 °C	Eco	80	3:20	0,2
Normal vit/kulört, 60 °C	Auto	80	3:20	0,2
Normal vit/kulört, 60 °C	Quick	80	3:10	0,8

1) Temperatur på inkommande vatten till värmevattenkretsen.

2) Vid ovan angivna värden är flödet för värmevattnet 1,6 liter/minut.

2.3 Torktumlare

I en värmevattenansluten torktumlare används el normalt enbart för att driva motorerna till trumman och fläkten. Värmevattnet används för att värma processluften så att torkningen går snabbare.

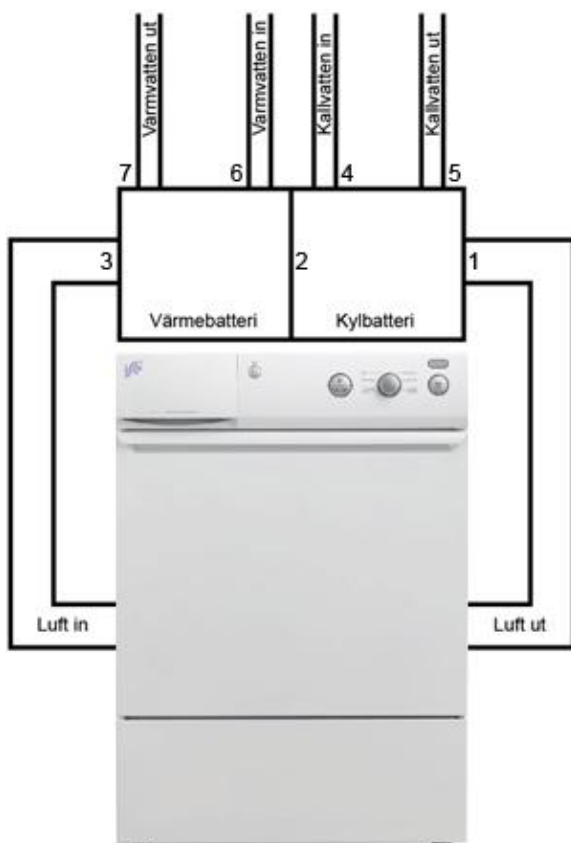
2.3.1 Erfarenhet och historik

Det finns två typer av torktumlare på marknaden idag, frånluftstumlaren och kondensumlaren. Frånluftstumlaren bygger på ett öppet system där rumsluft värms i ett element och förs in i trumman där torkning av de våta textilierna sker. Därefter transporteras luften vidare ut från torktumlaren med hjälp av en fläkt, oftast ut från rummet via en anslutning, antingen till fastighetens frånluftssystem eller direkt ut från rummet via ventil eller fönster. Luften som lämnar frånluftstumlaren är varm och fuktig. Kondensumlaren behöver ingen anslutning till ventilationen. Den bygger istället på ett slutet system där luften återcirkulerar i maskinen. Den fuktiga luften ut från trumman kyls med rumsluft i en värmeväxlare där vattenången kondenserar innan luften åter värms för att sedan föras in i trumman igen.

I de utrymmen man har kondensortumlare så blir det varmt. Om man räknar denna energi som en tillgång i husets värmebalans så är kondensortumlaren mer energieffektiv än frånluftstumlaren. Räknar man däremot använd energi per borttorkad mängd vatten så använder kondensortumlaren mer elenergi än frånluftstumlaren. Torktumlare oavsett typ har lång livslängd. Av detta följer att torktumlare förbrukar stora energimängder under sin livscykel.

En första variant av värmedriven (vattenvärmd) torktumlare var den tumlare som utvecklades i ett projekt mellan Miele och Ecofys i Holland under slutet av 1990-talet [52]. Torktumlaren sattes dock inte i produktion, men en av dessa prototyper användes senare i Fjärrvärmehuset i Göteborg [54].

I ett samarbete mellan ASKO Appliances AB, Karlstads universitet och bostadsbolaget KBAB, utvecklades och installerades en kondensumlare i en av Karlstad Bostads ABs tvättstugor [22, 42], se Figur 2.7. Torktumlaren, eller fastighetstumlaren som benämningen var, installerades i en befintlig tvättstuga och anslöts värmetekniskt till fastighetens värmepumpsystem. En prototyp av självrensande luddfilter tillverkades och installerades i torktumlaren. Luddfiltret visade sig vara en framgångsrik konstruktion och den är numera patenterad. Prototypen fungerade bra i alla delar men en del luftläckage försämrade energiprestanda [48].



Figur 2.7. Förenklad figur av fastighetstumlaren. Siffrorna representerar mätpunkter av temperaturer.

Torktiden för en konsumentlast i denna tumlare (Figur 2.7) var ca 2 timmar. Elenergibehovet reduceras med cirka 65 % när kyl- och värmebatterierna var inkopplade [22, 42]. Fastigheten har två tvättstugor som förutom fastighetstumlaren är identiska. Den tvättstuga som hade fastighetstumlaren installerad bokades först. Detta är ett positivt tecken på vad de boende tyckte om fastighetstumlaren. I en enkätundersökning som genomfördes framkom att torkkvaliteten är det viktigaste för hyresgästerna. När vi försöker förstå vad torkkvalitet innebär tolkar vi enkäten som att torktid och

enkelhet i rengöring av filter är det viktigaste vid sidan om att tvätten verkligen blir torr utan att kläderna förstörs. Ovanstående arbete är delfinansierat av Energimyndigheten och finns redovisat mer utförligt i rapporten ”Utveckling av energieffektivare kondensumlare för en- och flerfamiljshus” [22].

Vanligen använder kondensumularen rumsluften för att kyla processluften och därmed åstadkomma en kondensering av den recirkulerande luften. Rumstemperaturen sätter därmed temperaturnivån för vid vilken temperatur som torkluften kan kondensera. Normalt så är torktemperaturen i kondensumulare därför högre än i frånluftstumlare. De kondensumulare som finns på marknaden som använder rumsluft i kondensorn har högre drifttemperaturer än frånluftstumlarna. I en värmevattentillämpning bör processtemperaturen hållas så låg som möjligt. Frånluftstumlaren är därför ett bättre teknikval. Frånluftstumlaren är enklare och ger inte problem med igensättningar med ludd i värmebatterierna. Detta tillsammans med ett kostsamt värme- och kylvattensystem medförde att den teknik som användes i fastighetstumlaren [22] inte bedömdes aktuellt för torkumlare avsedda för hushållen, trots det lyckade fälttestet och att det tagits fram ett fungerande luddfilter. Det fortsatta arbetet inriktade sig därför på frånluftstumlaren. En frånluftstumlare är till sin uppbyggnad väsentligt mycket enklare och så är frånluftstumlaren väl lämpad för torkning med låga vattentemperaturer.

2.3.2 Inledande försök med kapacitetstester

En första försöksserie inom detta projekt utfördes på Askos gamla plattform. Fokus var att studera torkkapaciteten vid låga värmevattentemperaturer genom att mäta torktid vid olika laster. Några energimätningar utfördes inte. I försöken användes 4,00 kg torr tvätt som sköljdes och centrifugerades i 1200rpm. Efter centrifugeringen vägde tvätten 6,60 kg således 2,60 kg vatten som skulle torkas bort för att nå samma grundfuktighet som i utgångspunkten. Värmevattenflödet i första försöket var 360 g/min. Värmevattentemperaturen var i alla försöken 60°C, tumlaren startades samtidigt som värmevattenflödet slogs på.

Rummet var på 10 m² och ventilerades med 70 m³/h. Efter 2,5 timmar öppnades tumlaren. Tvätten togs ut och vägdes för att sedan sluttorkas i tumlaren. Restfukten var då 540 g. Torkresultatet var inte acceptabelt. Kläderna var kalla och fuktiga. Efter totalt 3,5 timmar var restfukten 240 g. Kläderna var ljumna och upplevdes skapligt torra. Rummet upplevdes inte varmt men däremot lite fuktigt. Ingen kondens förekom på treglasfönstren vid utetemperaturen 0°C.

Till försöksserie 3 förvärmades värmebatteriet så att varm luft erhålls direkt vid starten. Värmevattenflödet ökades till 1067 gram/minut. Efter två timmar öppnades torktumlaren, men tvätten var ej nöjaktigt torr. Kondens uppmärksammades på samtliga fönster. Utetemperaturen var fortfarande 0°C. Rummet upplevdes snarare fuktigt än varmt. Efter ytterligare 30 minuter öppnades torken åter. Tvätten kändes varm och torr och vägdes därför. Restfukten var 160 gram.

Till försöksserie 3 förvärmades värmebatteriet så att varm luft erhålls direkt vid starten. Elbatteriet som i flödesriktningen är placerat efter vattenvärmeväxlaren är på 2 kW. Värmevattenflödet var 260 gram/minut. Efter 60 minuter öppnades torktumlaren. Kläderna kändes varma och torra och restfukten var 60 gram. Kondens uppmärksammades på samtliga fönster i lokalen. Utetemperatur denna dag var +6°C. Rummet upplevdes varmt men inte så fuktigt. Efter ytterligare 60 minuter hade kondensen på fönstren försvunnit.

Två viktiga slutsatser drogs efter denna inledande studie av frånluftstumlaren:

- Den gamla plattformen ger inte nöjaktiga torktider. För att få kortare torktider måste antingen en ny plattform tas fram som har ett större torkluftflöde än den gamla, eller också måste värmevattentemperaturen vara högre.
- En vattenvärmd torktumlare värmer inte rummet som en elektriskt värmd torktumlare gör. Det medför att det så snart som möjligt bör utredas om det finns risk för kondensbildning under stora delar av torkförloppet. Kondensen på fönstren gav viss anledning till oro trots att det rörde sig om gamla treglasfönster från 1993 med ett UA värde på ca 2 W/(m²·°C).

2.3.3 Provning av torkkapacitet och fuktbelastning

Syftet med denna delstudie var att studera om fuktavgivningen ställer till med några problem i en liten lokal och hur mycket torkkapaciteten kan ökas med ökat luftflöde. Några energimätningar utfördes inte. En modifierad standardfrånluftstumlare från ASKO användes i försöken. Modifieringen syftade till att öka processluftflödet. I sitt standardutförande har standardmaskinen ett fläkthjul som har diametern 108 mm. Detta byttes ut mot ett fläkthjul med diametern 120 mm. Två olika program kördes. I det ena programmet används enbart värmevatten och i det andra både värmevatten och ett elbatteri. På så sätt erhålls en mycket snabb torkning för det andra driftaltet.

Försöken där processluften enbart värms av värmevatten pågick i tre timmar, då detta antas vara den längsta tid som en konsument tycker att torkningen får ta. Försöken har utförts i en lokal med golvytan 9 m² och lokalen har två ytterväggar med fönster om ca 3 m² räknat som karmyttermått. Fönstren är av treglastyp, byggnaden är uppförd 1993. Frånluftsflödet har justerats in till 70 m³/h med hjälp av en stofsörsedd anemometer. Temperaturen utomhus var -4 till -7°C under försöksperioden.

Värmevattenflödet har simulerats genom att tappvarmvattnet har värmts i en elektrisk varmvattenberedare. Denna har ett högttemperaturskydd på 64°C som skall förhindra skållning. Detta skydd ville vi av säkerhetsskäl inte plocka bort.

Försöken genomfördes med 3,51 kg torr tvätt. Tvättlastens storlek syftade till att efterlikna en stor konsumentlast. Någon konditionering har inte genomförts av tvättlasten. Försöken kan således enbart jämföras med varandra. Lasten sköljdes och centrifugerades i 1200 rpm. Vägningen genomfördes på en våg med noggrannheten ±10 gram. Medeltemperaturen på värmevattnets framledning var vid dessa försök 64°C och returvattentemperaturen ca 56°C. Luften värmdes i försöken till i medeltal nära

56°C. Värmevattenflödet var i medeltal 0,9 kg/minut. I samtliga försök användes torktumlarens eget ”normalprogram”.

De tre första försöken gav torr tvätt. En konsument skulle vara nöjd. Den fjärde och sista lasten var fortfarande alltför fuktig. I det sista försöket var framledningstemperaturen på värmevattnet 59°C, med samma värmevattenflöde som tidigare. Temperatursänkningen av värmevattnet är troligen orsaken till det försämrade torkresultatet.

Styrningsmässigt är slutsatsen från försöken att grundstrukturen i styrningen för normaltorr kan användas oavsett uppvärmning. Korrigeringar för ändrat processluftflöde måste dock göras i de torktumlare som utvecklas.

I samtliga försök var det lätt kondens på fönstren i inledningen av varje försök. Kondensen försvann dock under försöken eller strax därefter. Temperaturdifferensen mellan inkommande värmevatten och utgående lufttemperatur var 8-12°C i försöken med det 120 mm stora fläkthjulet och 3-6°C i de tidigare försöken med det 108 mm stora fläkthjulet. Detta tolkas som att värmeväxlaren passade bättre för det lägre luftflödet och att den testade värmeväxlaren är underdimensionerad för det större fläkthjulet. I de maskiner som utvecklas behöver värmeväxlaren av allt att döma ge högre lufttemperatur vid en given inkommande temperatur på värmevattnet. Detta kommer att vara nödvändigt för funktionen.

För att minska kondensationsrisken i nybyggda lägenheter kan vi rekommendera att ventilationsfrånluftsflödet är minst 70 m³/h i de fastigheter där torktumslaren skall installeras. Alternativt rekommenderas fuktkännare och variabelt ventilationsflöde. Vidare skall fönster med låga U-värden (mindre än 0,9 W/(m²·°C)) användas i tvättstugorna.

Med ett energisparprogram med enbart värmevatten blir en ovanligt stor konsumentvärt torr på mindre än 3 timmar med värmedrift och med ett snabbtorkprogram med både värme och el blir tvätten torr på mindre än 50 minuter. Energisparprogrammet tar 80 % av energin från värmevattnet och kräver endast 0,3 kWh el. Detta är ett oväntat bra resultat.

2.3.4 Värmevattentemperaturens betydelse

Torktumslaren måste fungera med olika temperaturnivåer på värmevattnet. Om inte styrsystemet har en algoritm för olika värmevattentemperaturer och variationer i värmevattentemperatur så har simuleringar visat att detta kan vara kritisk för klädernas torrhet vid avslutat program. Det finns dock på förhand inget som antyder att torktumslarens funktion är avhängig en hög värmevattentemperatur men givetvis tar torkningen längre tid med en ökad elanvändning för fläkt och trumma som följd om värmevattentemperaturen är låg. I denna delstudie har värmevattentemperaturens inverkan kvantifierats genom praktiska försök.

Tre olika torklaster förbereddes. De konditionerades i tumslaren med enbart rumsluft vid 22°C och 30 % relativ fuktighet och lämnades sedan i rummet över natten. De vikter vi fick fram var 511 g för den lättaste som kallas 0,5. 1508 g för medellasten

beteckning 1,5 och 3513 för den största lasten med beteckningen 3,5. Dessa laster var tänkta att motsvara tre vanliga konsumentlaster.

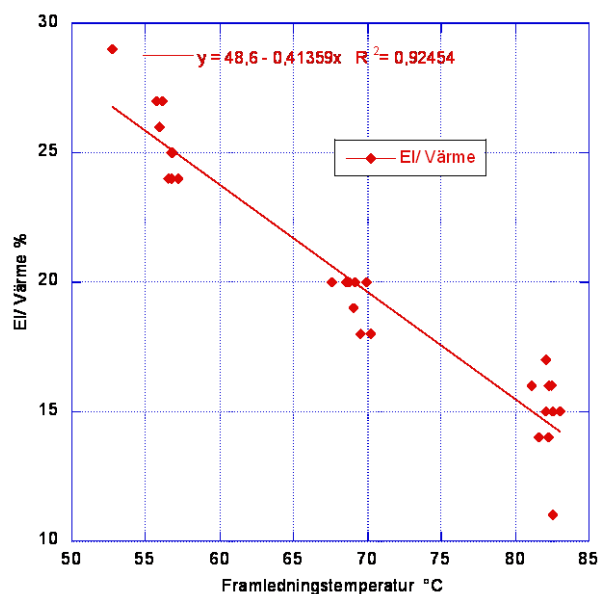


Figur 2.8. En sju kilo stor torklast med en torktumlare i bakgrunden.

Försök genomfördes med tre olika framledningstemperaturer; en låg 55°C, en mellantemperatur 67,5°C och en hög temperatur på 80°C. Fram- och returledningstemperaturerna mättes med PT100 givare. Flödet justerades till 1 liter per minut för alla försök och flödet mättes med en rotameter. Energitillförseln från värmekretsen beräknades utifrån uppmätt medieflöde och uppmätta temperaturer.

Totalt genomfördes nio försök, tre på vardera temperaturnivån, 55, 70 och 82°C. Således totalt 27 försök. Torklasten konditionerades genom 15 minuters sköljprogram och centrifugerades i 1200 rpm.

Efter torkningen vägdes lasten. Det är svårt att pricka torkningen exakt. För godkända resultat antogs vikten inte få avvika mer än 2 %. Viktintervall efter torkning för godkända försök blir då $501 < 511 < 521$, $1478 < 1508 < 1538$, $3443 < 3513 < 3583$.



Figur 2.9. Andelen el i förhållande till andelen värmevatten vid olika framledningstemperaturer på värmevattnet för torktumlaren.

Specifik energianvändning för att torka tvätten i [kJ/kg] är den enhet som används vid energiklassningen av torktumlare. Den totala specifika energianvändningen ökar med minskande tvättlast [47]. Tillverkarna vill givetvis ha ett så bra betyg som möjligt och det åstadkommer man genom att ha väldigt stora laster i torktumlaren. Det är laster som man till vardags aldrig skulle drömma om att packa in i en tumlare. Sju kg last är en rätt vanlig last som används för klassningen. Hur mycket det är åskådliggörs i Figur 2.8. Att få in en så stor last kräver en väl utarbetad teknik och en god portion tålamod.

Det är därför överraskande att vi lyckats överträffa A klassningen och ha en lägre total energianvändning än 0,51 kWh/kg tvätt för laster som testats här på 3,5 kg. Den lägsta totala specifika energianvändningen får man konsekvent vid de lägsta värmevattentemperaturerna, här 55°C. De högsta värdena fås konsekvent vid de högsta värmevattentemperaturerna. Orsaken till detta är att de konvektiva värmeförlusterna minskar vid lägre framledningstemperaturer, samt att torkningen tar längre tid. Man kan säga att graden av självtorkning i rummet ökar. I försöken är andelen el aldrig större än 30 %.

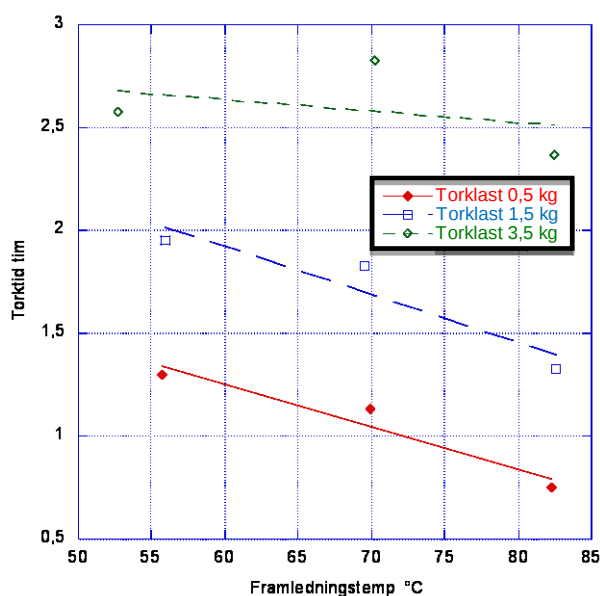
För att få en uppfattning om hur mycket lasten påverkar resultatet i detta avseende kan man jämföra 0,5 kg lasten (1,4 kWh/kg) med 1,5 kg (0,8 kWh/kg) och 3,5 kg (0,4 kWh/kg). En last på 7 kg kommer utan tvekan att överträffa energiklass A, även vid värmevattentemperaturer på 85°C.

I konsumentstudier som vitvarutillverkarna genomfört visar det sig att vid sidan av det faktiska torkresultatet, d.v.s. att tvätten blir torr varje gång med det styrprogram man använder, så är torktiden och torkresultatet viktiga parametrar för kundnöjdheten.

Det har visat sig vara lättare att åstadkomma en bra styrning av den värmevattenanslutna torktumlaren än en traditionell torktumlare som värmer torkluften med el. Av de totalt 27 försöken som genomförts har i inget fall lasten upplevts fuktig eller övertorr efter avslutad torkning. I medeltal hade vi en övertorkning av 6 g, med en standardavvikelse på 24 g. Man måste då ha klart för sig att en avvikelse på 30 g/kg på torr tvätt inte är ovanlig beroende på väderlek, relativ fuktighet och utetemperatur. Detta är således ett anmärkningsvärt bra resultat med tanke på att det är den första försöksserien för att bestämma styrparametrar och inställningen. Det är vidare anmärkningsvärt att samma styrparametrar fungerar alldeles utmärkt oavsett lastens storlek eller värmeledningsvattnets framledningstemperatur. Efter dessa framgångsrika inledande försök är det rimligt att förutse att det inte skall vara några problem för vitvarutillverkaren att ta fram en fungerande styrning som ger torr tvätt, varje gång.

Vid sidan av att få torr tvätt varje gång så är tiden det tar att torka tvätten, enligt vitvarubranschens egna undersökningar, det som är kritiskt för att konsumenten skall uppleva det som en bra torktumlare. I Figur 2.10 visas torktidens beroende av värmevattnets framledningstemperatur.

Om enbart värmevatten används som värmekälla för torkluften då torkar en konsumentlast på 1.5 kg på mindre än två timmar även om värmevattentemperaturen är så låg som 55°C. Detta bör vara en acceptabel torktid i de flesta hushåll eftersom tvättprogrammen ofta tar två timmar. Men, i den modell som senare tillverkas kommer, värmeväxlaren vara bättre och luftflödet större. Sammantaget medför detta att man kan förvänta sig torktider på lite mer än en timme för en sådan konsumentlast. Det vore ett överraskande bra resultat.



Figur 2.10. Torktid beroende av värmevattnets framledningstemperatur och torklast. Den största torklasten ger den längsta torktiden vid en given framledningstemperatur.

Trots att detta är inledande försök för att testa den värmevattenanslutna torktumlarens torkkvalitet så hamnade enbart två försök utanför den 2 % gräns som sattes. Båda var med den minsta 0,5 kg lasten. Det är allmänt känt att små laster är svåra att få jämnt torra med ett lätt fuktigt eller övertorr resultat som följd.

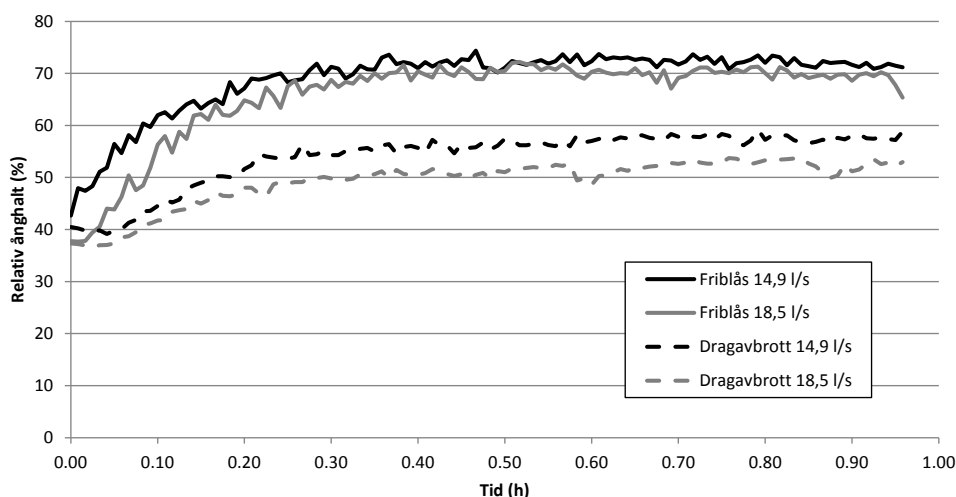
I två av försöken sjönk värmevattenflödet mellan 20 och 30 % under torkningens gång. Detta visade sig inte ha någon betydelse för slutresultatet. Tvätten var torr, utan att vara övertorr vid båda försöken. Det tycks alltså inte finnas någonting som tyder på att mindre variationer av värmevattenflödet skall vara kritiskt för torkkvaliteten.

Det finns heller inget som tyder på att variationer i värmevattentemperaturen skall orsaka några problem att på rimlig tid (under 2 timmar) torka en konsumentlast torr, varje gång, med en lägre total energianvändning än dagens frånluftstumlare och med andra ord överträffa dagens frånluftstumlare.

2.3.5 Studie över fuktproblematiken

Med anledning av att vissa byggföretag varit skeptiska mot att installera evakuerande torktumlare och att de inte haft möjlighet att installera tumlarna med dragavbrott mot ventilationen genomfördes ytterligare en studie (Bilaga 1) där den relativa luftfuktigheten och lufttemperaturen mättes under hela torkcykeln. Fokus var att undersöka skillnaden mellan anslutning med dragavbrott respektive friblåsande tumlare. Dessutom var syftet att undersöka hur komforten upplevdes. Proven genomfördes i en tvättstuga i Göteborg med golvytan 7,6 m² och takhöjden 2,4 m. Taket var av målad spån- eller gipsskiva. Det var lätta innerväggar med våtrumstapet och betonggolv med plastmatta i tvättstugan. Fyra torkkörningar genomfördes under en dag med dörrvädring emellan. Frånluftflödet var ca 14,9 l/s respektive 18,5 l/s.

Torklasten utgjordes av handdukar med en torr vikt av 3,5 kg. Lasten sköljdes och centrifugerades vid 1200 varv per minut innan den torkades i torktumlaren. Torktumlarna kördes enbart på värmevatten med temperaturen 60°C och värmevattenflödet var ca 1,3 l/min (projekterat: 1,6 l/minut).



Figur 2.11. Relativ ånghalt i rummet under första timmen för friblåsande respektive dragavbrottsansluten torktumlare vid två olika frånluftflöden.

En mätning på en hel torkcykel (Figur 1 i Bilaga 1) visar att maximal ånghalt i rummet nås inom en timme och återgår till låga nivåer igen när tvätten börjar bli torr efter ca 1,5 timmar. Luftens relativa ånghalt under första timmen av de olika torkkörningarna redovisas i Figur 2.11. Startånghalten för de olika proven varierar, vilket berodde på ökad duschaktivitet under eftermiddagen och detta försvårar en exaktare utvärdering.

Resultaten visar att en ökning av luftflödet från 14,9 till 18,5 liter per sekund påverkar den relativa ånghalten i rummet med storleksordningen fem procentenheter. Den relativa ånghalten blir ca 15 till 20 procentenheter högre med en friblåsande torktumlare jämfört med anslutning mot dragavbrott. Ökning av frånluftflödet från 14,9 l/s till 18,5 l/s kunde alltså inte fullt ut kompensera för friblåsning istället för anslutning med dragavbrott.

Ingen av deltagarna i mätningen, totalt fem personer upplevde dock klimatet i torkrummet särskilt besvärande i något av försöken, men samtidigt måste påpekas att alla var ”tekniker”. Fuktnivån i lokalen återgår till låga nivåer när tvätten börjar bli torr efter ca 1,5 timmar. Temperaturökningen i rummet vid torkning är liten, jämfört med användning av kondensumlare.

2.3.6 Slutliga provningsresultat

Figur 2.13 visar den slutliga torktumslaren i genomsnitt. Tumslaren är av frånluftstyp. Den totala energianvändningen för den värmevattenanslutna torktumslaren är i samma storleksordning som för den elektriska. Den totala energianvändningen per torkcykel minskar med minskande värmevattentemperatur. Elbesparingen ökar dock med ökande värmevattentemperatur.



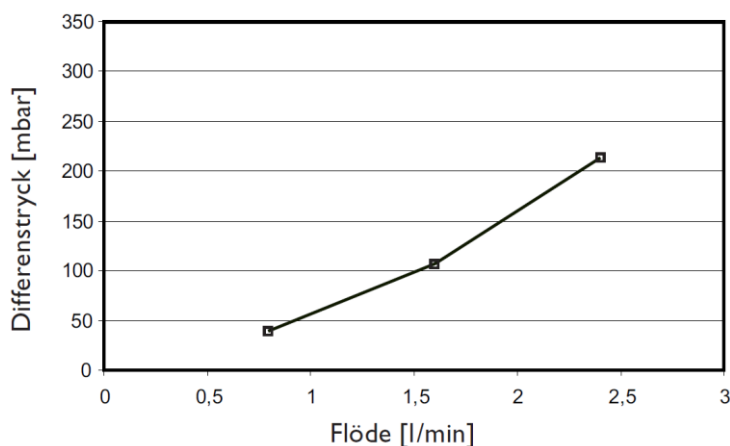
Figur 2.12. Torktumlaren med vatten-luftbatteriet. Bild från Asko Appliances AB [10].

Elbesparingen vid en 7 kg torklast är i storleksordningen 80 % enligt Tabell 2.3 som visar uppmätt elanvändning för energimärkningen. Konsumenten fyller inte så mycket tvätt i torktumlaren. I en konsumentlast ökar elbesparingen i procent per cykel. Värmebehovet bör därmed inte underskattas om värmeanvändningen beräknas utifrån skillnaden i elbehov mellan elanvändning och värmedrift. Uppmätt tryckfall i värmekretsen beroende på värmeflödet redovisas i Figur 2.13.

Tabell 2.3

Provningsresultat för elvärmad torktumlare, respektive motsvarande HWC-torktumlare vid 55, respektive 80 graders framledningstemperatur och värmevattenflödet 1,6 liter per minut enligt ASKO Appliances AB:s genomförda provning för energimärkning. Quick innebär att värmevattenväxlare och elbatteri används parallellt.

Produkt	Programinställning	Elenergianvändning (kWh/cykel)	Värmevattentemperatur (°C)
T784 Standard		3,51	-
T784 HWC	Eco (default)	0,75	55
T784 HWC	Quick	3,18	55
T784 Standard		3,51	-
T784 HWC	Eco (default)	0,45	80
T784 HWC	Quick	2,45	80



Figur 2.13. Uppmätt tryckfall över värmekretsen för torktumlaren som funktion av värmevattenflödet enligt Asko Appliances AB [7].

2.4 Tvättmaskin och torktumlare i fälttest

Fälttesterna förväntades ge drifterfarenheter och värden på elbesparing under praktisk drift i fält. Genom att mäta total elanvändning och antalet disk/tvättcykler under en månad med normal fjärrvärmedrift och sedan stänga av värmevattencirkulationen och låta maskinerna enbart använda elvärme under efterföljande månad skulle elbesparingen per cykel kunna beräknas.

I tvättstugan i Göteborg var maskinerna kopplade till en sekundärvärmekrets med en framledningstemperatur på ca 60°C. Flödet kontrollerades för en av torktumlarna och var då ca 1,3 l/minut, alltså något lägre än önskat 1,6 l/minut. Eftersom tryckfallet över tvättmaskinen är snarlikt (Figur 5.3) kan flödet antas vara likvärdigt för tvättmaskinerna. I Västerås kopplades maskinerna till den befintliga VVC-kretsen med en temperatur på ca 55-60°C och för att uppnå tillräckligt flöde installerades också en cirkulationspump i anslutning till maskinerna.

Ett av problemen visade sig vara att antalet cykler per månad i många fall var färre än 10 stycken och att standby-el på ca 2 W ger ca 1,5 kWh per månad. Med bara 10 cykler med liten tvätt- och torklast och en uppmätt elbesparing på ca 0,25 kWh/cykel uppgår standbyförbrukningen till mer än 50 % av elbesparingen. Det betyder att om maskinen står olika länge i standby-läge per cykel, så blir resultaten missvisande. De resultat som presenteras i Tabell 2.4 är alltså mycket osäkra och går inte att dra några säkra slutsatser från mätresultaten. Vi väljer ändå att publicera mätdata som en utgångspunkt för att diskutera mätproblematiken och då bättre kunna undvika de problem som uppdagats här i framtida utvärderingsprojekt.

Problemen med hög standby-el och få cykler var inte de enda problemen som konstaterades under mätningarna. I värmedistributionssystemet i Göteborg upptäcktes att det fanns en liten läcka någonstans, vilket kan ha orsakat luft i systemet och periodvisa flödesbortfall under mätperioden. I Västerås upptäcktes att vissa energimätare

plötsligt visade lägre värden än vid tidigare avläsning. Mätarna visade fortfarande tidsräkning från installationstillfället, så det troligaste är att någon nollställt mätarna av misstag. Därav den relativt korta mätperioden i Västerås.

Beträffande torktumlaren varierar torktiden kraftigt beroende på laststorlek och ibland kan torkcykeln avbrytas i förtid, vilket gör att det krävs många cykler för att få ett bra statistiskt underlag. Användningsfrekvensen för torktumlarna var ännu lägre än för tvättmaskinerna. I fortsatta mätningar måste cykeltiden mätas på samma sätt som gjordes för torkskåpet (se avsnitt 2.5 på sidan 39).

Dessutom saknades utförliga instruktioner på maskinerna om vilka program som bör köras för att maximera fjärrvärmeutnyttjandet. Det finns alltså en risk att snabbprogram som använder både el och fjärrvärme parallellt har använts oavsiktligt. Maskinen fortsätter att använda det senast valda programmet tills någon ändrar det.

Tabell 2.4

Uppmätt elenergiebesparing med värmekretsen inkopplad i jämförelse med enbart elvärme för tvättmaskiner (TM) och torktumlare (TT) under verklig drift i energibolagens omklädningsrum. Max standby-el är beräknad utifrån att maskinen står i standby-läge på 2,5W under hela driftperioden. Data är sammanställda från två perioder med värmedrift och två perioder med eldrift. I Göteborg finns osäkerheter kring om värmecirkulationen fungerat tillfredsställande under hela mätperioden.

Göteborg

	Värmedrift				Eldrift				Besparing per cykel (kWh/cykel)
	Antal cykler	Elbehov standby-el	max standby-el	Elbehov per cykel	Antal cykler	Elbehov standby-el	max standby-el	Elbehov per cykel	
	(st)	(kWh)	(kWh)	(kWh/cykel)	(st)	(kWh)	(kWh)	(kWh/cykel)	
TM1	8	4,5	1,3	0,56	6	4,7	1,8	0,79	0,22 ¹⁾
TM2	200	107,1	13,0	0,54	58	39,7	2,9	0,69	0,15 ²⁾
TM3	242	102,9	13,0	0,43	54	36,8	2,9	0,68	0,26 ²⁾
TT1	94	78,0	13,0	0,83	11	14,6	2,9	1,32	0,49 ²⁾
TT2	5	4,9	1,3	0,99	8	9,8	1,8	1,23	0,24 ¹⁾

Västerås

	Värmedrift				Eldrift				Besparing per cykel (kWh/cykel)
	Antal cykler	Elbehov standby-el	max standby-el	Elbehov per cykel	Antal cykler	Elbehov standby-el	max standby-el	Elbehov per cykel	
	(st)	(kWh)	(kWh)	(kWh/cykel)	(st)	(kWh)	(kWh)	(kWh/cykel)	
TM1	44	18,0	3,9	0,41	29	19,0	3,1	0,65	0,25
TM2	11	4,5	3,9	0,41	23	16,4	3,1	0,71	0,31 ¹⁾
TT1	21	6,9	3,9	0,33	25	15,3	3,1	0,61	0,28
TT2	4	1,5	3,9	0,37	10	6,0	3,1	0,60	0,23 ¹⁾

¹⁾Resultaten baseras på färre än 12 cykler och är mycket osäkra.

²⁾Under perioden med värmedrift kan det ha funnits störningar i värmedistributionen beroende på läckage och luft i systemet.

Resultaten i Tabell 2.4 visar generellt på en ganska låg elbesparing jämfört med den förväntade besparingen som uppmätts i laboratoriemätningarna (Tabell 4.8 på sidan 77). Ignoreras resultaten som innefattar färre än tio cykler per utvärderingsperiod är elbesparingen per cykel för tvättmaskinen mellan 0,15 och 0,31 kWh/cykel och mellan 0,28 och 0,49 kWh/cykel för torktumlaren. Detta är lägre än förväntat och det kan bl.a. bero på de osäkerheter som diskuteras ovan. Dock är ofta konsumentlaster mindre än de laster som maskinerna provas med ofta tvättas vid 40 grader. I tvättstugor som denna tvättas och torkas troligen endast ett fåtal plagg åt gången.

Körs tvättmaskinen på 40 graders program istället för 60 grader, blir energianvändningen för uppvärmning per cykel lägre. Enligt Persson [38] endast ca 0,35 kWh/cykel jämfört med ca 0,85 kWh på ett 60-graders tvättprogram. Kompenserar man sedan för mindre tvättlast är energianvändningen för uppvärmning på endast ca 0,2-0,3 kWh per cykel möjligt. Besparing lägre än 0,2 kWh per cykel signalerar dock att något är fel i dessa resultat. Även den höga elanvändningen per cykel vid värmedrift är anmärkningsvärd. Denna mätmetod som bygger på energimätning är alltså inte tillämpbar om man vill veta varför energianvändningen är som den är. Då måste både eleffekt och värmeeffekt i vattenkretsen mätas kontinuerligt.

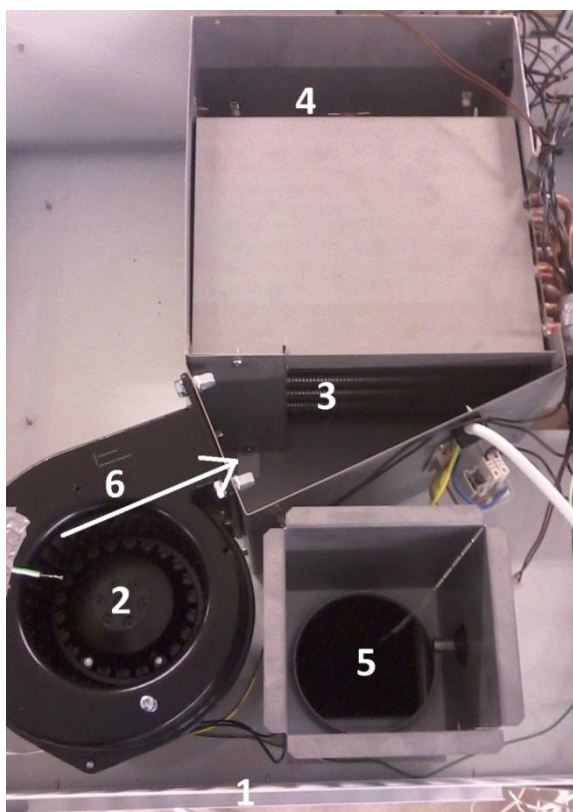
För torktumlaren är elbesparingen oförklarligt låg, samtidigt som elanvändningen vid värmedrift är ganska hög (Jämför Tabell 2.4 med Tabell 4.8 på sidan 77). Förväntad andel elanvändning för torktumlaren i värmedrift är ca 25 %, men andelen el är betydligt högre än så i de flesta av resultaten i fält. Elanvändning i standby-läge kan vara en förklaring. Vi kan inte heller avgöra om rätt program körts under provningen. Om ”eco-programmet” körs under eldriftperioden går maskinen helt utan uppvärmning och maskinen förbrukar då enbart el till elmotorn och torkeffekten blir mycket dålig. Om maskinen körs på snabbprogrammet under perioden med värmedrift, är även elementet i drift, vilket ger onödigt hög elanvändning.

Sammanfattningsvis kan vi alltså konstatera att den mycket låga användningsfrekvensen tillsammans med osäkerhet kring standby-el och vilka program som körts, om värmecirkulationen sviktat, samt att torktumlarens drifttid per cykel kan variera högst avsevärt gör att det vetenskapliga värdet av mätningarna är lågt och att inga slutsatser kan dras.

Det behövs alltså fler mätningar, helst i lägenheter och i småhus, som utgör den huvudsakliga målgruppen för maskinerna. Den använda mätmetoden mäter i bästa fall verklig elbesparing, men för att kunna tolka och förstå mätdata och skaffa sig erfarenheter om den verkliga driften behöver drifttid och även eleffekt och värmeflutet loggas kontinuerligt. För torktumlaren kan det räcka att mäta drifttid, om man kan säkerställa att brukaren använder rätt program under provperioden. Ytterligare mätningar med en förbättrad mätmetod på maskiner som är placerade i bostäder behöver alltså göras i kommande projekt.

2.5 Torkskåp

Torkskåpet utvecklades ganska sent under projektperioden, eftersom nya samarbetsavtal mellan ASKO och Nimo först skulle etableras. Det är alltså Nimo i Hova som tillsammans med Karlstads universitet står för utveckling och tillverkning av torkskåpen, medan ASKO tillhandahåller styrelektroniken. Den första prototypen som utvecklades skickades till Karlstads universitet för provkörning och framtagning av preliminära styralgoritmer som användes i de maskiner som senare skulle provas i ett fritidshem i Västerås. Detta arbete redovisas i Bilaga 2.



Figur 2.14. Översiktsbild av aggregatet i torkskåpet. 1. Insugsgaller 2. Fläkt 3. Värmeväxlare 4. Elvärmare 5. Frånluftshål 6. Luftens flödesriktning. Luften sugas in radiellt i fläkten och blåser ut axiellt vidare in i aggregatet. Bild: Robin Johansson.

Figur 2.14 visar teknikutrymmet i torkskåpet som är placerat i aggregatets överdel. Luftens väg genom aggregatet startar vid intagsgallret (1) som sitter längs med hela aggregatets baksida. Härnäst i luftens flödesriktning sitter en radialfläkt med eleffekten 80W. Fläkten suger luft från rummet för att sedan trycka den vidare in i aggregatet förbi värmeväxlare, elvärmare och ned i torkskåpet. Värmeväxlaren är av kamflänstyp med rör i koppar och flänsar i aluminium. Den ena gavelns rör är inbyggda i värmeväxlaren medan den andra sidan var oskyddad för omgivningen. Luften passe-

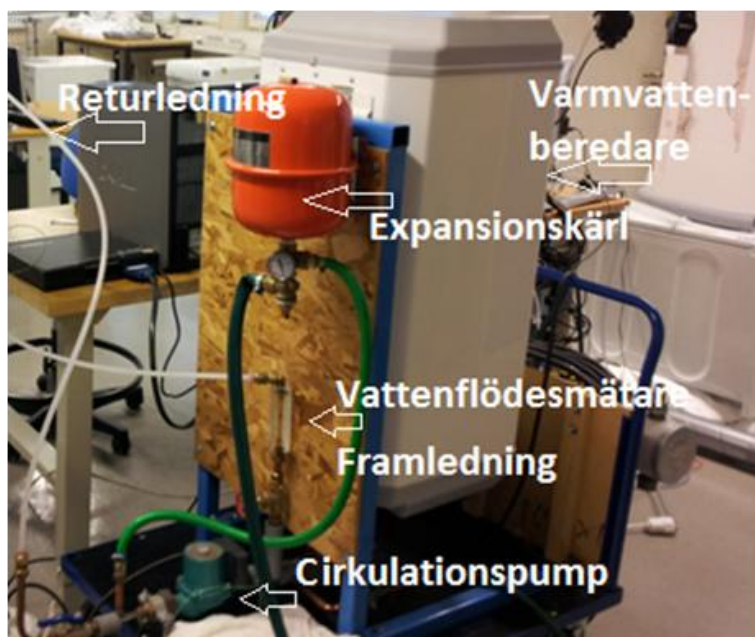
rar elvärmaren, som vid val av snabbt torkprogram kan värma den genomströmmande luften ytterligare efter vatten-luft batteriet.

I det första steget uppmättes värmevattentemperaturer, rumstemperaturer och värmevattenflöden i Västerås. Detta kallar vi driftbetingelser. Syftet med detta är att veta kapaciteten i Västerås för att kunna knyta den mot eventuella synpunkter vi får från personalen. I det andra steget gjordes mätningar under andra driftbetingelser för att bestämma torkkapacitet och torktid under andra förutsättningar. Vanligtvis är den elektriska effekten i torkskåpen från leverantören 1200 W. I detta skåp hade ett värmeelement på 2000W installerats. Jämförande tester gjordes även med traslast i det elektriskt uppvärmda skåpet.

För fälttestmätningarna användes till att börja med (oktober till januari) enkla energimätare. I den sista perioden (januari till februari) användes datalogger (Mitec AT40g) med tillkopplade strömmätare (HIOKI 9010) för drifttidsmätning, Testo 925 för temperaturmätning samt ultraljudsmätare Mitec för vattenflödesmätning. Vattenflödesmätningen genomfördes enbart under en dag och flödet antogs vara konstant under mätperioden.

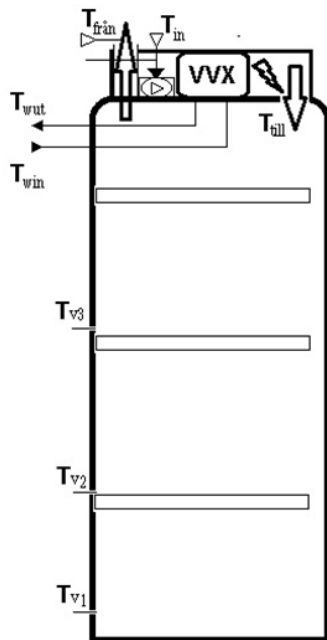
2.5.1 Laboratieprovning vid Karlstads Universitet

Mätningar under samma driftbetingelser med kompletterande temperaturmätningar inne i torkskåpet gjordes också i labb vid Karlstads Universitet. Det vattenvärmda torkskåpets torkkapacitet, torktid, torkkvalitet, elanvändning och värmevattenanvändning uppmättes.



Figur 2.15. Kringutrustning för distribution av värmevatten till torkskåpet.

För laboratoriemätningarna i Karlstad distribuerades varmvattnet i ett cirkulerande system där uppvärmningen av vattnet gjordes i en varmvattenberedare, se Figur 2.15. Vattenflödet ställdes in efter det uppmätta värdet från fälttestet för samtliga körningar. Samtliga framledningstemperaturer ställdes in på varmvattenberedarens termostat mot bestämda värden vid temperaturmätningen i anslutningen till värmeväxlaren där temperaturgivaren var placerad. Vattenflödet ställdes in med en skruvventil. Vid inkoppling av värmeväxlare så ska den kopplas i motström, eftersom den då ger bäst värmeöverföring. Värmeväxlaren på torkskåpet var vid leverans kopplad medströms. Omkoppling skedde så att växlaren gick i motström. Detta påtalades leverantören för att undvika samma misstag i framtiden.



Figur 2.16. Temperaturgivarnas positionering i torkskåpet. $T_{w\ in}$ och $T_{w\ ut}$ placerades på vattenkretsens fram- och returledning i direkt anslutning till värmeväxlaren och mätte värmeväxlarens in- och utgående vattentemperatur. T_{in} monterades på fläktens sug sida och mätte aggregatets ingående lufttemperatur. T_{till} placerades efter värmeväxlare (vvx) och elvärmare (blixtsymbol) och mätte aggregatets utgående lufttemperatur - skåpets tilluftstemperatur. T_{v1} , T_{v2} , och T_{v3} satt inne i skåpet och mätte temperaturerna på våningarna 1, 2 och 3. $T_{från}$ placerades i skåpets hål för utblås och mätte frånluftstemperaturen. Bild: Robin Johansson.

Temperaturmätning genomfördes på åtta olika ställen i skåpet (se Figur 2.16). Torkskåpet var utrustat med en varmvattenvärmeväxlare och kompletterande elvärmare. Värmeväxlarens temperatur på vattensidan loggades genom att placera givare, $T_{w\ in}$ och $T_{w\ ut}$, på varmvattenskretsens fram- och returledningsrör. Givarna monterades i direkt anslutning till värmeväxlaren. Runt givarna sattes isolering för att minska temperaturpåverkan från omgivningen. På värmeväxlarens luftsida placerades en givare vid fläktens insug, T_{in} , för att mäta aggregatets ingående lufttemperatur, och en givare efter luften passerat aggregatet, T_{till} , för att mäta skåpets tilluftstemperatur. Se Figur

2.16. För att mäta våningstemperaturer placerades temperaturgivarna T_{v1} , T_{v2} , och T_{v3} i skåpet. Vid skåpets hål för utblås placerades $T_{från}$ för att mäta frånluftstemperaturen. Ytterligare en givare används för mätning av rumstemperatur, T_{rum} .

Laboratiemätningar i Karlstad genomfördes med två olika laster, en traditionell traslast bestående av 34 trasbitar och en last bestående av sju vinteroveraller, se Figur 2.17. Bomullstrasor hade en torrvikt av 3425 gram och dagislasten bestående av 7 stycken vinteroveraller vägde 5582 gram. Torrlasterna hade legat i universitetets labb. Där är temperaturen vintertid är ca 21°C och relativa fuktigheten 30 %. Torrvikterna är inte konditionerade.

Innan textilerna hängs in i torkskåpet fuktas de genom att köras i tvättmaskin på sköljprogram och centrifugeras därefter. Traslasten centrifugerades på 1600 rpm och dagislasten på 600 rpm. Dessa program gav i genomsnitt en fukthalt på 50 % respektive 20-30%. Impregneringen i overallerna fungerade fortfarande vilket försvårade uppfuktningen. För att väga torr och fuktig last användes en våg av märket Radvag (WLC12/30/C1/K) med noggrannheten $\pm 0,2$ gram.



Figur 2.17. Till vänster: dagislasten inhängd i torkskåpet, till höger traslasten. Foto: Robin Johansson.

Lasterna antas ha den fukthalt de hade vid vägning vid start av torkskåpet. Ingen fukt antas alltså ha förångats innan torkskåpet startas. Det beräknade värdet för luftflödet vid energibalanserna är direkt beroende av effekten över värmeväxlaren temperaturerna varierade med ca $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Ett medelvärde på flödet från de olika balanserna har använts. Luftens tillförda värmeeffekt beräknas utifrån lufttemperaturen före och efter värmeväxlaren. Värmeväxlaren antas vara ideal, d.v.s. att all energi som avges från den varma sidan upptas av den kalla. Vidare antogs all luft passera värmeväxlaren. Samtliga förutsättningar antas gälla både vid värme- och massbalanserna.

Körningar med traslast gjordes med tre olika värmevattentemperaturer och en med eldrift. För varje driftfall genomfördes tre försök. Totalt genomfördes således tolv försök med traslast.

Dagislasten testas i sex försök. Två körningar görs med 50 gradig framlednings-temperatur och tre körningar görs med 80°C. En mätare för relativ fukthalt har inför dessa körningar fästs vid frånluftsutblåset Torkskåpet stoppas för kontroll då den relativa fukthalten vid frånluftsutblåset nått ett förutbestämt värde samt när från-luftstemperaturen nått 90 % av värdet vid tom körning av torkskåpet.

Tidigare studier indikerar att man kan avgöra när textilerna i torkskåpet är torra genom frånluftens temperatur. För varje värmevattentemperatur och last sattes ett ungefärligt värde som tillsammans med tiden som lasten torkat användes som rikt-värde på torrheten. När värdet uppnått öppnas torkskåpet för kontroll. Detta syns som en dipp i temperaturkurvorna. Någon algoritm för temperaturreglering togs inte fram.

Om textilerna anses vara torra tas de ut och vägs våningsvis. För att fastställa de konvektiva förlusterna gjordes tomkörningar av skåpet med en känd tillförd värme-mängd. Temperaturen mättes i skåpet och en medeltemperatur och ett UA värde be-räknades.

Förutom energianvändning, el och värme är tidsåtgången viktiga prestanda-parametrar. Förutom dessa så används begreppen fuktkvot, $SMER_{tot}$, $SMER_{el}$ och konverteringsgrad. Med begreppet fuktkvot menas andelen vatten i förhållande till andelen torr last. Med begreppet $SMER_{tot}$ avses hur mycket fukt som torkats från textilerna per tillsatt total energimängd el och i förekommande fall värmeenergi. Uttrycket ger ett mått på hur energieffektiv processen är. Med begreppet $SMER_{el}$ avses hur mycket fukt som torkats från textilerna per elbaserad energimängd.

$$SMER_{tot} = \frac{M_{blöt vikt} - M_{torkad vikt}}{Q_{fläkt} + Q_{värmekälla}} \quad (2.1)$$

$$SMER_{el} = \frac{M_{blöt vikt} - M_{torkad vikt}}{Q_{fläkt}} \quad (2.2)$$

Ekvation 2.3 är den definition som används för elkonverteringsgraden, d.v.s. hur stor del elenergi som ersatts med annat energislag.

$$K_{energi} = 1 - \frac{Q_{fläkt}}{Q_{vux}} \quad (2.3)$$

De framledningstemperaturer som undersöks är 50°C och 80°C. Framledningstempe-raturen justeras på varmvattenberedaren tills givaren på värmväxlarens framledning visar 50°C respektive 80°C. För att undersöka hur skåpet fungerade med el som vär-mekälla istället för varmvatten stängdes värmevattnet av helt.

Under samtliga körningar mättes temperaturerna med trådgivare, av typen K, via 8 kanaler. Mätningarna gjordes i syfte att se temperaturen på insugsluften och tilluften i aggregatet, fram och returlledning till vattenvärmväxlaren samt temperaturfördel-

ningen i skåpet. Alla temperaturgivare kopplades till mätprogrammet Lab View. Mätdata sparades sedan i Excel-filer för vidare beräkningar och utvärdering av mätdata.

2.5.2 Fältprovning på daghem i Västerås

Fälttester genomfördes på två värmedrivna torkskåp på ett fritidshem/förskola i Västerås (Figur 2.18). Användningen av torkskåpen startade den 15:e oktober och avslutades 25:e februari, således dryga fyra månader. Parallellt genomfördes mer detaljerade mätningar i laboratorium i Karlstad (se avsnitt 2.5.1) på ett identiskt skåp.

Användandet vid fritidshemmet/förskolan i Västerås mättes under perioden 15:e oktober till den 25 februari. För att mäta energianvändningen sattes en elenergimätare på båda skåpen. Till att börja med registrerades enbart elenergitillförseln till skåpen med denna enkla energimätare. Tanken var att all el-energi efter kompensation för manöverpanelens stand-by förbrukning gick till fläkten vars effekt hade uppmätts till 70 Watt. Denna princip användes fram till den 23:e januari. Osäkerheter kring standby förbrukningen medförde att elanvändningen för fläkten registrerades separat fram till den 25:e februari. För att registrera hur lång tid det gick mellan det att skåpen startades om så användes manöverpanelens eget räkneverk med registreringar.

Perioden 15:e januari till 25:e februari kompletterades elmätarna med en datalogger som registrerade när eller hur länge torkskåpets fläkt var påslagen. Varje gång torkskåpets dörr öppnades så stannade skåpet och måste sedan startas om. Därmed kunde antalet omstarter räknas och en driftcykeltid beräknas. Risken att installationen skulle generera korta driftcykeltider var huvudorsaken till att tidsstyrning valdes för dessa skåp. Framledningstemperaturen i Västerås visade sig vara 64,5°C och vattenflödet genom vardera värmeväxlaren i skåpen var 1,7 liter/minut.



Figur 2.18. De två värmedrivna skåpen tillsammans med ett tredje elvärm torkskåp som inte kördes.

2.5.3 Mätresultat

Samtliga kapacitetstester är utförda i Karlstads universitets labb. Driftbetingelser med framledningstemperatur 64.5°C , värmevattenflödet 1,7 liter/minut och användandet av skåpet är hämtat från fälttestet på fritidshemmet/daghemmet i Västerås.

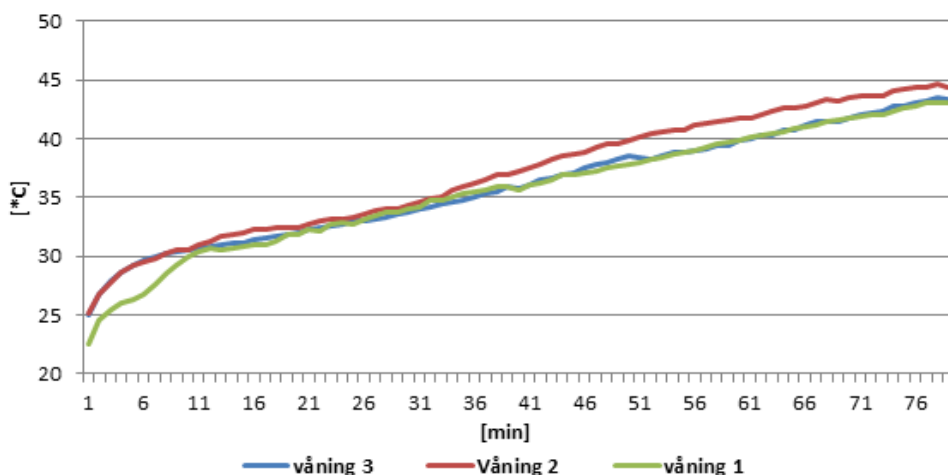
För perioden 15:e oktober till 22:a oktober användes det vänstra skåpet i Västerås 11 timmar med en medelcykeltid av 11 minuter. Det betyder att skåpet gick 1 timme och 50 minuter per dag och öppnades 10 gånger under den tiden. Det högra skåpet användes hälften så mycket och hade samma cykeltid.

För perioden 23:e oktober till 12:e december användes det vänstra skåpet 61 timmar med en medelcykeltid av 26 minuter. Det betyder att skåpet gick 1 timme och 40 minuter per dag och öppnades ungefär 4 gånger under den tiden. Det högra skåpet användes en tredjedel så mycket och hade samma cykeltid.

För perioden 13:e december till 23:e januari förlorades mätdata, eftersom strömmen till skåpen av misstag bröts innan utrustningen lästs av och det finns därför inga registreringar för denna tidsperiod.

För perioden 24:e januari till 25:e februari användes det vänstra skåpet 58 timmar och det högra 54 timmar. Skåpen gick 2 timmar och 20 minuter per dag.

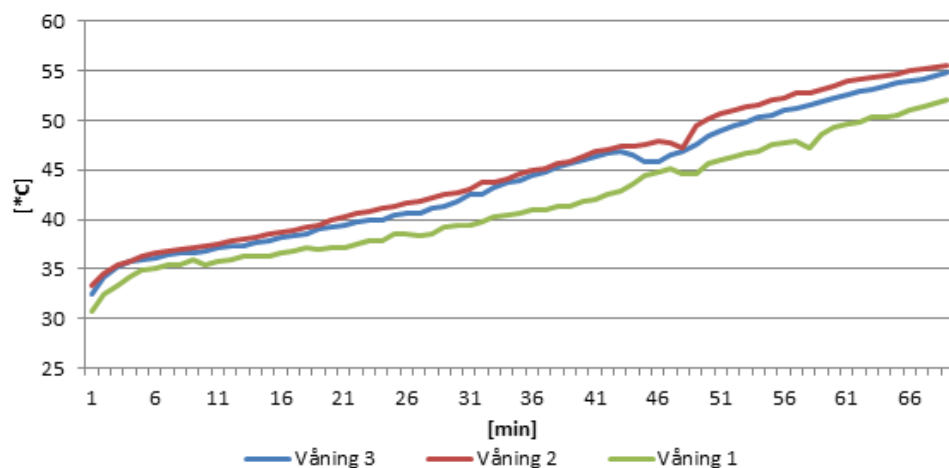
Skåpens konvektions- och strålningsförluster till omgivningen är central för värmebalansen. Med ökande temperatur i skåpet så ökar dessa förluster. Ett UA värde på 54 W/°C uppmättes genom tomgångskörningarna vid värmevattendrift. Vid eldrift var det svårt att fastställa temperaturen efter värmaren, eftersom temperaturen varierade mellan 25°C och 125°C beroende på i vilken punkt man mätte. All luft tycks inte passera elvärmaren, vilket leder till att endast delar av luften som tillförs skåpet blir uppvärmd. Detta ger stråk med mycket höga temperaturer och stråk med lägre temperaturer. Detta har påtalats för torkskåpsleverantören.



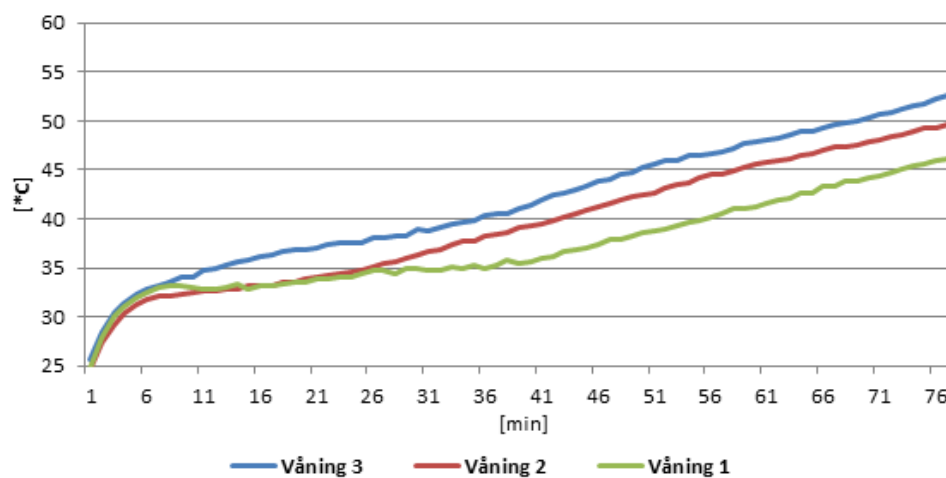
Figur 2.19. våningstemperaturerna från en traslastskörning med framledningstemperaturen 64,5 °C.

På värmeväxlarens vattensida är både flöden och temperaturer kända. Under förutsättningen att all värme tillförs processluften så är luftflödet genom torkskåpet 160 m³/h.

Att alla våningar har samma temperatur under torprocessen är centralt för att man ska kunna förvänta sig ett jämt och bra torkresultat. Detta är särskilt viktigt när man exempelvis vill torka stryktorrt. Temperaturutvecklingen vid värmedrift och traslast var jämn mellan skåpets våningar. Temperaturdifferenserna mellan våningarna var i stort sett samma vid försökens start som när de stoppades. Samtliga körningar hade en uppvärmningsfas de första 5-6 minuterna där temperaturen steg snabbt.



Figur 2.20. Våningstemperaturernas differens, mellan våning 2 och 1. De ökar successivt med 1°C under processens gång vid en traslastskörning med framledningstemperaturen 80°C.



Figur 2.21. Våningstemperaturernas differens, mellan våning 3 och 1. De ökar successivt med 6°C under processens gång vid en traslastskörning med elvärmedrift.

Temperaturgradienten i skåpet på olika våningshöjder för varmvattendrft med framledningstemperaturerna 64,5°C kan ses i Figur 2.19. Vid den högsta framledningstemperaturen 80°C är temperaturskillnaden mellan våningarna högre, se Figur 2.20. Vid eldrift är temperaturskillnaden ännu större än vid 80°C, se Figur 2.21.

Tabell 2.5

Resultat från försök med traslast. T_{fram} står för framledningstemperatur till värmeväxlaren och $T_{\text{från}}$ står för frånluftstemperaturen då torkskåpet stoppades. Värmevattenflödet är 1,7 l/min.

El vär- mare	T_{fram} [°C]	Torktid [min]	Fukthalt före/efter [%]	$T_{\text{från}}$ [°C]	Värme effekt [W]	SMER _{tot} [kg/kWh]	SMER _{el} [kg/(kWh el)]
Nej	64,5	78	47/0,2	41,5	1746	0,67	15,39
Nej	64,5	83	50,1/0,1	40,8	1746	0,68	15,47
Nej	64,5	78	50,3/1,3	39,8	1746	0,71	16,16
Nej	50	110	49,5/0,1	34	1147	0,75	11,53
Nej	50	100	48,4/0,1	34,4	1147	0,81	12,42
Nej	80	67	50,9/0,1	50,2	2315	0,65	19,46
Nej	80	68	49,4/-1,1	49,9	2315	0,64	19,10
Nej	80	67	49,5/-0,6	49,8	2315	0,64	19,19
Ja	-	72	49,4/1,0	47,3	2000	0,66	0,66
Ja	-	76	49,2/-0,1	47,5	2000	0,64	0,64
Ja	-	80	48,4/0,0	47,4	2000	0,60	0,60

Sammanlagt genomfördes nio prestandatester med värmedrift och traslast. Vidare genomfördes tre tester med eldrift. Sammantaget således tolv tester. Samtliga prestandatester med traslast redovisas i Tabell 2.5. I en av testerna med 50°C framledningstemperatur på värmevattnet fungerade inte loggningen och resultaten för denna körning kan därför inte redovisas. Trasornas startvärde före körningar vad gäller genomsnittlig fukthalt varierade mellan 47 och 51 %.

Man upplevde ingen skillnad i fukthalt i traslasten mellan de olika våningsplanen. Allt upplevdes torrt, vilket bekräftades av vägningarna. Torkskåpet torkar lasten torr oavsett var i skåpet man hänger den. Inga systematiska skillnader kunde identifieras.

Försöken med traslast visade att högre värmeeffekter (högre framledningstemperaturer) gav kortare torktider men att den totala energieffektiviteten, redovisad som $SMER_{\text{tot}}$, samtidigt blev lägre. Ett torkskåp med 50-gradig framledningstemperatur utnyttjar alltså energin effektivare vid torkningen av textilerna än en 80-gradig. Det elvärmedrivna torkskåpet visade sig ha lägst total energieffektivitet, sett till samtliga körningars genomsnittliga $SMER_{\text{tot}}$. Orsaken till detta kan vara den ojämna inblåsningstemperaturen som uppmärksammats.

Vid studerande av Tabell 2.5 kan ses att de körningar som stoppats med högre fukthalter också får en högre energieffektivitet än andra körningar vid samma driftbetingelser. Det omvända gäller för de körningar som stoppats vid låga fukthalter, vilket indikerar att energieffektiviteten blir högre ju tidigare körningarna avbryts.

Prestandatester med dagislast resulterade i både längre torktider och sämre energieffektivitet än motsvarande körningar med traslast. Detta trots att den genomsnittliga fukthalten vid start var mindre än hälften mot traslasten eller, 20-30 %, se Tabell 2.5. Frånluftstemperaturen vid avslutad körning med dagislast var varmare än motsvarande körningar med traslast.

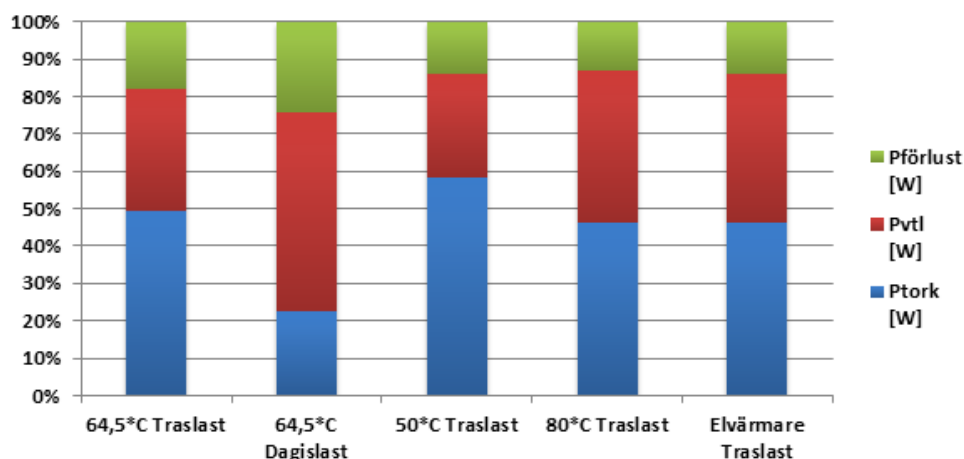
Tabell 2.6

resultat från samtliga försök med dagislast och 64,5-gradig framledningstemperatur. T_{fram} står för framledningstemperatur till värmeväxlaren och $T_{\text{från}}$ för frånluftstemperaturen då försöket avslutades.

Elvärmare	T_{fram} [°C]	Torktid [min]	Fukthalt före/efter [%]	$T_{\text{från}}$ [°C]	Vatten flöde [l/min]	Luft flöde [m ³ /h]	Värme effekt [W]	SMER _{tot} [kg/kWh]	SMER _{el} [kg/kWh _{el}]
Nej	64,5	114	22,7/3,8	41	1,7	160	1746	0,30	6,93
Nej	64,5	101	20,5/4,1	40,2	1,7	160	1746	0,30	6,85
Nej	64,5	149	27,6/1,9	42,6	1,7	160	1746	0,31	7,06
Nej	64,5	148	27,1/1,7	43,1	1,7	160	1746	0,31	7,15
Nej	64,5	121	24,5/2,5	43,3	1,7	160	1746	0,33	7,48
Nej	64,5	166	31,8/2,8	43,1	1,7	160	1746	0,32	7,40

Som kan ses i Tabell 2.6, har de inledande två försöken, räknat uppifrån, lägst genomsnittligt startvärde vad gäller fukthalt och sämst energieffektivitet. Torkprocessen vid dessa försök med dagislast visade sig inte nått lika långt vid samma frånluftstemperaturer som med traslast utan behöver fortgå under en längre tid, tills frånluftstemperaturen stigit ytterligare.

Det var svårt att få en jämnt fördelad fukthalt på dagislasten då overallerna var vattenavstötande och tog upp olika mängd fukt vid skölj- och centrifugprogram. Inför försöken kunde därför fukthalten mellan overallerna variera med flera procentenheter. I Figur 2.22 redovisas hur torkskåpets tillförda värmeeffekt (P_{luft}), fördelades genom sin passage i skåpet vid de olika driftbetingelsernas respektive försök. Den energiandel som används för torkning är högre vid 50 graders framledningstemperatur än vid 80°C. Elvärmern utnyttjar energin lika dåligt som vid 80 graders framledningstemperatur. Vid dagislast används minst andel av energin för torkning.

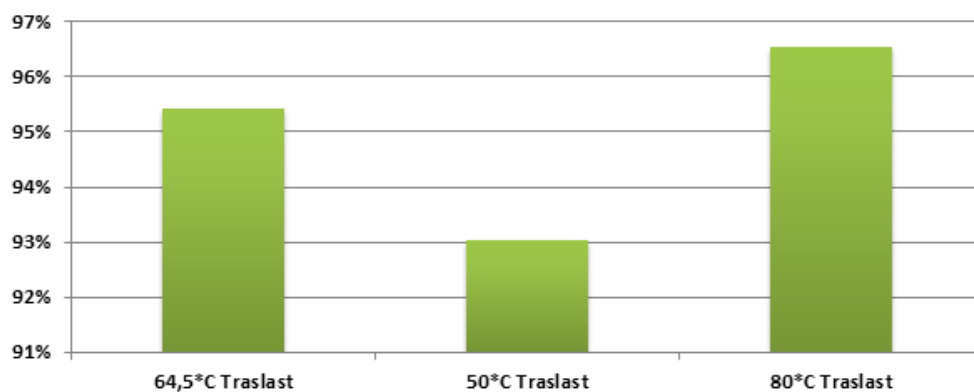


Figur 2.22. effektfördelningen av den tillförda värmeeffekten, P_{luft} , i andelar. Genom figuren kan fås en överblick av hur stor del av energin som torkar, värmer luften respektive går som förlust till omgivningen vid de olika driftbetingelserna. Temperaturerna i figuren står för framledningstemperatur i anslutningen till värmeväxlaren. Effekterna som redovisas är torkeffekten P_{tork} , värmning av torr luft P_{vtl} och konvektiv förlust till omgivningen $P_{förlust}$.

Elkonverteringsgraden (andel el som ersätts med värmevatten) med traslast är som lägst 93 % vid 50°C och som högst 96 % vid 80°C, se Figur 2.23. Elkonverteringsgraden sjunker, i motsats till den totala energieffektiviteten, ju längre torktiden är. Konverteringsgraden för dagislaster är således lägre än för traslast.

Att med en enkel styralgoritm använda frånluftstemperaturen för att styra torkningen av dagislaster visade sig vara misslyckat. Det fungerade inte ens om skåpet endast öppnades när den förutbestämda temperaturen uppnåts.

I denna tillämpning utvecklades och användes en tidsstyrning (se bilaga 2). I dagismiljö öppnas torkskåpet väldigt ofta. Att utveckla en styrning som bygger på att mäta temperaturförändringar inne i skåpet förefaller av den orsaken svår att få till. En dagislaster är svår att definiera, den består allt som oftast av mössor och vantar. Dessa torkar rätt snabbt. Blöta dagar hamnar en å annan vinteroverall i skåpet. Dessa är mycket svåra att torka. Det tar lång tid och därtill krävs att temperaturen varken är för hög eller för låg. Att utveckla en energieffektiv generell styrning för så olika laster är svårt. Att utveckla en styrning för så olika lasttyper kräver nya typer av indikatorer som ännu inte finns på marknaden. Att styra torkskåpet efter relativ fuktighet visade sig vara svårt. När öppning av skåpet gjordes var textilerna fortfarande blöta. Sammanfattningsvis är rekommendationen att utveckla tidsstyrningen så att lasttypen snarare än torrhetsgraden är det som syns i displayen.



Figur 2.23. Genomsnittlig konverteringsfaktor från körningarna med traslast. 64,5°C, 50°C och 80°C i figuren representerar värmekretsens framledningstemperaturer till värmeväxlaren.

Energianvändningen i torkskåpet (både el och värmevatten) är helt linjär med tiden som skåpet används (ingen återcirkulation av luft). I de fältstudier som gjorts här användes skåpen ca två timmar per dag.

I de elvärmda skåpen av samma typ som skåpen som testats i dessa fältstudier är den installerade eleffekten 2kW. Det vattenvärmda torkskåpet drog 70W el. På daghemmet så användes totalt 12 skåp. Under förutsättning att de andra avdelningarna använder skåpen samtidigt så är eleffektbesparingen bara på detta daghem 23 kW.

3 DISTRIBUTIONSSYSTEM

3.1 Separat vitvarukrets

Eftersom värmedrivna vitvaror och handdukstorkar kräver varmt vatten året runt är det ingen bra idé att använda radiatorkretsen vars framledningstemperatur oftast styrs av utetemperaturen eller värmebehovet så att temperaturen är låg under sommarhalvåret. I sådana fall måste elvärme användas sommartid eller så måste framledningstemperaturen vara konstant minst 60°C hela året. VVC-kretsen kan utgöra en möjlighet att använda som distributionssystem, men av olika skäl som t.ex. ökad risk för tillväxt av legionellabakterier eller att VVC ledningen inte är dimensionerad för flödet gör det problematiskt. Mer om VVC-kretsen i avsnitt 3.5 på sidan 56.

Med en separat värmekrets eller vitvarukrets (SVK) sker värmedistributionen med konstant framledning hela året (se Figur 4.1 och Figur 4.2). Denna krets dras då parallellt med en radiatorkrets med utetemperaturkompenserad framledningstemperatur och eventuell varmvattenledning med VVC-krets. Fjärrvärme växlas i undercentralen och distributionsledningar dras från undercentralen till varje maskin och handdukstork. I småhus eller då endast ett fåtal maskiner är anslutna, bör cirkulationspumpen stoppas när ingen värmedriven maskin kallar på värme. Om kretsen är lång (stort vatteninnehåll), måste det finnas en ventil som varmhåller kretsen för att varmt vatten skall nå fram till maskinerna innan de växlar över till eldrift (se avsnitt 5.1.1 på sidan 95).

3.2 Västeråsmodellen

Västeråsmodellen (VM) uppkom som namnet antyder i Västerås och lösningen togs fram av Mälarenergi AB. Modellen innebär att ett sekundärnät byggt av välisolerad plaströrskulvert, med konstant, men med lägre framledningstemperatur (60°C) än i det konventionella fjärrvärmenätet (se Figur 4.2 och Figur 4.4). Fjärrvärme växlas i undercentralen (t ex i källare på flerbostadshus eller i separat byggnad i villaområde) till ett sekundärt värmesystem som försörjer respektive lägenhet/ hus. Växling till varmvatten sker i direkt anslutning till tappställena vid varje lägenhet, vilket gör att ingen VVC-ledning krävs. Om värmetillförsel endast sker via värmare i tilluften samt med handdukstork och komfortgolvvärme behövs endast en lokal shuntning vid golvvärmekretsen. Sekundärkretsen kan alltså ersätta det konventionella radiatorsystemet, VVC-kretsen, och dessutom möjliggöra inkoppling av värmedrivna vitvaror och genom att minska antalet parallella rördragningar (som förekommer med separat vitvarukrets) kan distributionsförlusterna sänkas.

Konceptet jämförs mot separat vitvarukrets i en studie av VCON [33], se avsnitt 4 på sidan 63, som har en shuntad radiatorkrets, tillsammans med VVC-ledning och dessutom en separat vitvarukrets. I nya hus som knappt förbrukar någon värme är denna modell inte tillämplig. Dessutom blir andelen kulvertförluster högre ju mindre energi som levereras och det blir dessutom mindre energileveranser som skall bekosta

ledningsnätet. Det ställdes alltså krav på att ledningsnätet måste vara billigare och dessutom mer välisolerat än traditionella kulvertledningar.

När det gäller returtemperaturen förekommer vissa erfarenheter, att om ventiler som styr varmvattentemperaturen har ställts för högt kan returtemperaturen bli hög (avsnitt 5), men om allt är intrimmat på ett optimalt sätt bör Västeråsmodellen kunna leda till lägre returtemperaturer än om varmvattencirkulation används, eftersom kravet i BBR [25] är lägst 50 graders returtemperatur i VVC-ledningen.

3.3 Värmeförluster i distributionsledningar

Ett av huvudsyftena med nya typer av distributionssystem som t.ex. Västeråsmodellen är att minska värmeförlusterna jämfört med konventionella distributionssystem, eftersom dessa annars kommer att utgöra en oproportionerligt stor andel av energibehovet i lågenergibebyggelse, speciellt i områden med energieffektiva enfamiljs eller tvåfamiljshus. Ett område som byggts enligt Västeråsmodellen är Kaptenen i Västerås. Där sattes kraven på maximal värmeförlust i kulverten till 10 W/m och efter två års utvärdering kan konstateras att kravet nästan uppfylldes med en förlust på 10,8 W/m. Detta motsvarar 15 % av såld värme. Vid senare byggda områden i Västerås är kravet på maximal värmeförlust i kulverten 7 W/m. Här har ännu inte någon utvärdering genomförts.

Värmeförluster för olika typer av distributionssystem har beräknats i konsultstudien från VCON av Larsson [33] och dess inverkan på energiprestanda och ekonomi redovisas i avsnitt 4 på sidan 63. I VCON studien ingår dock inte värmeförluster i distributionsledningar som sker inom lägenheten.

Värmeförluster som uppkommer inom lägenheten i kopplingsledningar har studerats inom projektet i två examensarbeten av Roos [43] och Widlund [50]. Där har fokus riktats mot att uppskatta distributionsförlusterna för ledningar till disk- och tvättmaskin samt torktumlare i de enfamiljshus som byggs i Gotö i Västerås. Förhoppningen var också att studien skulle kvantifiera hur mycket av värmeförlusterna som bidrar till uppvärmningen, men detta kunde inte genomföras inom studien.

Roos [43] beräknar stationära värmeförluster från kopparrör med olika isolerstandard, olika flöden och olika dimensioner. Förläggning i både luft och betong studeras separat. Resultaten visar att rördimensionen påverkar förlusterna mycket kraftigt och att isolertjockleken har mindre betydelse i luft än i betong. Så klena rör som möjligt med hänsyn taget till tryckfallet skall alltså användas och större isolertjocklekar skall väljas om rören gjuts in i betong istället för att förläggas i luft.

Widlund [50] har beräknat årliga värmeförluster från distributionssystemet till disk tvätt och tork. Hänsyn har tagits både till förluster till omgivningen under uppvärmningsfasen, men också till de förluster som uppkommer av att varmt vatten lämnas kvar i ledningen efter avslutad cykel. Dessa avsvälningsförluster kräver en dynamisk beräkning med hänsyn till rörens, vätskans och omgivande materials värmekapacitet och utgör en stor del av värmeförlusterna. Värmeförlusterna kan alltså minskas genom att minska rördimensionen, genom att detta minskar mängden varmt vatten och mängden uppvärmt rör som avger sin värme efter avslutad sekvens.

Följande förutsättningar gällde för Widlunds studie. Rörsträckan mellan värmeväxlaren och diskmaskinen antas vara 2,5 meter (5 meter fram och åter) och vara ett 12 mm kopparrör med en isolertjocklek på 10 mm. Rörsträckan mellan värmeväxlaren och tvättmaskinen antas vara 2,7 meter (5,4 meter fram och åter) med samma rördimension som till diskmaskinen och rörsträckan till torktumlaren antas vara 3,6 meter 12 mm kopparrör (7,2 meter fram och åter) och den delar initialt rör med tvättmaskinen.

De årliga energiförlusterna har beräknats med hjälp av dynamiska simuleringar i Comsol som detaljerat beräknar värmeövergången på rörets in- och utsida. I beräkningarna antas 220 driftcykler per år för diskmaskinen, 200 cykler för tvättmaskinen och 165 cykler för Torktumlaren. Framledningstemperaturen antas vara 58°C för diskmaskinen och ca 65°C för tvättmaskinen och torktumlaren.

De årliga värmeförlusterna från distributionssystemet beräknades till 16 kWh för diskmaskinen, 8 kWh för tvättmaskinen och 27 kWh för torktumlaren. När antalet cykler var lika som i energiklassningsberäkningen. Ett resultat från studien var att ökat antal uppvärmningscykler per driftcykel påverkade värmeförlusterna, vilket gör att diskmaskinen relativt sett får större värmeförluster än tvättmaskinen. Värmeförlusterna fördelade per meter rörledning redovisas i Tabell 3.1.

I en tidigare studie av Persson och Rönnelid [39] har också värmeförlusterna från anslutningsledningar för disk- och tvättmaskin beräknats genom TRNSYS-simuleringar och dessa värden anges också i Tabell 3.1. Persson har även studerat hur värmeförlusten varierar med rördimension och enligt studien så ökar värmeförlusten med ca 26 % vid en ökning av rördimensionen från 10 till 12 mm. Om värmeförlusten skall begränsas till 10 % av överförd värme är största tillåtna rörlängd till diskmaskinen ca 12 meter med dimension 10 mm (avstånd 6 meter) [39]. För tvättmaskinen som har förhållandevis lite mindre förluster kan ledningen uppgå till ca 15 meter med dimension 10 mm.

Värmeförlusterna som redovisas av Widlund [50], är något högre än motsvarande värden från Persson och Rönnelid [39], vilket kan bero på att olika simuleringssprogram med olika noggrannhet använts i de olika studierna och att delvis olika beräkningsförutsättningar tillämpats. Ingen av dessa studier undersöker dock hur stor andel av dessa värmeförluster som nyttiggörs i uppvärmningen. Då dessa värmeförluster är förhållandevis små bör de sällan att leda till övertemperaturer under uppvärmningssäsongen och därmed tillgodogöras huset som nyttig värme. En uppskattning är att ca hälften av värmeförlusterna minskar behovet av värmeenergi och därmed inte är att betrakta som värmeförluster.

Tryckfallet vid dimensionerande flödet 1,6 liter per minut och 60°C är ca 1500 Pa/m vid 8 mm kopparrör, 400 Pa/m vid 10 mm kopparrör och 175 Pa vid 12 mm rör [51]. Används rördimensionen 10 mm och rörlängden 12 meter till diskmaskinen blir rör-tryckfallet alltså ca 0,5 meter vattenpelare. Tryckfall för olika rörledningar sammanställs i Tabell 5.2 på sidan 101.

En viktig slutsats från Roos examensarbete [43] är att rör som gjuts in i betong måste avisoleras från betongen för att inte värmeförlusterna skall bli höga. För rör som är omgivna av luft blir isoleringen mindre viktig. Det beror på att oavsett om rören av-

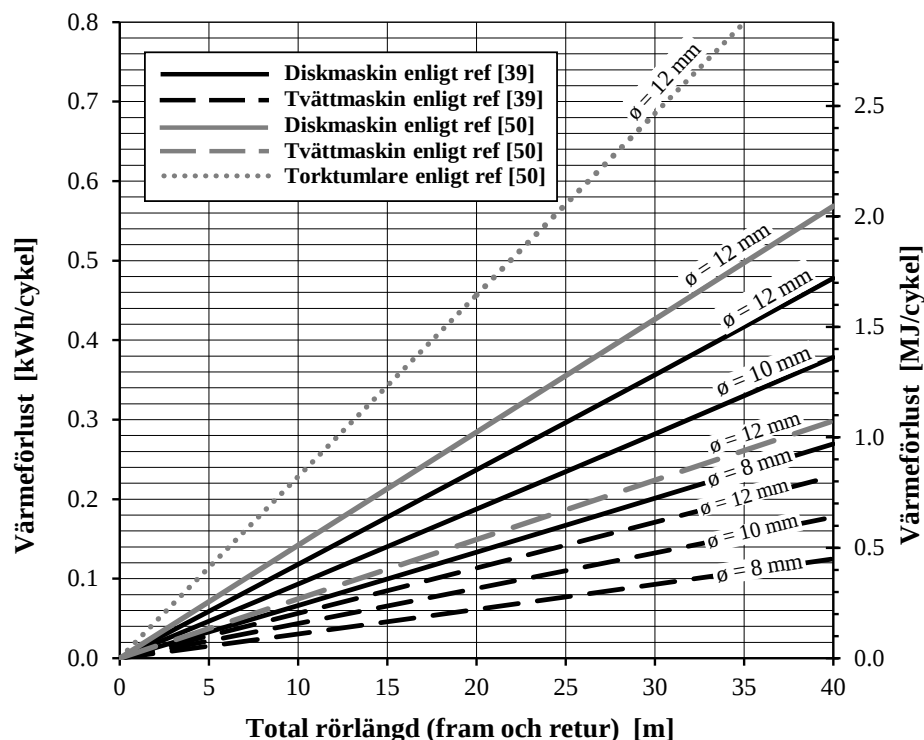
isolerats eller inte så kommer avsvlningsförluster alltid att uppstå. Dessa är framförallt beroende på rörets volym. Isolering på rören påverkar bara tiden för avsvlningen. Däremot när rören gjuts in i kontakt med värmetröga material utgör uppvärmningen av omkringliggande material en del i det som senare blir avsvlningsförluster.

För att minimera värmeförlusterna skall alltså minsta möjliga rördimension användas med hänsyn tagen till tryckfallet. Gängse rekommendationer för dimensionering av värmeledningar ligger på 100 Pa/m. Men för att begränsa värmeförlusterna i maskinernas anslutningsledningar blir rekommenderad rördimension till en maskin om möjligt (med hänsyn till tryckfallet) ett 10*0,8 mm kopparrör eller ett PEX-rör med dimension 12*2,0 mm. Se vidare Tabell 5.2 på sidan 101 för friktionstryckfall i kopparrör och PEX-rör. En vidare diskussion om när klenare rörledningar än VVS-praxis kan användas finns i avsnitt 5.4 på sidan 98.

Tabell 3.1

Simulerade årliga värmeförluster per meter 12 mm kopparrör (1 m rör ger ett avstånd på 0,5 m) för anslutningsledningar till värmedrivna disk- tvätt- och torkmaskiner.

	Värmeförlust enligt Widlund [50] (kWh/(m·cykel))	Värmeförlust enligt Persson (kWh/(m·cykel))
Diskmaskin	0,0142	0,0119
Tvättmaskin	0,0075	0,0057
Torktumlare	0,0228	-



Figur 3.1. Simulerade värmeförluster per cykel från anslutningsrören till diskmaskin, tvättmaskin och torktumlare. Resultat från både Widlund [50] och Persson och Rönnelid [39] redovisas i figuren.

3.4 Returtemperatur

Returtemperaturen för värmedrivna diskmaskiner och tvättmaskiner under ett uppvärmningsförlopp redovisas i Figur 2.3 på sidan 21 respektive i Figur 2.6 på sidan 24. Det visar sig att returtemperaturen är låg i början av uppvärmningsförloppet, men ökar snabbt, eftersom överförd effekt är högre i början av uppvärmningsförloppet. I slutet av uppvärmningsförloppet ligger returtemperaturen nära framledningstemperaturen och uppvärmningen går långsammare. Medeltemperaturen på returvattnet under uppvärmningsförloppet vid en framledningstemperatur av ca 60°C uppskattas till ca 50°C. Det är alltså att likställa med den returtemperatur som man kan förvänta sig orsakas av VVC-förluster och varmhållning av tappvarmvattenväxlare. Däremot är returtemperaturen högre än man kan förvänta sig från tappvarmvattenberedning och från radiator- och golvvärmesystem.

De temperaturer som diskuterats ovan gäller alltså i sekundärkretsen och den temperatur som erhålls i primärkretsen beror också på värmeväxlarens prestanda och styrfunktionen samt om någon varmhållningsfunktion tillämpas.

3.5 VVC-ledningen som distributionssystem

I VVC-ledningar cirkuleras varmvatten för att korta väntetiden för varmvatten och består av en relativt klen ledning som är ansluten mot varmvattenledningen vid avlägsna tappställen. VVC-ledningen kan vara intressant att använda som distributions-

system för värmedrivna vitvaror i befintliga flerbostadshus, där det redan finns en shuntad radiatorkrets, eftersom installation av ytterligare en värmekrets skulle bli kostsamt och generera ytterligare värmeförluster.

3.5.1 Legionellarisker

Erfarenheterna från legionellafall i Sverige visar att avstängbara ledningar i VVC-kretsen utgör stora risker för legionellasmitta [13]. Dessutom innehåller BBR 19 [25] en skrivning som gör det näst intill omöjligt att använda VVC-kretsen för uppvärmningsändamål:

”Cirkulationsledningar för tappvarmvatten ska utformas så att temperaturen på det cirkulerande tappvarmvattnet inte understiger 50°C i någon del av installationen.”

Det finns också ett krav på att installationer för tappvatten ska utformas så att möjligheterna för tillväxt av mikroorganismer i tappvattnet minimeras. Att göra något som ökar risken bryter alltså mot BBR.

I ref [13] förklaras att de bakomliggande orsakerna till legionellariskerna med handdukstorkar utgörs både av att vattnet kan bli stillastående och att det kyls så att tillväxt kan förekomma i returledningar:

”Det finns två problem med att koppla handdukstorkar eller andra värmare till VVC-systemet; låg temperatur och stillastående vatten. Hela tappvarmvattensystemet kyls ner så mycket att det blir risk för tillväxt av legionellabakterier. Särskilt i större byggnader och installationer är vattenvärmare och rörledningar inte dimensionerade för att kunna hålla temperaturen i VVC-systemet över 50 °C.”

Vidare skriver man:

”Handdukstorkar eller andra värmare kan också bli en del av ledningssystemet där det finns risk för stillastående vatten. Om temperaturen i rummet upplevs som för hög kommer värmaren att stängas av med stillastående vatten som följd.”

Dessutom får en VVC-krets med värmedrivna vitvaror ännu fler avstick som också utgör en legionellarisk [13]. Det är alltså troligt att anslutning av värmedrivna vitvaror ger ökad risk för legionellatillväxt i VVC-kretsen och det gör det alltså mycket tveksamt att koppla värmedrivna vitvaror till VVC-nätet. Om det skulle finnas någon möjlighet att vidta åtgärder måste det utprovas noggrant i fortsatta studier. Som det verkar krävs också en regeländring i BBR, som nu föreskriver att temperaturen aldrig får understiga 50°C i någon del av systemet.

Är det då helt uteslutet att kunna använda VVC-ledningen för värmedistribution till vitvaror? För att kunna spekulera kring eventuella möjligheter till en säker inkoppling av vitvaror till VVC-kretsen, måste vi ha en bättre förståelse för exakt var riskerna finns.

I Tyskland finns en regel (DVGW-Arbeitsblatt W 551 [11]) som innebär att icke cirkulerande tappvarmvattenledningar med en sammanlagd volym på högst 3 liter får vara ansluten mot en varmvattenberedare och VVC-krets som håller den föreskrivna temperaturen utan att detta utgör någon ökad risk för legionella. Man får alltså skicka vidare varmvattnet till ett tappställe genom icke cirkulerade kopplingsledningar eller en mindre krets med fördelningsledningar och kopplingsledningar, förutsatt att volymen är högst 3 liter i varje enskilt fall. Detta innebär att man kan ha en VVC-krets med flera olika kopplingsledningar anslutna men det får inte finnas en sammanhängande icke-cirkulerad volym som är större än 3 liter. Dock skall ledningarna regelbundet genomströmmas av ”färskt” vatten. Detta är säkerligen för att biofilmen som bildats i ledningen skall sköljas bort. Det finns dock en begränsning att om varmvattenberedarens volym är högre än 400 liter, så anses det vara en förhöjd risk för Legionella, vilket innebär ökad övervakningsplikt för fastighetsägaren, men detta är ju inte aktuellt i fjärrvärmesystem.

Problematiken kan alltså sammanfattas enligt följande:

- BBR [25] omöjliggör i princip inkoppling av värmedrivna vitvaror på VVC-ledningen, eftersom returtemperaturen aldrig får understiga 50°C i någon del av cirkulationsledningarna. Vid användning av värmedrivna vitvaror kommer detta att ske när magnetventilen är avstängd och dessutom sker det vid värmeuttag. För att möjliggöra inkoppling av vitvaror på VVC-ledningen måste alltså skrivningarna i BBR förändras
- Vatten som varit stillastående i maskinens värmeväxlare kan innehålla höga halter legionellabakterier, vilka om de leds tillbaka till cirkulationsledningen när maskinen används spridas till varmvattnet. Vid varmvattentemperaturen 54 grader tar det ca 2,5 timmar för att de flesta legionellabakterier skall dö och vid 58 grader minskar antalet legionellabakterier till nästan noll på en halvtimme [49].

3.5.2 Legionellasäkra lösningar

Kan vi säkerställa att bakterierna som förväntas tillväxa i det stillastående vattnet aldrig kommer ut i varmvattnet, så bör vi ändå ha en säker lösning. Antingen måste detta vatten regelbundet tappas genom systemet innan tillväxten hunnit bli för hög, eller så måste bakterierna avdödas innan vattnet återcirkuleras till tappställena. Maskinerna kan i princip regelbundet öppna magnetventilen en stund, men då måste maskinerna förses med denna funktion och ständigt vara i standby läge, vilket är problematiskt.

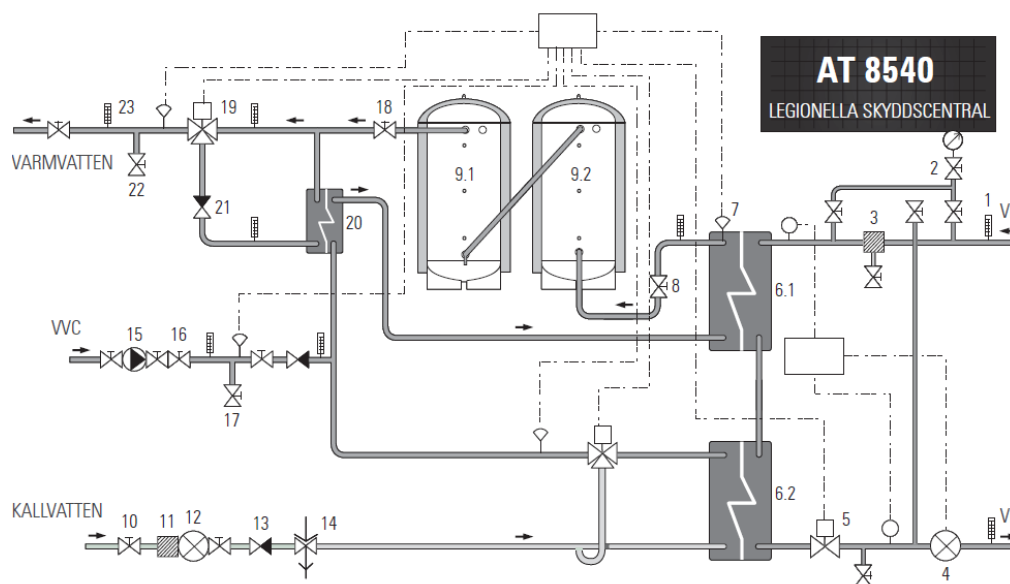
En Legionella skyddscentral [19] enligt Figur 3.2 säkerställer att allt vatten som går ut på varmvattenledningen varit upphettat till 70°C under en viss tid och därmed legionellafritt. Volymen på värmelagret dimensioneras så att alla legionellabakterier skall avdödas innan vattnet kyls av inkommande vatten och åter cirkulerar ut i varmvattenledningen. Detta bör skapa en legionellasäker lösning vid användning av värmedrivna vitvaror kopplade på, VVC-kretsen, men problematiken kan vara att inte

alla fjärrvärmesystem håller framledningstemperaturen över 70°C under sommaren. Dessutom måste alla avstick till vitvarorna förses med backventiler så att inte vatten från anslutningsledningar kan komma ut på varmvattenledningen.

En idé till enklare lösning istället för den kompletta legionella skyddscentralen kan vara att enbart koppla VVC-ledningen till en varmvattenberedare som håller 60°C och dimensionera dess volym med avseende på VVC- och vitvaruflöde så att tillräcklig uppehållstid upprätthålls för att bakterierna skall avdödas. Enligt Stålbom och Kling [49] krävs en uppehållstid på ca 30 minuter vid en vattentemperatur på 58°C.

Ytterligare en tänkbar lösning för att avdöda bakterier som växt till i maskinernas värmekrets kan vara att använda en ”UV barriär” som bryter ner legionellabakterier [6].

Alla ovanstående tre förslag för att förhindra legionellasmitta bygger på att avdöda bakterier som kan tillväxa i vitvarornas värmeväxlare innan vattnet tillförs varmvattenledningen och att förhindra spridning från avsticken genom att använda backventiler vid anslutningspunkterna. Om någon eller några av ovanstående åtgärder skulle visa sig kunna förhindra legionellasmitta i varmvattenledningen är det ändå riskabelt om systemens funktion inte upprätthålls. För att säkerställa detta krävs också att ett varningssystem installeras som undergår regelbunden besiktning. Dessutom uppfyller förslagen ändå inte kraven i BBR [25] som föreskriver att temperaturen aldrig får understiga 50°C i hela det cirkulerande systemet. Att göra inkoppling av handduktorkar på VVC-ledningen är ju något som idag är otänkbart då dessa kan vara avstängda långa perioder under sommaren. Om ovanstående åtgärder även möjliggör legionellasäker inkoppling av handduktorkar på VVC-ledningen bör i så fall också undersökas.



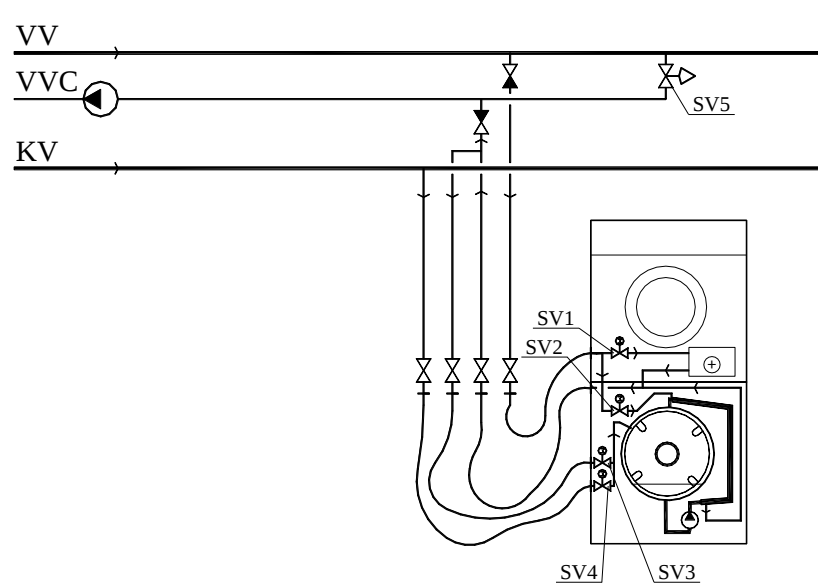
Figur 3.2. Legionella skyddscentral som genom tillräcklig uppehållstid vid tillräckligt hög temperatur säkerställer att utgående varmvatten är fritt från legionellabakterier. Återgiven med tillstånd av Armatec [19].

Utgår vi från de tyska kraven [11] som fokuserar på problematiken med anslutna ledningar utan cirkulation som största smittkälla finns kanske en annan möjlig lösning som är legionellasäker. För att uppfylla kraven i den Tyska standarden, så skall alltså anslutna ledningar utan cirkulation ha en volym som understiger tre liter. Det betyder maximalt 38 meter ledning med innerdiameter 10 mm, men ledningarna måste också spolas ur regelbundet, och detta förutsätter då att vattnet inte återförs till VVC-kretsen.

Figur 3.3 visar ett spekulativt konstruktionsförslag till en ”legionellasäker” lösning för anslutning av värmedrivna vitvaror på VVC-kretsen utan legionellaskyddscentral. Tekniken bygger på att värmeväxlarna alltid först spolas igenom av färskt vatten innan återcirkulation inleds. Genom att tvättmaskin och torktumlare byggs ihop till en enhet och att vatten först fylls på i tvättmaskinen genom att SV1, SV2 och SV3 öppnar och släpper in vatten i tvättmaskinen, varpå värmeväxlare och anslutningsledningar fylls med friskt varmvatten. Därefter påbörjas cirkulationen som vanligt.

Konceptet enligt Figur 3.3 kräver att styrningen för tvätt och torktumlare integreras i samma enhet (pelare) med en gemensam eller sammanbyggd styrning. Dessutom måste tvättmaskinen anslutas till både varmt och kallt vatten. Den stillastående vattenvolymen i maskinens anslutningsledningar och i maskinen får alltså inte vara större än maskinens initiala vattenintag före uppvärmning. Efterföljande påfyllningar görs med SV4 som fyller på med kallt vatten i maskinen och uppvärmningen styrs med SV1 respektive SV2. Nuvarande BBR-krav som anger att VVC returtemperaturen aldrig får understiga 50°C uppfylls inte, men detta kommer enbart att ske kortvarigt då maskinerna används.

En ytterligare förutsättning för att rent tekniskt kunna använda VVC-ledningen för värmedrivna vitvaror är att VVC ledningen har tillräcklig dimension, att tillräckligt kraftig cirkulationspump installeras och att en differenstrycksventil installeras längst bort på varje stam, som upprätthåller konstant tryckfall mellan tillopp och returledning så att tillräckliga flöden erhålls i maskinerna. Se avsnitt 5.4 på sidan 98 för beräkning av sammanlagring av flöden).



Figur 3.3. Förslag till inkoppling av värmedrivna vitvaror på VVC-ledning som minskar risken för legionellaspridning till varmvattenledningen. Förslaget kräver att styrning av torktumlare och tvättmaskin integreras. Innan en uppvärmningssekvens inleds i någon av maskinerna öppnas SV1, SV2 och SV3 samtidigt och släpper in vatten i tvättmaskinen, varpå värmeväxlare och anslutningsledningar fylls med friskt varmvatten. Om ingen tvätt skall köras pumpas vattnet sedan ut i avloppet. SV5 är en tryckstyrd reglerventil som upprätthåller tryckdifferensen i systemet.

3.6 Individuell energimätning

Inom EU pågår förhandlingar om ett nytt direktiv där ett förslag är att det skall ställas krav på lägenhetsvis energimätning och debitering av värme- och varmvattenförbrukning i flerbostadshus. Vad som är en rättvis debiteringsmodell vid individuell mätning och debitering (IMD) kan diskuteras. En Svensk studie av Berndtsson [23] visar dock att IMD kan ge en energibesparing på mellan 10 och 20 % på uppvärmningsbehovet, trots att lägenhetsinnehavarna ges möjlighet att hålla en högre inomhustemperatur efter att individuell mätning införts. Enligt samma studie kan varmvattenanvändningen minskas med mellan 15-30% på förbrukningssidan, exklusive VVC-förlusterna, som inte påverkas.

Individuell mätning av varmvatten görs normalt via en volymmätning på varmvattenledningen. Om det förekommer lång väntetid på varmvatten, bör givaren kompletteras med en sensor som inte registrerar flödet förrän temperaturen är tillräckligt hög [45].

Individuell mätning av värmebehov kan göras genom mätning av tillförd energi till radiatorerna via integrering av vattenflöde och temperaturer i fram- och returledning [45]. Vanligare är mätning av rumstemperaturen i lägenheten i kombination med en taxa som ökas när rumstemperaturen är högre (det finns också andra modeller för debitering).

Beroende på debiteringsmetod kan man diskutera olika för- och nackdelar med de olika modellerna. T.ex. så får de som bor i hörnlägenheter en större del av uppvärmningskostnaden vid mätning av verklig energitillförsel. Dessutom kan de som håller en något lägre rumstemperatur än sina grannar parasitera på sina grannars värmeräkning och den som har flera grannar som håller en låg rumstemperatur får högre värmeräkning. När en rumstemperaturgivare används för att fördela energikostnader kan de som vädrar eller på annat sätt håller rummet svalt få lägre uppvärmningskostnader trots att de kan använda mer energi.

Individuell energimätning på värmedrivna vitvaror

Tillämpas Västeråsmodellen kan man enkelt mäta den totala energianvändningen i respektive lägenhet inklusive värme till värmedrivna vitvaror genom att installera en värmemängdsmätare vid varje lägenhetsväxlare. Skall inte energibehovet för uppvärmning inkluderas i den individuella debiteringen görs avstick för värmekretsen före energimätaren, men då måste separata distributionsledningar installeras inom lägenheten för värmedrivna vitvaror och andra värmare.

Användning av värmedrivna vitvaror kopplade till en separat vitvarukrets kräver separata energimätare vid varje lägenhet för att åstadkomma en rättvis debitering av energianvändningen. Ett alternativ kan vara att samla in uppgifter om antal sekvenser som körts i respektive maskin och fördela kostnaden efter detta. För torktummlaren krävs istället uppgift om drifttid för en rättvis debitering. Samma funktioner kan behövas för individuell mätning om legionellaproblematiken kan lösas så att maskinerna kan anslutas till en VVC-krets.

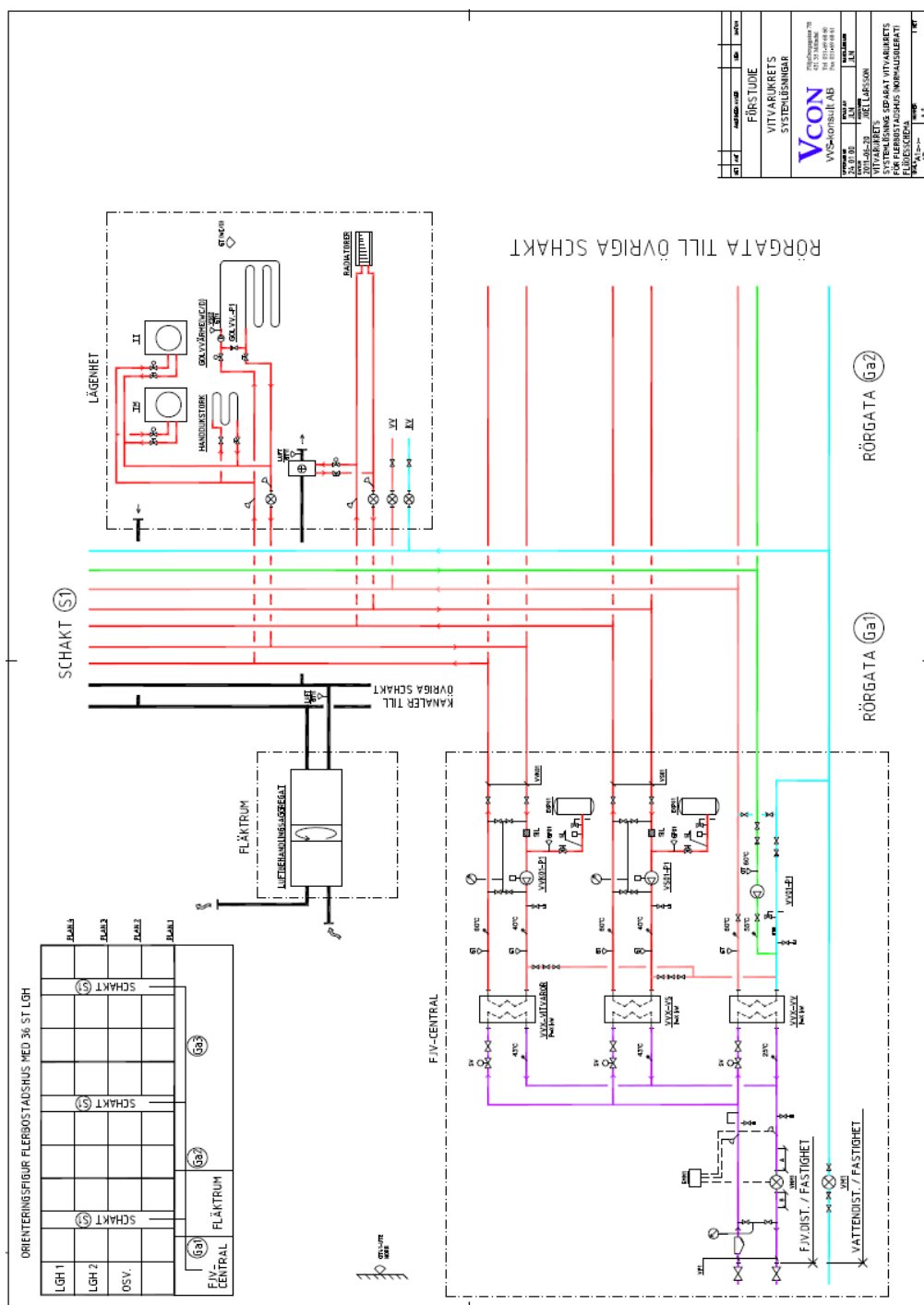
4 ENERGI- OCH KOSTNADSBERÄKNINGAR

4.1 Beräkningsförutsättningar

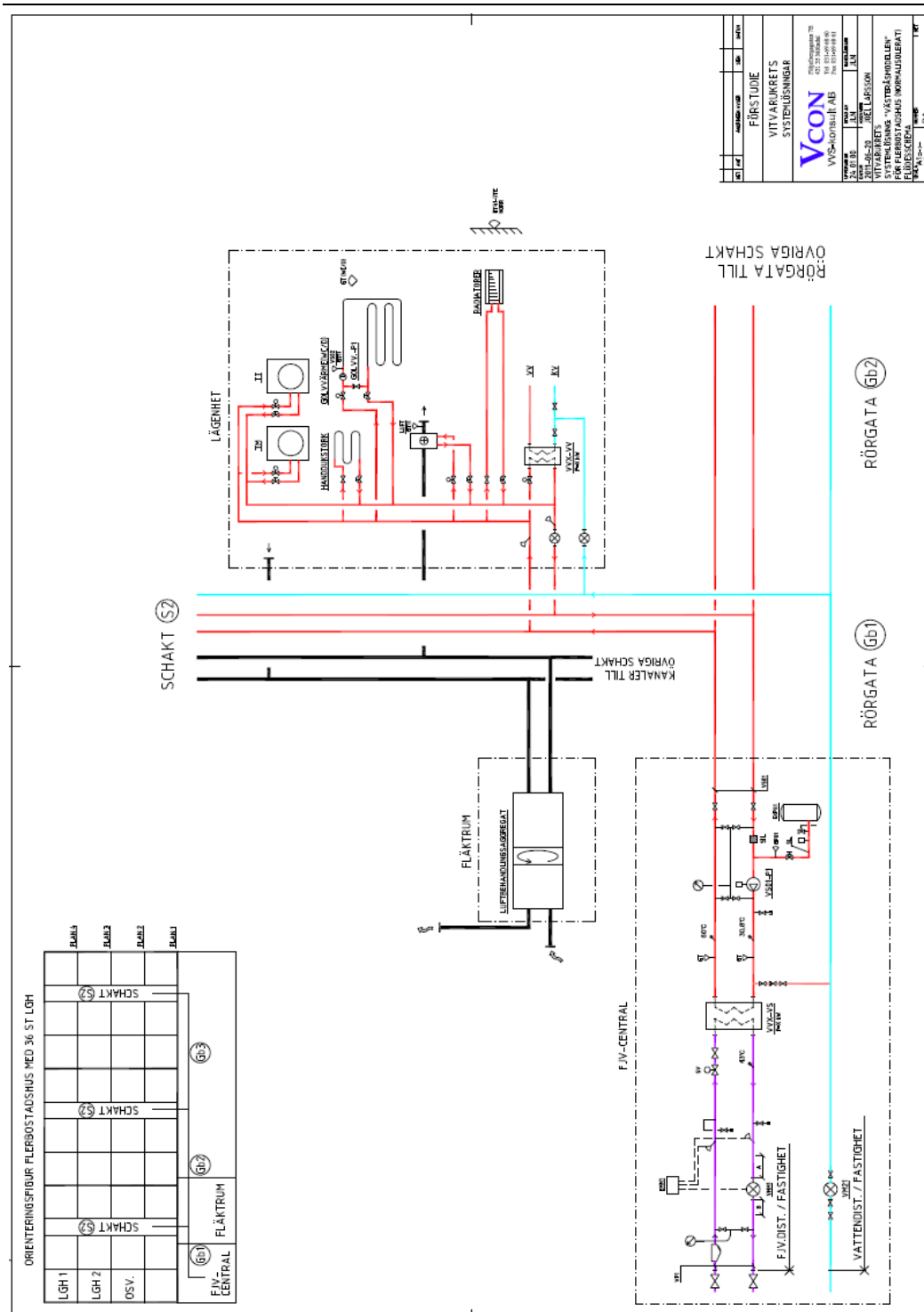
En konsult [33] anlitas för att studera olika lösningar för distributionssystem och de kostnader och värmeförluster som är förknippade med respektive system. De systemlösningar som undersöktes var separat vitvarukrets och ”Västeråsmodellen”. Västeråsmodellen (Figur 4.2 och Figur 4.4) innebär att både det konventionella VVC-systemet och radiatorkretsen ersätts av en sekundär värmekrets med konstant framledningstemperatur på ca 60°C och att denna krets används för HWC-maskinerna, för lokal varmvattenproduktion i varje lägenhet och för handdukstork, värmare i tilluft och komfortgolvvärme i badrum samt till radiatorer (ej shuntad) i normalisolerade hus. En separat vitvarukrets innebär att ett separat värmedistributionssystem med konstant framledningstemperatur installeras utöver den shuntade radiatorkretsen och VVC-systemet. Principschema för ett flerbostadshus och ett grupphusområde med separat vitvarukrets redovisas i Figur 4.1 och Figur 4.3.

4.1.1 Studerade systemlösningar

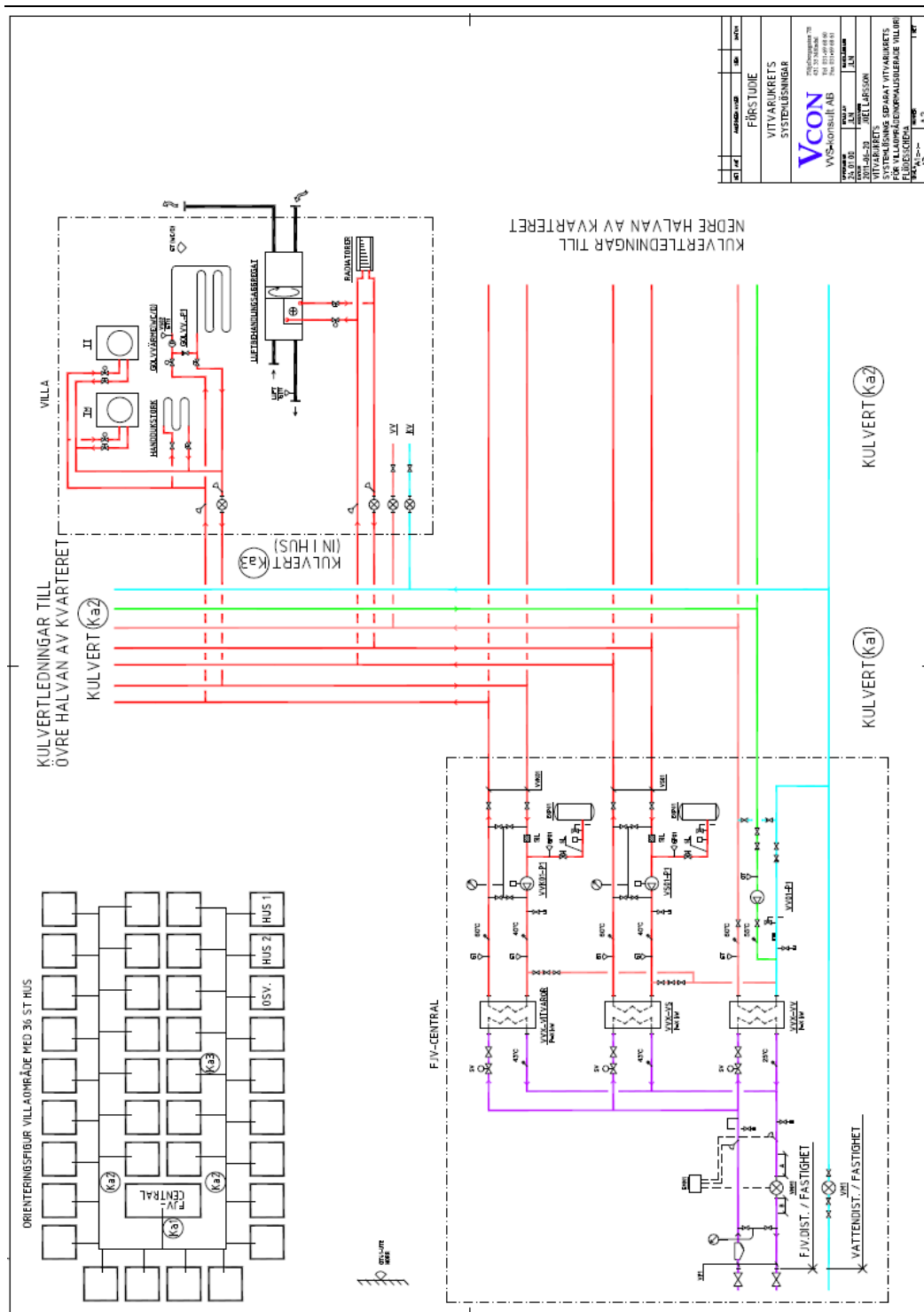
- A. *Separat vitvarukrets. (SVK)* Se Figur 4.1 och Figur 4.3.
Fjärrvärme växlas i undercentral (t.ex. i källare på flerbostadshus eller i separat byggnad i villaområde) till varmvatten, värme och värme till vitvaror i separata värmeväxlare för respektive krets. Distributionsledningar för varje krets dras mellan undercentral och respektive brukare.
- B. *Västeråsmodellen. (VM)* Se Figur 4.2 och Figur 4.4. Fjärrvärme växlas i undercentral (t.ex. i källare på flerbostadshus eller i separat byggnad i villaområde) till ett sekundärt värmesystem som försörjer respektive lägenhet/hus. Distributionsledningar för den gemensamma kretsen dras mellan undercentral och brukare. Den sekundära kretsen växlas i sin tur i varje lägenhet/hus till varmvatten. I övrigt används sekundärsystemet direkt av respektive brukare.



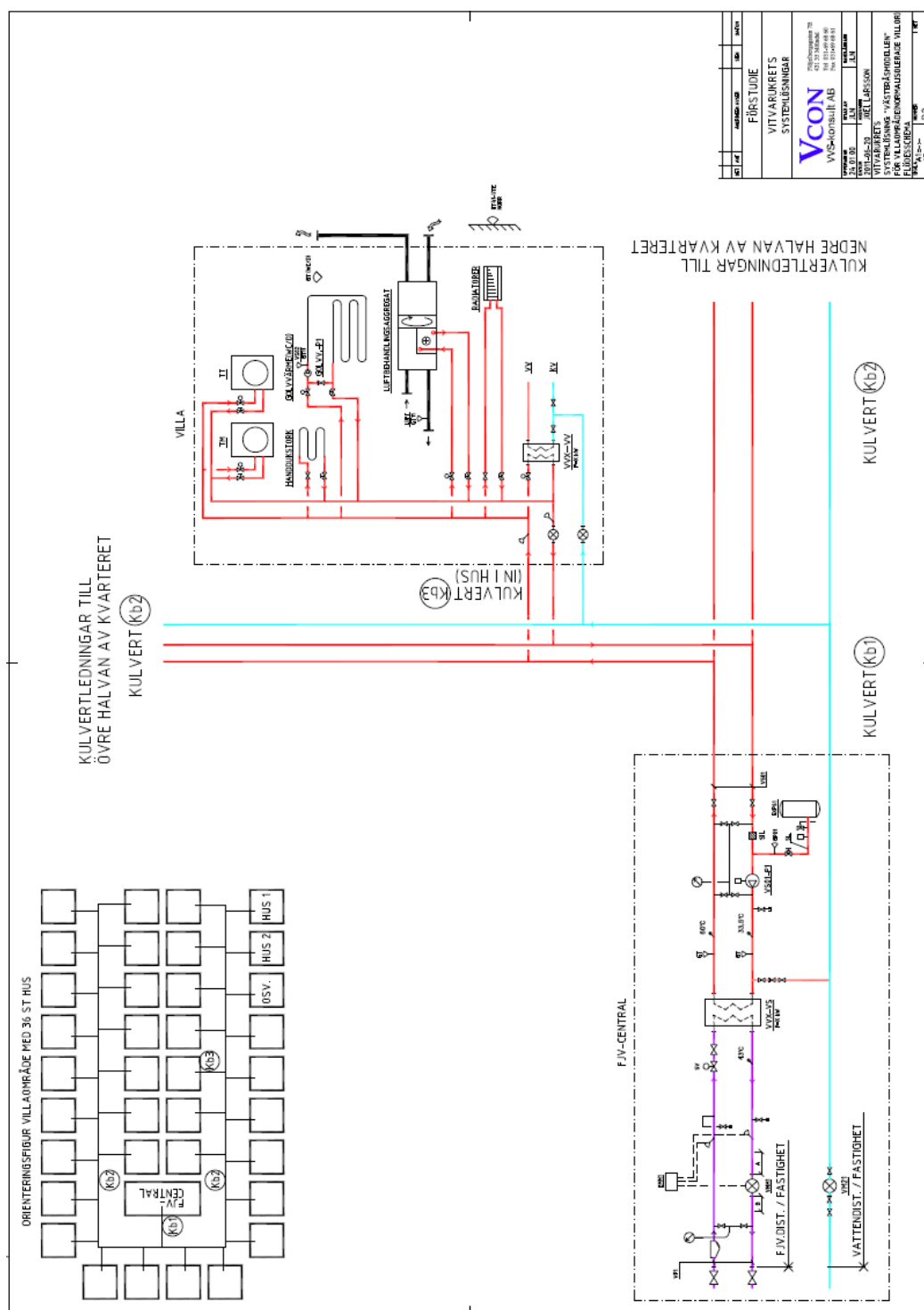
Figur 4.1. Principschema för värmedistribution för ett flerfamiljshus med "separat vitvarukrets". Ritad av VCON [33].



Figur 4.2. Principschema för värmedistribution för ett flerfamiljshus enligt "Västeråsmodellen". Radiatorer kan uteslutas i passivhus. Ritad av VCON [33].



Figur 4.3. Principschema för värmedistribution för ett grupphusområde med separat vitvarukrets. Ritad av VCON [33].



4.1.2 Studerade hustyper

1. **Normalisolerat flerbostadshus** bestående av 36 lägenheter uppdelade på tre trapphus och fyra våningar, varje lägenhet är på 65 m². Badrummen är utrustade med handdukstork och komfortgolvvärme, antingen elvärmda eller vattenburna via vitvarukrets.
2. **Normalisolerat villaområde**, (punkthus) med totalt 36 st enfamiljshus, där tvättrummet är placerat i direkt anslutning till husets fjärrvärmeinkoppling. Badrummen är utrustade med handdukstork och komfortgolvvärme, antingen elvärmda eller vattenburna via vitvarukrets.
3. **Passivt flerbostadshus** enligt samma planlösning som nr1, men utfört som lågenergihus/passivhus. Enda värmekälla är ett vattenburet värmebatteri i tilluften samt handdukstork och komfortgolvvärme i badrummet.
4. **Passivhusområde** Villaområde enligt ovan utfört som lågenergihus/passivhus. Enda värmekälla är ett vattenburet värmebatteri i tilluften samt handdukstork och komfortgolvvärme i badrummet.

Gemensamt för samtliga hustyper är att husen värms med ett vattenburet system och att ventilationen tillförs via ett ventilationsaggregat med roterande värmeväxlare med vattenburen eftervärmare, antingen placerad centralt, eller med värmare i tilluftkanalen till varje lägenhet.

4.1.3 Studerade kombinationer

Följande kombinationer med värmedrivna vitvaror och vattenburen handdukstork och komfortgolvvärme studeras.

- A1 Normalisolerat flerbostadshus med separat vitvarukrets.
- B1 Normalisolerat flerbostadshus med Västeråsmodellen med radiatorer.
- B3 Passivt flerbostadshus med Västeråsmodellen.
- A2 Normalisolerat villaområde med separat vitvarukrets.
- B2 Normalisolerat villaområde med Västeråsmodellen med radiatorer.
- B4 Passivhusvillor med Västeråsmodellen.

Följande kombinationer studeras där värmedrivna vitvaror, handdukstork och komfortgolvvärme drivs av el, d.v.s. utan separat vitvarukrets:

- A1-EL Normalisolerat flerbostadshus med konventionell radiatorkrets, konventionella vitvaror samt eldrivna handdukstorkar och komfortgolvvärme.
- B1-EL Normalisolerat flerbostadshus med Västeråsmodellen, konventionella vitvaror samt eldrivna handdukstorkar och komfortgolvvärme.
- B3-EL Passivt flerbostadshus med Västeråsmodellen, konventionella vitvaror samt eldrivna handdukstorkar och komfortgolvvärme.
- A2-EL Normalisolerat villaområde med konventionell radiatorkrets, konventionella vitvaror samt eldrivna handdukstorkar och komfortgolvvärme.

- B2-EI** Normaliserat villaområde med Västeråsmodellen, konventionella vitvaror samt eldrivna handdukstorkar och komfortgolvvärme.
- B4-EI** Passivhusvillor med Västeråsmodellen, konventionella vitvaror samt eldrivna handdukstorkar och komfortgolvvärme.

4.1.4 Antaganden och indata

I Tabell 4.1 anges antaganden och indata till beräkningarna enligt Larsson [33]. Värmeförluster från ledningar inom lägenheterna och småhusen försummas i denna studie, däremot beräknas kulvertförluster i mark och förluster i schakt.

Tabell 4.1. Antaganden och beräkningsförutsättningar för de olika hus- och systemvarianterna som undersökts av VCON [33].

Antal lägenheter:	36 st
Lägenhetsyta:	65 m ²
Antal våningar:	4 st
Antal villor:	36 st
Boyta:	120 m ²
Innetemperatur:	21 °C
Dim. utetemperatur:	-20 °C
Luftflöde/lägenhet:	25 l/s
Luftflöde/hus:	45 l/s
Temperaturverkningsgrad VVX:	80 %
Framledningstemp separat vitvarukrets	60 °C
Returledningstemp separat vitvarukrets	40 °C
Framledningstemp värmekrets Västeråsmodellen	60 °C
Returledningstemp värmekrets Västeråsmodellen	Beräknas från fall till fall
Specifikt värmebehov normaliserat hus	120 kWh/m ² , år
Specifikt värmebehov passivhus	45 kWh/m ² , år
Uppvärmningssäsong normaliserat hus	5160 h/år
Uppvärmningssäsong passivhus	5160 h/år
Fjärrvärmepris (används i Pay-off kalkyl, Tabell 4.4)	0,5 kr/kWh exkl. moms
Elpris: (används i Pay-off kalkyl, Tabell 4.4)	1,25 kr/kWh exkl. moms

Rörgator

Flerbostadshuset antas ha tre stycken inom huset likadana schakter som benämns S1, S2 och S3. Rördimension i schakterna baseras på ett antagande om sex anslutna lägenheter per schakt.

Tabell 4.2. Antaganden och beräkningsförutsättningar för komfortgolvvärme, handdukstork och vitvaror i studien av VCON [33]. Diskmaskinen inkluderades inte i studien. Värden avser en lägenhet. Energiprestanda för vitvarorna uppdaterades inför de kompletterande kostnadsberäkningarna med annuitetsmetoden, se Tabell 4.7, Tabell 4.8 och Tabell 4.10

Komfortgolvvärme

Effekt	60 W/m ²
Yta per lägenhet/småhus	10 m ²
Drifttid normal-isolerat hus	2000 h/år
Drifttid passivhus	1000 h/år
Framledningstemperatur (flödesberäkning)	60 °C
Returledningstemperatur (flödesberäkning)	40 °C
Årligt energibehov i normalisolerat hus	1200 kWh/år
Årligt energibehov i passivhus	600 kWh/år

Handdukstork

Effekt	200 W
Drifttid	2000 h/år
Framledningstemperatur (flödesberäkning)	60 °C
Returledningstemperatur (flödesberäkning)	40 °C
Årligt energibehov i normalisolerat hus	400 kWh/år
Årligt energibehov i passivhus	400 kWh/år

Tvättmaskin

Effekt	2 kW
Antal tvätt-cykler	200 st/år
Drifttid/cykel	30 minuter
Värmevattenflöde	1,6 l/minut
Framledningstemperatur (flödesberäkning)	60 °C
Returledningstemperatur (flödesberäkning)	42,1 °C
Årligt elenergiebehov konventionell tvättmaskin	234 kWh/år
Värmebehov i värmedriven tvättmaskin	200 kWh/år
Elbehov i värmedriven tvättmaskin	34 kWh/år

Torktumlare

Effekt	2 kW
Antal tork-cykler	70 st/år
Drifttid/cykel	105 minuter
Värmevattenflöde	1,6 l/minut
Framledningstemperatur (flödesberäkning)	60 °C
Returledningstemperatur (flödesberäkning)	42,1 °C
Årligt elenergiebehov konventionell torktumlare	279 kWh/år
Värmebehov i värmedriven torktumlare	245 kWh/år
Elbehov i värmedriven torktumlare	34 kWh/år

Kulvertledningar

Villaområdet antas ha en fjärrvärmecentral och kulvertledningar placerade enligt flödesscheman i Figur 4.3 och Figur 4.4. För att förenklat beräkna dimension och förluster av rören "Ka2" och "Kb2" antas 12 villor vara anslutna mot dessa ledningar i hela sträckningen.

Komfortgolvvärme, handdukstork och vitvaror

Komfortgolvvärme, handdukstork och vitvaror är antingen elvärmda eller vattenvärmda i de fall som studeras. Tabell 4.2 visar beräkningsförutsättningarna för dessa komponenter. Antagna returtemperaturer från komfortgolvvärme och handdukstork är alldeles för höga vilket resulterar i onödigt stora flöden. Returtemperatur för handdukstork och golvvärme bör bli betydligt lägre än 40°C om den dimensioneras korrekt. Låga returtemperaturer ger lägre flöden, lägre pumparbete, mindre rördimension och lägre värmeförluster och är därmed viktigt att upprätthålla.

Energianvändningen för komfortvärmarna och vitvarorna antas vara lika, oavsett om el eller varmvatten används. Värmedistributionsförluster inom lägenheterna försummas i denna studie och antas vara små, eftersom badrum, tvättstuga och fjärrvärmeanslutning är placerade intill varandra. Dock görs en korrigering för värmeförluster från distributionsledningar till vitvaror inom lägenheten och vitvarornas prestanda uppdateras till senaste laboratorieresultat i den ekonomiska utvärderingen enligt annuitetsmetoden som redovisas i avsnitt 4.3, sidan 76.

4.1.5 Flöden och sammanlagring

För beräkning av sannolikt värmevattenflöde för dimensionering av distributionsledningar användes samma ekvation som används vid dimensionering av tappvattenledningar beroende av summerade normflöden vid tappställen.

$$Q_S = Q_{N1} + 0,015 \cdot (\Sigma Q_N - Q_{N1}) + 3,1 \cdot \overline{qm} \cdot 0,015 \cdot \overline{\Sigma Q_N - Q_{N1}} \quad (4.1)$$

där,

Q_S = sannolikt flöde (l/s)

Q_{N1} = största enskilda dimensionerande värmevattenflöde för vitvara (normflöde för största vattenuttag när det gäller tappvatten) (l/s)

qm = sätts i vitvaruberäkningen lika Q_{N1} (medelvärde för vattenflöde från respektive tappställe när det gäller tappvatten)

ΣQ_N = summan av alla dimensionerande värmeflöden (anslutna normflöden) (l/s)

I fallet med Västeråsmodellen har flöden för uppvärmning och för uppvärmning av ventilationsluft summerats till de beräknade sannolika flödena för komfortvärmare, vitvaror och varmvattenvärmning. Sannolika flöden har beräknats utifrån summerade normflöden enligt ekvation 4.1.

I fall med separat vitvarukrets har flöden för uppvärmning och för uppvärmning av ventilationsluft summerats separat för dimensionering av värmeledningar. Beräknade sannolika flöden till komfortvärmare och vitvaror har också summerats separat för varje kategori och rördimension på vitvarukrets (VVK) har dimensionerats enligt

VVS-praxis (100 Pa/m). Sannolika flöden för kallvatten och varmvatten beräknas också enligt ekvation 4.1 utifrån normflöden för varje typ av tappställe. Flödet för VVC har beräknats genom att en fast värmeförlust per meter rör har bestämts (10 W/m), samt även en antagen temperatursänkning (5°C). Detta ger med specifik värmekapacitet för vatten och givet antal meter rör ett motsvarande flöde.

4.1.6 Tryckfall

Rördimensioner för värmeledningar väljs så att ett högsta tillåtet tryckfall per meter rör inte överskrids vid det aktuella flödet. Man har inom VVS-branschen tagit fram riktlinjer som säger att ett högsta rekommenderat tryckfall i VS-ledningar är 100 Pa/m. Genom att välja minsta möjliga rördimension som ändå klarar tryckfallskravet, får man ett rörsystem som är rätt valt när det gäller installationskostnad jämfört med driftkostnader, strömningsljud och hållbarhet. Med hjälp av tryckfallsdiagram för olika rördimensioner väljs rätt dimension utifrån aktuellt flöde [51].

I fall med konventionella vitvaror skulle man i vissa fall kunna gå ner i dimension på vissa rör, jämfört med när fjärrvärmedrivna vitvaror inkopplas. Vi har dock här valt att använda samma dimension i de båda fallen. Detta för att Mälarenergi inte dimensionerar upp distributionsledningar där fjärrvärmedrivna vitvaror ska installeras, utan använder samma dimension som i traditionella distributionsledningsnät.

Tappvattenledningar dimensioneras efter hur många tappställen som är anslutna i systemet. Varje tappställe har ett normflöde och rördimension på distributionsledningar väljs efter ett sannolikt tappvattenflöde. Storleken av det flödet beräknas enligt ekvation 4.1 där det summerade normflödet är känt. Rördimensioner har valts så att strömningshastigheten med det sannolika flödet ligger runt 1,5 m/s.

4.1.7 Värmeförluster

Värden på värmeförluster från rörledningar har beräknats i programmet TekniBer 2.3 som Paroc tillhandahåller. Med indata: rördiameter, isolertyp och isolertjocklek samt medietemperatur och omgivningstemperatur fås en värmeavgivning i W/m rör. Omgivningstemperatur antas vara 20°C för rörgator i flerbostadshus och 10°C för kulvertar. För värmeledningar med utetemperaturkompenserad framledning antogs en genomsnittlig systemtemperatur på 40°C i framledning och 30°C i returledning under uppvärmningssäsongen. Antagen systemtemperatur på den separata vitvarukretsen antogs till 60°C i framledning och 40°C i returledning. Även i framledning på värmekretsen i Västeråsmodellen antogs 60°C, men på grund av de lokala värmeväxlarna för varmvattenproduktion i varje lägenhet/ hus så är returtemperaturen i dessa fall angiven som en beräknad blandningstemperatur.

I Västeråsmodellen används en mycket välisolerad kulvert som enligt upphandlingsunderlagen inte skall ha högre förluster än 7 W/m kulvert och data har anpassats för att generera denna förlust. Det bör i princip vara möjligt, då kvarteret Kaptenen i Västerås, som upphandlats med kravet 10 W/m, efter två års drift visar sig ha en värmeförlust på 10,8 W/m. I beräkningarna i övrigt följs serie 2A för samtliga värmeförlust och varmvatten rör, vilket med gällande rördimensioner ger isolertjocklek på 60 mm.

Vid beräkning av dubbelrörskulvert i TekniBer 2.3 har samma isolertjocklek som för enkelrör använts men värden för dubbla rördimensionen har valts.

4.1.8 Kostnader

Priser på rör, pumpar, fjärrvärmecentraler etc. är taget från Sektionsfakta [5]. Priser på eldrivna komfortvärmare har inhämtats från en elkonsult. Den totala investeringskostnaden för de olika systemen har beräknats, samt energikostnaden baserad på värmebehov, värmeförluster och drift-el till pumpar (som beror på flöde och tryckfall).

Extrakostnaden för anslutningen av värmedrivna vitvaror består i inkopplingen av rör, beräknat till ca 2000 kr/maskin exkl. moms. Fjärrvärmedrivna handdukstorkar har beräknats kosta 500 kr mer per enhet och fjärrvärmedriven komfortgolvvärme har beräknats kosta 2000 kr mer, jämfört med eldrivna sådana. Alla priser i detta avsnitt är angivna exklusive moms.

4.2 Resultat av studien från VCON

Resultaten från energi- och kostnadsberäkningarna redovisas i Tabell 4.3 där installations- och energikostnader sammanställts för varje systemkategori respektive den återbetalningstid som de olika alternativen ger jämfört med att använda eldrivna vitvaror, handdukstorkar och eldriven komfortgolvvärme. Resultaten visar på en återbetalningstid på mellan fyra och sexton år. Kortast blir återbetalningstiden för system med Västeråsmodellen. Det beror på att en separat vitvarukrets inte behövs i detta fall.

Tabell 4.3

Sammanställning av investeringskostnader och energikostnader för de olika alternativen som undersökts i studien av VCON [33]. Dessutom redovisas beräknad Pay-off tid för systemet med värmedrivna vitvaror och komfortvärmare i jämförelse med motsvarande systemen med elvärmda komfortvärmare och vitvaror. Alla priser är exklusive moms.

		Installationskostnad	Energikostnad	Extrakostnad	Besparing	Pay off tid	
		(kr)	(kr/år)	jmf el (kr)	(kr/år)	(år)	
36 lägenheter i flerbostadshus	Normalisolerat	Separat krets A1	2 948 700	199 601	468 600	51 610	9
		A1-EL	2 480 100	251 211			
		Västeråsmodell B1	2 713 000	201 740	192 800	52 629	4
		B1-EL	2 520 200	254 369			
	Passivt	Västeråsmodell B3	2 096 000	93 650	197 800	36 408	5
		B3-EL	1 898 200	130 058			
36 småhus	Normalisolerat	Separat krets A2	5 900 700	340 172	641 300	40 548	16
		A2-EL	5 259 400	380 720			
		Västeråsmodell B2	5 700 950	336 510	193 800	52 236	4
		B2-EL	5 507 150	388 746			
	Passivt	Västeråsmodell B4	4 543 950	155 636	201 800	33 813	6
		B4-EL	4 342 150	189 449			

Dock visar resultaten att installationskostnader och energikostnader för Västeråsmodellen i normalisolerade hus med eldrivna vitvaror och komfortvärmare (B1-EL) är något högre än för en helt traditionell lösning (A1-EL). Motsvarande gäller för de normalisolerade småhusen (B2-EL och A2-EL). Det är en liten skillnad, kanske inom felmarginalen, men resultaten indikerar ändå att B1-EL inte kan motiveras ekono-

miskt. I Tabell 4.4. Jämförs Västeråsmodellen (B1) med konventionella installationer och elvärmdda vitvaror (A1-EL). I detta fall blir återbetalningstiden för värmedrivna vitvaror och komfortvärmare med Västeråsmodellen fem år istället för fyra i normalisolerade flerbostadshus (B1 i jämförelse med A1-EL) och återbetalningstiden ökar till 10 år för småhusområdet (B2 jämfört med A2-EL).

Tabell 4.4

Sammanställning av beräknade investeringskostnader och energikostnader enligt VCON-studien [33] för olika systemalternativ då Västeråsmodellen i normalisolerade hus jämförs mot traditionella system, vilket kan vara relevant, eftersom Västeråsmodellen med elvärmdda vitvaror och komfortvärmare beräknats vara något dyrare än en traditionell lösning. Alla priser är exklusive moms.

		Installationskostnad	Energikostnad	Extrakostnad	Besparing	Pay off tid	
		(kr)	(kr/år)	jmf el (kr)	(kr/år)	(år)	
36 lägenheter i flerbostadshus	Normalisolerat	Separat krets A1	2 948 700	199 601	468 600	51 610	9
		A1-EL	2 480 100	251 211			
		Västeråsmodell B1	2 713 000	201 740	232 900	49 471	5
	Passivt	Västeråsmodell B3	2 096 000	93 650	197 800	36 408	5
		B3-EL	1 898 200	130 058			
36 småhus	Normalisolerat	Separat krets A2	5 900 700	340 172	641 300	40 548	16
		A2-EL	5 259 400	380 720			
		Västeråsmodell B2	5 700 950	336 510	441 550	44 210	10
	Passivt	Västeråsmodell B4	4 543 950	155 636	201 800	33 813	6
		B4-EL	4 342 150	189 449			

Dock finns flera anledningar till att ändå bygga enligt Västeråsmodellen utan att värmedrivna vitvaror används även om denna studie visar att det är lite dyrare. Västeråsmodellen möjliggör t.ex. inkoppling av handdukstork och komfortgolvvärme mot fjärrvärme och enskild lägenhetsmätning av värme till varmvatten, handdukstork och uppvärmning kan enkelt ske med en gemensam värmemängdsmätare.

Sammanfattningsvis är alltså de alternativ som har kortast återbetalningstid Västeråsmodellen i flerbostadshusen (både normalisolerade och passiva) och Västeråsmodellen i passivt småhusområde.

I Tabell 4.5 redovisas installationskostnaderna uppdelade på olika poster och det visar sig att kostnaderna för distributionsledningarna är som väntat lägre i Västeråsmodellen jämfört med en separat vitvarukrets. Likaså blir kostnaden för undercentralen lägre med Västeråsmodellen, men kostnaden för installationer i lägenheterna blir högre med Västeråsmodellen då dessa innehåller tappvarmvattenväxlare.

Tabell 4.5

Delposter i beräknade installationskostnader för de olika systemvarianterna enligt VCON-studien [33]. Alla priser är exklusive moms.

Installationskostnader (kr)						
			Distributions- ledning		Installationer i lägenheter/hus	Totalkostnad
			Separat krets	Undercentral		
36 lägenheter i flerbostadshus	Normalisolerat	Separat krets A1	557 700	285 000	2 106 000	2 948 700
		A1-EL	369 900	195 000	1 915 200	2 480 100
		Västeråsmodell B1	319 000	180 000	2 214 000	2 713 000
		B1-EL	319 000	178 000	2 023 200	2 520 200
	Passivt	Västeråsmodell B3	319 000	175 000	1 602 000	2 096 000
		B3-EL	319 000	168 000	1 411 200	1 898 200
36 småhus	Normalisolerat	Separat krets A2	1 919 700	435 000	3 546 000	5 900 700
		A2-EL	1 609 200	295 000	3 355 200	5 259 400
		Västeråsmodell B2	1 750 950	260 000	3 690 000	5 700 950
		B2-EL	1 750 950	257 000	3 499 200	5 507 150
	Passivt	Västeråsmodell B4	1 750 950	255 000	2 538 000	4 543 950
		B4-EL	1 750 950	244 000	2 347 200	4 342 150

Enligt resultaten i Tabell 4.3 har en separat vitvarukrets (A1 och A2) jämfört med Västeråsmodellen (B1 och B2) ungefär samma energikostnad. Detta är ett något förvånande resultat, eftersom systemet varken innehåller VVC eller en separat vitvarukrets som genererar värmeförluster. Orsaken till detta får en bättre förklaring genom att studera delposterna i energiberäkningen i Tabell 4.6. Här syns att distributionsförlusterna (värmeförluster från ledningar) är ca 40 % lägre (B1 jämfört med A1 och B2 jämfört med A2), men pumpenergin mer än fördubblas. Mest ökar kostnaden för pumpdrift i småhusområdet, eftersom också en del av fjärrvärmesystemet ersätts med ett sekundärsystem. Elanvändningen för pumpdrift är högre i Västeråsmodellen eftersom det totala flödet i kretsen är större än summerade flöden för fall med separat vitvarukrets. Att flödet är större i Västeråsmodellen är för att man där producerar varmvatten i respektive lägenhet/hus med hjälp av värmevattenkretsen.

Västeråsmodellen tycks alltså som förväntat minska värmeförlusterna, men ett ökat pumpelbehov åter alltså upp en del av de ekonomiska och miljömässiga vinster med systemlösningen. Men resultaten visar att om värmedrivna vitvaror och handdukstorkar skall användas är systemet totalt sett mest energieffektivt utav de studerade lösningarna.

Tabell 4.6

Beräknat årligt behov av värme och el för de olika systemvarianterna enligt VCON-studien [33].

Årligt energibehov för värme och el (kWh/år)										Andel värme till vitvaror och komfortvärme
			Uppvärmnings-behov	Värmeförluster i mark och rörschakt	värmebehov vitvaror och komfortvärmare	Totalt fjärr-värmebehov	pumpenergi	Elbehov vit-varor och kom-fortvärmare	Totalt elbehov	
36 lägenheter i flerbostadshus	Normalisolerat	Separat krets A1	308 880	4 852	73 620	387 352	2 851	2 448	4 729	19%
		A1-EL	308 880	2 591	0	311 471	377	76 068	76 369	0%
		Västeråsmodell B1	308 880	2 809	73 620	385 309	6 012	2 448	7 257	19%
		B1-EL	308 880	2 585	0	311 465	3 538	76 068	78 898	0%
	Passivt	Västeråsmodell B3	115 830	2 583	52 020	170 433	5 360	2 304	6 592	31%
		B3-EL	115 830	2 212	0	118 042	2 938	54 468	56 818	0%
36 småhus	Normalisolerat	Separat krets A2	518 400	69 100	73 620	661 120	6 539	2 448	7 679	11%
		A2-EL	518 400	44 948	0	563 348	3 947	76 068	79 226	0%
		Västeråsmodell B2	518 400	41 338	73 620	633 358	16 758	2 448	15 854	12%
		B2-EL	518 400	41 024	0	559 424	13 936	76 068	87 216	0%
	Passivt	Västeråsmodell B4	194 400	35 952	52 020	282 372	11 377	2 304	11 405	18%
		B4-EL	194 400	31 010	0	225 410	8 645	54 468	61 384	0%

Tabell 4.6 visar årliga energibehov av värme och el för de olika systemalternativen. Dessutom visas hur stor andel av värmebehovet som antas utgöras av värme till vitvaror och komfortvärmare som i normala fall skulle vara elvärmda. Det framgår att värmelasten ökar med 19 % i normaliserade flerbostadshus ($120 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$) och 31 % i passiva flerbostadshus ($45 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$). I enfamiljshusen ökar lasten med drygt 10 % i normaliserade hus och med 18 % i passivhus.

Av Tabell 4.6 framgår att pumpenergibehovet är ganska stort för Västeråsmodellen. Detta beror ju på att värmeflödet som skall cirkuleras blir högre när varmvatten produceras decentraliserat, men det är också ganska höga tryckfall på primärsidan (värmevattenkretsen) i de lokala tappvattenautomaterna för varmvattenproduktion. Detta gör att cirkulationspumpen på sekundärsidan måste upprätthålla högt tryck, vilket ökar energianvändningen jämfört med att använda konventionella radiator- och VVC-kretsar. En del av pumpenergibehovet bör kunna sparas om tryckfallet över tappvattenväxlarna kan sänkas, men bara till det differenstryck som krävs för att driva värmevattnet genom vitvarorna och dessa anslutningsrör, se Figur 5.3 på sidan 101.

4.3 Ekonomisk utvärdering

En utökad ekonomisk utvärdering enligt annuitetsmetoden [34] har genomförts baserad på de olika systemalternativen som energi- och kostnadsberäknats i VCON-studien [33]. Det innebär att första årets kostnader för energi och kapital har beräknats för samtliga alternativ. Dessutom har vissa tillägg och ändringar jämfört med grunddata i VCON-studien gjorts. Energiprestanda för maskinerna har uppdaterats enligt laboratorieprovning som redovisas i Tabell 4.8. Moms på alla priser har lagts till och maskinernas installations- och investeringskostnader har inkluderats i studien. Diskmaskinen som saknades i VCON-studien har inkluderats genom att dess kostnader och el- och värmeanvändning inkluderats i studien. Kostnad för rör och inkoppling av diskmaskin antas till 2500 kr/maskin inklusive moms, vilket är samma kostnad som antagits för anslutning av tvättmaskin och torktumlare i VCON-studien.

Värmeförluster i distributionsledningar inom lägenheten som inte kan antas komma uppvärmningen till godo har antagits utgöra 10 % av överförd värme, vilken adderats till värmeenergianvändningen. Detta är en grov skattning, baserad på antagandet att ca hälften av rörvärmeförlusterna bidrar till uppvärmningen. I studien av Persson och Rönnelid [39] kvantifierades rörförlusterna till ca 20 % av överförd värme till disk- och tvättmaskin. Totala energibalanser för de nya indata som använts i kostnadsberäkningen redovisas i Tabell 4.7 och Tabell 4.10.

Tabell 4.7

Investeringskostnader inklusive moms för de olika systemvarianterna baserade på VCON-studien [33] inklusive diskmaskin tvättmaskin och torktumlare korregerade för maskinernas kostnader enligt riktpislista för mars 2013. Redovisade kostnader inkluderar alltså kostnader för både konventionella maskiner och värmedrivna maskiner. Installationskostnader för de värmedrivna maskinerna antas vara 2500 kronor högre än för de elvärmda maskinerna. Enligt riktpislista från tillverkaren för mars 2013 är extrakostnaden för värmedriven diskmaskin: 3590 kr, för värmedriven tvättmaskin: 3281 kr och för värmedriven torktumlare: 1760 kronor inklusive moms.

Installationskostnader inklusive moms (kr)							
			Distributions-	Undercentral	installationer i		Totalkostnad
			ledning		lägenheter/hus	Kostnad vitvaror	
36 lägenheter i flerbostadshus	Normalisolerat	Separat krets A1	697 125	356 250	2 722 500	1 317 038	5 092 913
		A1-EL	462 375	243 750	2 394 000	1 006 313	4 106 438
		Västeråsmodell B1	398 750	225 000	2 857 500	1 317 038	4 798 288
		B1-EL	398 750	222 500	2 529 000	1 006 313	4 156 563
	Passivt	Västeråsmodell B3	398 750	218 750	2 092 500	1 317 038	4 027 038
		B3-EL	398 750	210 000	1 764 000	1 006 313	3 379 063
36 småhus	Normalisolerat	Separat krets A2	2 399 625	543 750	4 522 500	1 317 038	8 782 913
		A2-EL	2 011 500	368 750	4 194 000	1 006 313	7 580 563
		Västeråsmodell B2	2 188 688	325 000	4 702 500	1 317 038	8 533 225
		B2-EL	2 188 688	321 250	4 374 000	1 006 313	7 890 250
	Passivt	Västeråsmodell B4	2 188 688	318 750	3 262 500	1 317 038	7 086 975
		B4-EL	2 188 688	305 000	2 934 000	1 006 313	6 434 000

Maskinernas energiprestanda som redovisas i Tabell 4.8. är interpolerade från laboratoriemätningar av elanvändning vid framledningstemperatur 55°C respektive 80°C. Då mätdata endast innefattar elanvändningen har värmeanvändningen beräknats som skillnaden mellan elanvändning för motsvarande elvärmd maskin och en värmedriven på samma program och last. De varmvattenanslutna maskinernas prestanda har beräknats vid 55°C genom att interpolera mätdata mellan 60 graders varmvattentemperatur och 15 grader som är den vattentemperatur som används vid provning av en konventionell elvärmd maskin. Värmeanvändningen har beräknats genom att subtrahera elanvändningen för maskinen från elbehovet för konventionell elvärmd maskin.

Tabell 4.8

Vitvarornas energianvändning per cykel och per år som använts som underlag för den ekonomiska beräkningen för alternativet med ”hög användningsfrekvens”. För fallet med ”låg användningsfrekvens” har årlig energianvändning för maskinerna halverats jämfört med denna tabell. Årlig energianvändning är baserad på det årliga antal cykler som antas vid energimärkning som gäller från 20 dec 2011 [2, 3, 4] Dock har energianvändningen för tvättmaskin och torktumlare beräknats enbart utgående från full maskin och inte genom att vikta mellan full och halv last som anges i energimärkningsdirektiven [2, 4].

	El (kWh/cykel)	Värme (kWh/cykel)	Andel värme	Antal cykler (år)-1	El (kWh/år)	Värme (kWh/år)
Disk-EL	1.0	0.0	0%	280	280	0
Disk-VV 55°C	0.6	0.4	36%	280	180	100
Disk-HWC 60°C	0.5	0.5	50%	280	140	140
Tvätt-EL	1.1	0.0	0%	220	242	0
Tvätt-VV 55°C	0.6	0.5	48%	220	125	117
Tvätt-HWC 60°C	0.4	0.7	67%	220	79	163
Tork-EL	3.5	0.0	0%	160	562	0
Tork-VP	1.7	0.0	0%	160	269	0
Tork-HWC 60°C	0.7	2.8	80%	160	110	451

Underlaget till den beräknade årsenergianvändningen för maskinerna baseras på det antal cykler som anges i Europaparlamentets och rådets direktiv om energimärkning av vitvaror [4, 3, 2]. Energianvändningen för en normalsekvens med full last enligt Tabell 2.1, Tabell 2.2 och Tabell 2.3 multipliceras med ett visst antal årliga cykler enligt energimärkningen (Tabell 4.8). I energimärkningen skall dock energianvändningen för halv last och tvätt vid 40 grader viktas in, men detta har inte gjorts, vilket gör att den årliga energianvändningen som anges i Tabell 4.8 är lite högre än energimärkningen föreskriver. Med allt större tvätt- och torklaster kan detta bli något missvisande, eftersom konsumentlasterna normalt är mindre än maskinens maximala kapacitet [47].

I en studie av användarmönster och energianvändning för hushållsmaskiner [53] är energianvändningen lite lägre än vad vi beräknat i Tabell 4.8. Som framgår av Tabell 4.9 har en familj med barn i lägenhet en energianvändning för diskmaskinen på i genomsnitt 214 kWh/år, att jämföra med 280 kWh/år enligt energimärkningen i Tabell 4.8. Motsvarande familjetyp i enfamiljshus använder 236 kWh i medel. Äldre par och ensamstående hade i genomsnitt lägre energianvändning för diskmaskinen. De angivna medelvärdena tycks innefatta även familjer utan registrerad energianvändning för respektive maskintyp. Om detta beror på att familjen inte hade någon maskin installerad, eller om de inte använt maskinen under mätperioden framgår inte av rapporten, men vår gissning är att hushållet i de flesta fall har saknat den aktuella maskintypen. Om detta stämmer är de angivna data i Tabell 4.9 en underskattning av energianvändningen, eftersom förutsättningen i vår studie är att maskinen finns i hemmet.

Energibehov för tvättmaskinen för en familj med barn i småhus var 213 kWh/år i medel att jämföra med 242 kWh enligt energimärkningen. För övriga kategorier i studien var energianvändningen för tvättmaskinen lägre, men det kan som sagt bero på att personen saknar tvättmaskin och tvättar i gemensam tvättstuga.

Tabell 4.9

Årligt energibehov för olika familjetyper och årligt antal cykler i genomsnitt enligt mätdata från 400 hushåll [53].

	<i>Familj med barn</i> <i>(kWh/år)</i>	<i>Yngre par</i> <i>(kWh/år)</i>	<i>Äldre par</i> <i>(kWh/år)</i>	<i>Antal cykler (genomsnitt) (st/år)</i>
Småhus				
Diskmaskin	236	157	143	200
Tvättmaskin	213	151	107	230
Torktumlare	131	95	114	133
Lägenhet				
Diskmaskin	214	134	167	232
Tvättmaskin	167	95	-	150
Torktumlare	243	315	-	166

Tabell 4.10

Årligt behov av värme och el för de olika systemvarianterna enligt VCON-studien [33] korrigerade med senaste data på maskinernas el- och värmeanvändning för 60 graders framledningstemperatur och 10 % av överförd värme till maskinerna som värmeförluster.

Energibehov för el och värme (kWh/år)								
			Uppvärmnings-	Värmeförluster	Värmebehov vit-	Totalt	Elbehov vit-	Totalt
			behov	distribution	varor, handduks- tork, golvvärme	fjärrvärme- behov	pumpenergi tork, golvvärme	elbehov
36 lägenheter i flerbostadshus	Normalisolerat	Separat krets A1	308 880	4 852	87 458	401 190	2 851	11 866
		A1-EL	308 880	2 591	0	311 471	377	96 610
		Västeråsmodell B1	308 880	2 809	87 458	712 661	6 012	11 866
	Passivt	B1-EL	308 880	2 585	0	311 465	3 538	96 610
		Västeråsmodell B3	115 830	2 583	65 858	184 272	5 360	11 866
		B3-EL	115 830	2 212	0	495 737	2 938	75 010
36 småhus	Normalisolerat	Separat krets A2	518 400	69 100	87 458	674 958	6 539	11 866
		A2-EL	518 400	44 948	0	563 348	3 947	96 610
		Västeråsmodell B2	518 400	41 338	87 458	1 238 306	16 758	11 866
	Passivt	B2-EL	518 400	41 024	0	559 424	13 936	96 610
		Västeråsmodell B4	194 400	35 952	65 858	296 210	11 377	11 866
		B4-EL	194 400	31 010	0	225 410	8 645	75 010

Energianvändningen för torktumlare i lägenheter var i medel 243 kWh per år för en familj med barn och 315 kWh för familj utan barn, vilket verkar som om data förväx-lats av Zimmermann [53]). Energianvändningen för torktumlaren var lägre i småhus än i lägenheter, och det förklaras med att det är lättare att torka kläder ute eller i annat utrymme för villaägaren. En implikation för vår studie blir då att det är intressantare att installera värmedrivna torktumlare i lägenheter än i villor då dessa kan ha betyd-ligt högre användningsfrekvens.

Med hänsyn till den lägre användningsfrekvensen och energianvändningen som redo-visas i Tabell 4.9 jämfört med Tabell 4.8 och att vi vid beräkningen av årlig energian-vändning i Tabell 4.8 inte beaktat energianvändningen vid halv last studeras de eko-nomiska förutsättningarna både med den last som redovisas i Tabell 4.8 och en last som motsvarar ett halverat antal cykler.

4.3.1 Beräkning av kapitalkostnader

Kapitalkostnaden fördelas alltså på systemets ekonomiska livslängd och 1:a årets kapitalkostnader för investeringen K blir då:

$$K = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \cdot I \quad (4.1)$$

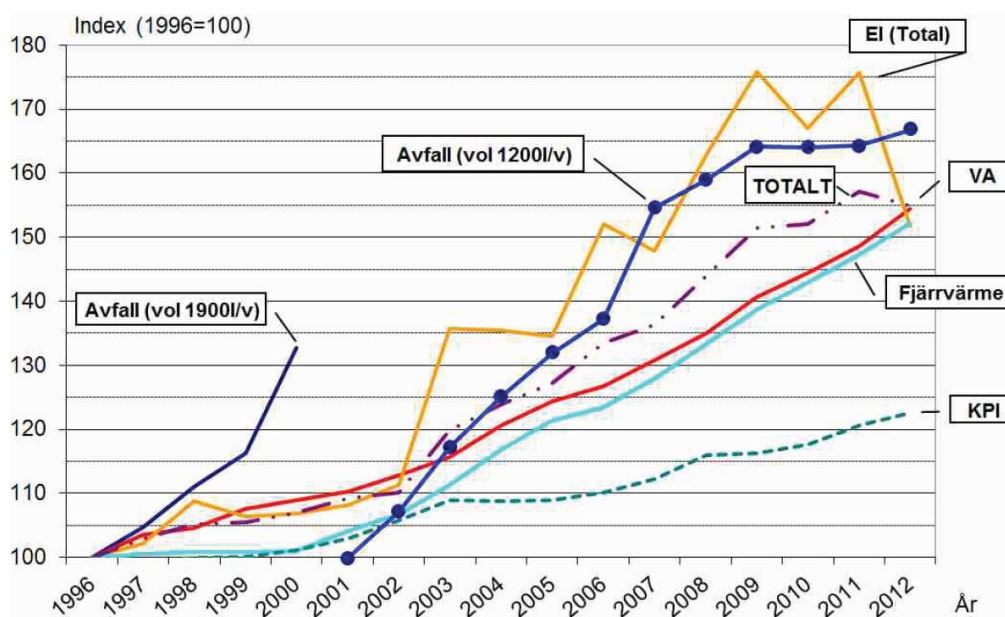
där r är kalkylräntan eller realräntan, n är antal år som investeringen skall betalas på (ekonomiska livslängden) och I är investeringskostnaden. Livslängden n sattes till 30 år för systemkomponenter under beaktande att vissa delar kan behöva bytas tidigare, men rörinstallationerna kan hålla betydligt längre. Vitvarorna är enligt ASKO dimen-sionerade för 16 till 20 års livslängd med de antal cykler som antagits i energiberäk-ningen och därmed antas en livslängd på 15 år. Inga kostnader för service och under-håll har inkluderats i studien.

Kalkylräntan beror på aktuella räntor och kan kompenseras för inflationen som gör att den relativa skulden minskar vid inflation. Som utgångspunkt i beräkningarna

antas en kalkylränta på 5 %, vilket kan tyckas lite högt i dagens läge, men räntan blir troligen högre framöver. Samtidigt är det sannolikt med en minskad tillväxt framöver och t.o.m. deflation, vilket gör att realräntan ökar.

4.3.2 Energikostnader

I Figur 4.5 redovisas energiprisutvecklingen i Sverige för bl.a. fjärrvärme och el i relation till konsumentprisindex. (KPI) mellan åren 1996 och 2012. Prisökningarna för el har fram till 2011 varit högre än för fjärrvärme, men senaste året har elpriserna faktiskt sjunkit. Det är svårt att sja om framtiden, men totalt mellan 1996 och 2012 har inte fjärrvärmepriset utvecklats positivt i jämförelse med elpriset, men så sent som förra året ökade elpriset snabbare än fjärrvärmepriset. Å andra sidan innebär de ständigt ökande energipriserna att prisskillnaden mellan el och fjärrvärme ändå har blivit större i absoluta tal (kronor räknat). Detta kan vi se i Figur 4.6 som redovisar energipris till kund där data sammanställts av Energimyndigheten [36]. Här saknas dock data för 2012, då elpriserna enligt Figur 4.5 alltså har sjunkit tillbaka till samma nivå som under 2006-2007. Utgående från Figur 4.6 skulle det i så fall innebära att elpriset under 2012 totalt sett har legat på ca 1,2 kr/kWh för elvärmda villor och ca 1,5 kr/kWh för lägenheter. Priserna i figur inkluderar även moms och den fasta abonnemangskostnad som inte påverkas av mängden köpt el, vilket gör att små förbrukare totalt sett får högre kostnader per kWh. Med anledning av ovanstående undersöks det ekonomiska utfallet för elpriser på 1,2 kr/kWh respektive 1,8 kr/kWh.

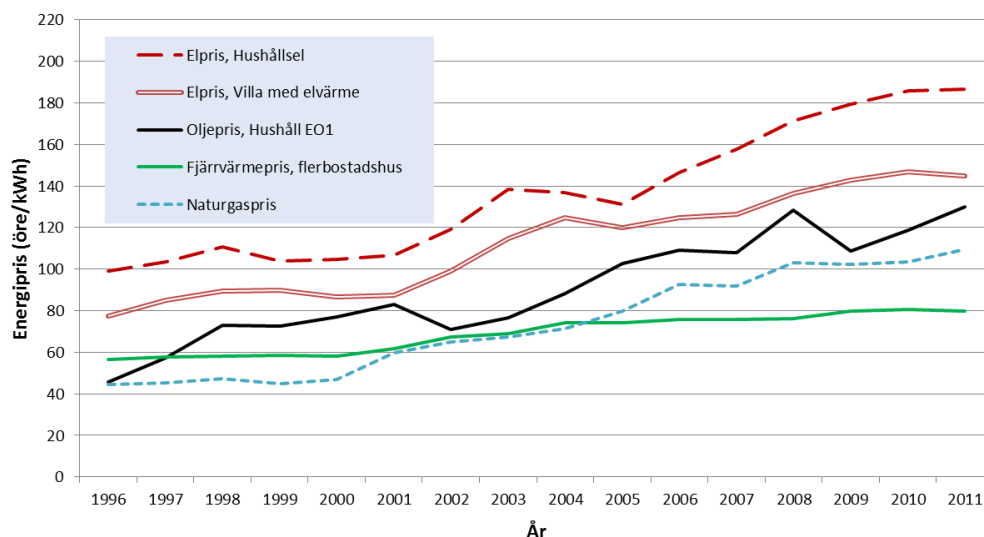


Figur 4.5. Utveckling av energipriser för fjärrvärme, el, vatten och avfallshämtning i relation till konsumentprisindex (KPI) mellan åren 1996 och 2012. Återgiven från [18] med tillstånd av Nils Holgersson-gruppen. Dessa priser innehåller moms och även fasta avgifter.

Fjärrvärmepriserna är något mer stabila över tid, men varierar kraftigt mellan olika orter. Enligt Nils Holgersson studien [18] varierar fjärrvärmepriserna i Sverige 2012 mellan 0,45 kr/kWh till 1,02 kr/kWh inklusive moms. Endast 8 orter har ett fjärrvärmepris under 0,6 kr/kWh. Medelvärdet i Sverige ligger på 0,80 kr/kWh. Dessa priser innehåller även den fasta avgiften fördelad på en viss energimängd. Därigenom är det rörliga energipriset lägre än vad som anges i rapporten. Utgående från detta studeras fjärrvärmepriser på 0,5 kr/kWh respektive 0,7 och 0,9 kr/kWh.

Energi- och kapitalkostnader (inklusive moms) för de olika systemen beräknade med annuitetsmetoden och beräkningsförutsättningar enligt Tabell 4.7 och Tabell 4.10 presenteras i Figur 4.7 till Figur 4.9.

Eftersom golvvärmen står för en förhållandevis stor andel av energianvändningen och därmed också för en relativt hög andel av den el som kan konverteras till fjärrvärme studeras i Figur 4.8 kostnaderna för alternativet då golvvärme inte inkluderas i studien. I detta fall har både extrakostnader för det golvvärmesystemet och dess energianvändning exkluderats. Det vattenbaserade golvvärmesystemet antas enligt VCON-studien kosta 7000 kr per lägenhet och det elvärmda golvvärmesystemet antas kosta 5000 kr/lägenhet och dessa kostnader exkluderat i Figur 4.8. Dessutom exkluderar den fjärrvärme eller el som golvvärmesystemet använder (1200 kWh/år i normaliserade husen och 600 kWh/år i passivhusen) och drift-el för cirkulationspumpen (5W per lägenhet).



Figur 4.6. Energiprisutveckling inom sektorn bostäder och service 1996 tom 2011 enligt Energi-myndigheten [36]. Priserna inkluderar även moms och fasta abonnemangskostnader.

Vid tolkning av resultaten från den ekonomiska utvärderingen skall följande beaktas:

- Kostnadsstudien är en teoretisk studie som bygger på projekterade och beräknade data vilket sällan överensstämmer med verkliga uppmätta data. Skillnaden i totalkostnad är liten och ligger i många fall inom felmarginalen.

- Inga kostnader för service och underhåll har inkluderats i studien, vilket innebär att dessa kostnader betraktas som likvärdiga för alla systemvarianter. Dock bedöms Västeråsmodellen ha större servicekostnader än de andra systemen, genom den distribuerade varmvattenproduktionen.
- Den ekonomiska analysen utgår från att alla kostnader hamnar på samma aktör. I verkligheten är det ju fastighetsägaren som installerar systemet och ibland också maskinerna men det blir hyresgästen eller lägenhetsinnehavaren som sparar energikostnader. För att tekniken skall bli kommersiellt gångbar måste fastighetsägaren kunna få betalt för investeringen via hyran eller andra samfällighetsavgifter. Att utveckla affärsmodeller för att kunna sälja in tekniken blir en förutsättning för implementering av tekniken.
- En schablonmässig korrektion för värmeförluster inom lägenheten på 10 % av överförd värme som inte nyttiggörs i uppvärmningen har inräknats, men ju mer välisolerat hus, desto mindre av värmeförlusterna nyttiggörs för uppvärmning, vilket inte beaktats i studien.
- Kulvertledningen i fallet med Västeråsmodellen antas vara bättre isolerade än motsvarande kulvertledningar i det konventionella systemet.
- Vid beräkning av sammanlagrat flöde från vitvaror har VCON beräknat ett sammanlagrat flöde för 36 st. tvätt och ett för 36 st. tork och sedan summerat detta istället för att räkna ett sammanlagrat flöde för 72 st maskiner. Detta bidrar till att pumpenergibehovet för vissa system kan vara något för högt.
- Västeråsmodellen möjliggör individuell mätning av all värme och varmvatten på ett enkelt sätt via enbart en energimätare. Inga kostnader för energimätare och anslutningsavgifter har inkluderats i studien.
- Osäkert hur mycket maskinerna kommer att användas och dess livslängd.
- Elenergibesparingen baseras på laboratoriemätningar och inte verklig drift.
- Ytterligare systemvarianter som kan vara intressanta, men som inte studerats är kombinationen VVC och vitvarukrets i passivhus. Man slipper då många tappvattenväxlare som är underhållskrävande och tryckuppsättningen för cirkulationspumpen och rördimensioner i vitvarukretsen kan minskas.

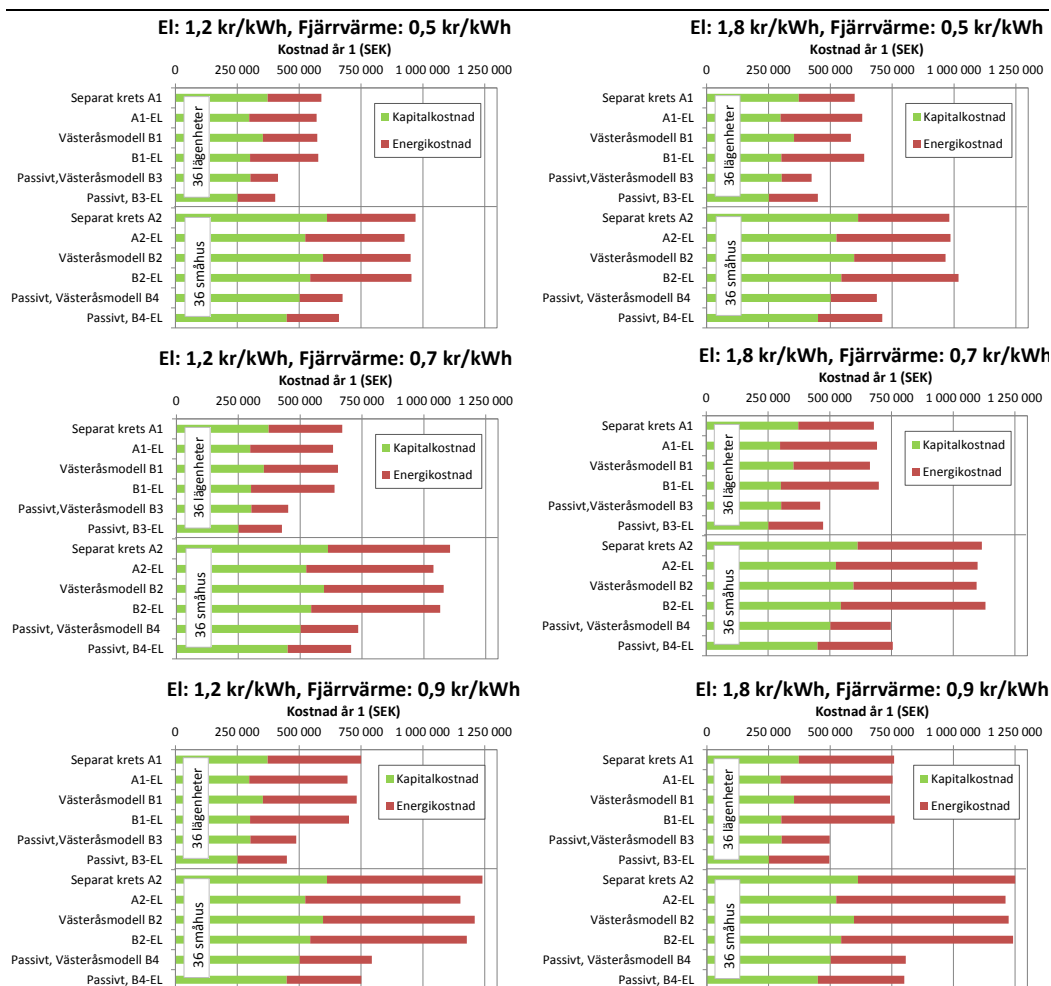
4.3.3 Ekonomisk utvärdering av systemkombinationer

Första årets kostnad för energi och kapital enligt annuitetsmetoden redovisas i Figur 4.7 t.o.m. Figur 4.9. I varje figur redovisas sex olika energiprisförhållanden i en matris. I Figur 4.7 redovisas resultat med maskinernas priser enligt riktpislista. I Figur 4.8 redovisas resultaten med maskinkostnader enligt målpriset 1000 kr extra per maskin inklusive moms. I Figur 4.9 redovisas resultaten med maskinpriser enligt riktpislista, men kostnad och energianvändning för komfortgolvvärmen har exkluderats i beräkningen.

Figur 4.7 visar att totalkostnadsskillnaden mellan de systemalternativ som baserar uppvärmningen på el respektive fjärrvärme som störst är ca 12 % (ca 80 000kr). Det är till fördel för konceptet med Västeråsmodellen B1 med värmedrivna vitvaror, handdukstork och golvvärme i normalisolerade flerbostadshus vid ett elpris på 1,8

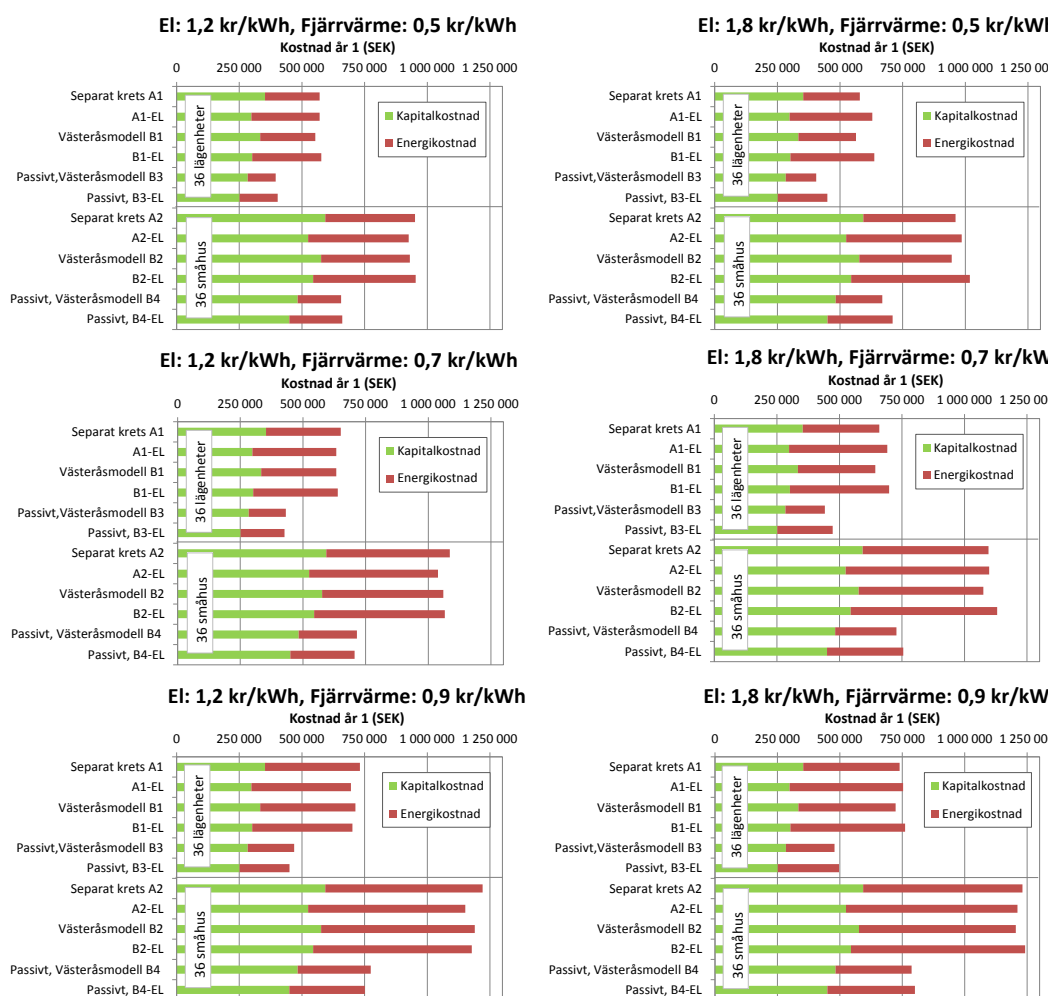
kr/kWh och fjärrvärmepriset 0,5 kr/kWh (inklusive moms). Generellt är det ändå ganska små skillnader i totalkostnad vilket innebär att resultaten kan förändras om antaganden förändras. Västeråsmodellen i flerfamiljshus (B1 och B3) är konkurrenskraftig mot de elvärmda alternativen A1-EL, B1-EL och B3-EL om prisskillnaden mellan el och fjärrvärme är större än 0,7 kr/kWh. Användning av en separat vitvarukrets för värmedrivna vitvaror ger lite högre kostnader, men kan motiveras vid prisskillnader mellan el och fjärrvärme som överstiger ca 0,9 kr/kWh inklusive moms.

För passiva småhus blir kostnaden för B4 och B4-EL likvärdig vid prisskillnader på 0,7 kr/kWh medan det krävs prisskillnader på 0,9 kr/kWh för normaliserade småhusområden om alternativet är ett konventionellt system A2-EL.



Figur 4.7. Första årets energi- och kapitalkostnader för 36 lägenheter/småhus med olika distributionssystem beräknade med annuitetsmetoden och baserad på systemkostnader och energianvändning enligt Tabell 4.7 t.o.m. Tabell 4.10. Alla priser inkluderar moms.

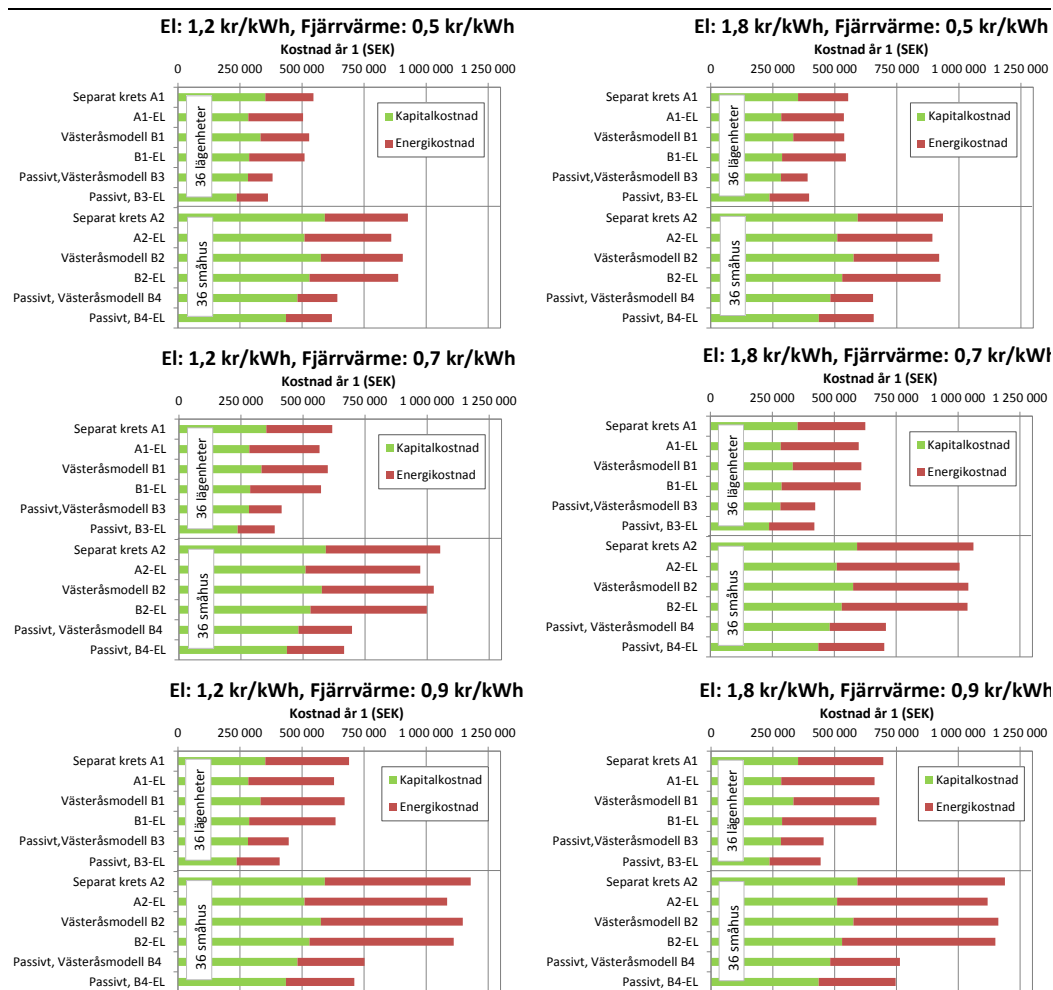
Västeråsmodellen med eldrivna vitvaror (B1-EL) och komfortvärmare har ungefär samma totalkostnader som en konventionell lösning A1-EL i flerfamiljshus, men något högre kostnader i småhus. Kalkylen inkluderar inte ett alternativ med konventionell fjärrvärme fram till varje hus och därför kan inga jämförelser göras med konventionell fjärrvärme.



Figur 4.8. Första årets energi- och kapitalkostnader för olika distributionssystem och vitvaror för 36 lägenheter/ småhus. Data är lika som i Figur 4.7 förutom att maskinkostnaden är baserad på målpriset på 1000 kr extra (inklusive moms) per maskin. Alla priser inkluderar moms.

Figur 4.8 visar motsvarande data som för Figur 4.7, men med målpriset 1000 kr extra per maskin inklusive moms. De sänkta maskinkostnaderna gör att Västeråsmodellen med värmedrivna vitvaror kan motiveras redan vid en prisskillnad på 0,5 kr/kWh i flerfamiljshus. I småhusområden blir Västeråsmodellen konkurrenskraftig vid en prisskillnad på 0,7 kr/kWh mellan el och fjärrvärme. Kostnadsänkningen förbättrar

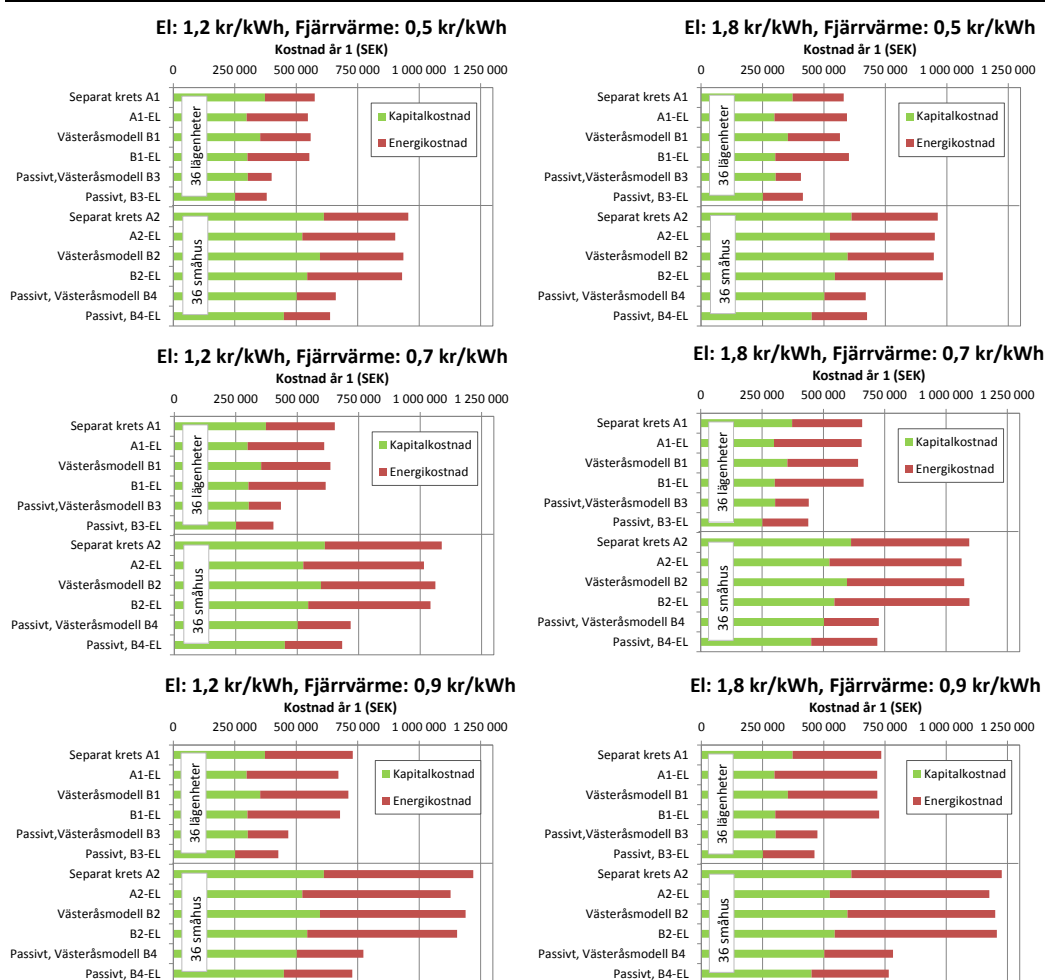
också läget i småhusen så att Västeråsmodellen kan motiveras vid prisskillnader på ca 0,7 kr/kWh.



Figur 4.9. Första årets energi- och kapitalkostnader för olika distributionssystem och vitvaror för 36 lägenheter/småhus Data är lika som i Figur 4.7 förutom att energianvändning och kostnad för komfortgolvvärme och dess cirkulationspumpar har exkluderats. Alla priser inkluderar moms.

I Figur 4.9 visas kalkylen då kostnader och energianvändning för komfortgolvvärme har uteslutits i kalkylen. Att exkludera golvvärme i studien försämrar de ekonomiska förutsättningarna för värmedrift, genom att den ersätter relativt mycket el till en relativt låg extrakostnad per lägenhet (vattenburen golvvärme är 2500 kr inklusive moms dyrare per lägenhet än elgolvvärme enligt VCON-studien [33]). Å andra sidan kan det tänkas att energianvändningen för handdukstorken blir högre istället om golvvärme inte installeras, men detta har inte beaktats i studien. Med dessa förutsättningar krävs energiprisskillnader på ca 1,1 kr/kWh för att Västeråsmodellen med värmedrift skall ge likvärdiga kostnader som motsvarande elvärt alternativ i normaliserade flerbö-

stadshus och passiva småhus. I passiva flerbostadshus nås likvärdiga kostnader vid energiprisskillnader på 0,9 kr/kWh. För normaliserade småhusområden uppnås inte lönsamhet för Västeråsmodellen för något av de studerade energiprisfallen.



Figur 4.10. Första årets energi- och kapitalkostnader för olika distributionssystem och vitvaror för 36 lägenheter/ småhus. Data är lika som i Figur 4.7 förutom att vitvarornas energianvändning och antal cykler har halverats. Alla priser inkluderar moms.

Totalt sett framstår Västeråsmodellen som en kostnadseffektivare lösning än en separat vitvarukrets i alla studerade fall i Figur 4.7 t.o.m. Figur 4.9. Detta gör att eventuella möjligheter att använda VVC-ledningen i befintliga småhus framstår som en mycket intressant lösning i befintliga flerbostadshus, men det kräver att legioella-problematiken kring detta kan lösas på ett kostnadseffektivt sätt (se avsnitt 3.5.1 på sidan 57).

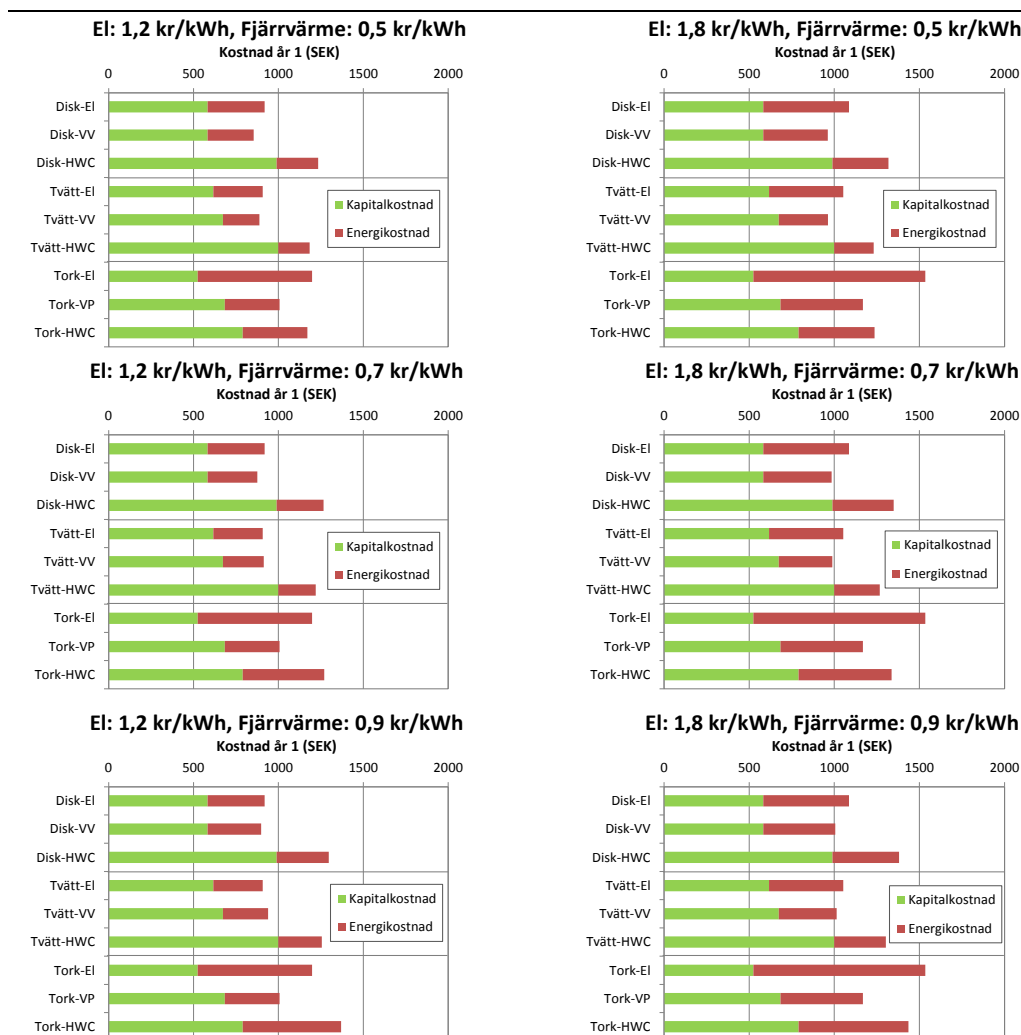
Värmelasten från värmedrivna vitvaror (disk, tvätt, tork) i bostäder utgör i bästa fall ca 700 kWh/år beräknat på det antal cykler som används för energimärkning [2-

4]. Mätning av verklig energianvändning för vitvaror i småhus och lägenheter visar att användningsfrekvensen kan vara lite lägre än så [53], kanske ner mot 300-400 kWh per år och lägenhet om värmeanvändningen beräknas utifrån denna last (Tabell 4.9). Med den lägre energianvändningen för vitvarorna blir de ekonomiska förutsättningarna för värmedrivna vitvaror sämre. Däremot behöver det inte heller bli direkt olönsamt. Om de värmedrivna vitvarorna kombineras med handdukstork och komfortgolvvärme enligt Västeråsmodellen kan konceptet med värmedrift räknas hem vid energiprisskillnader på ca 1 kr/kWh i flerbostadshus, trots halverad cykelfrekvens (Figur 4.10). Detta skall jämföras med ca 0,7 kr/kWh vid hög cykelfrekvens (Figur 4.7).

4.3.4 Ekonomisk utvärdering för enbart vitvaror

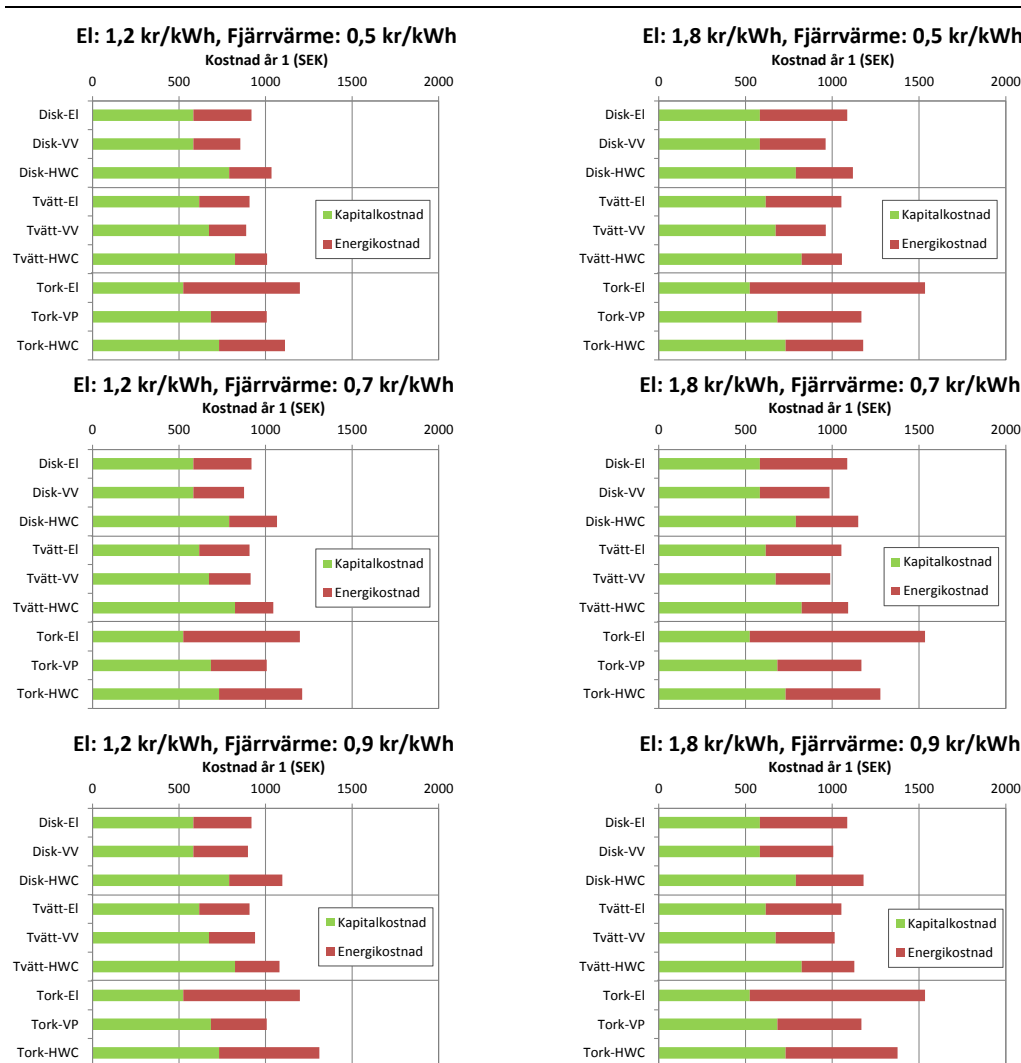
Flera småhusområden som redan har byggts i Västerås har Västeråsmodellen som systemlösning och de som är under planering bygger också på detta koncept. Västeråsmodellen tycks alltså användas oberoende av om värmedrivna vitvaror installeras eller inte. I flerbostadshus blir konceptet intressant om man vill tillämpa individuell värmemätning för respektive lägenhet. Av denna anledning är det intressant att utvärdera kostnader för värmedrivna vitvaror i jämförelse med tappvattenanslutna maskiner, värmepumpstumlare och konventionella maskiner givet att anslutningspunkten redan finns i lägenheten.

I Figur 4.11 jämförs energi och kapitalkostnader för Värmedrivna vitvaror (HWC) i jämförelse med tappvarmvattenanslutna och värmepumpstumlare samt konventionella vitvaror. Torktumlare som använder värmepumpsteknik kan halvera elenergianvändningen [12] och är en konkurrerande teknik som inkluderas i utvärderingen. Även i denna utvärdering är utgångspunkten maskinernas årliga energiprestanda enligt Tabell 4.8. I denna jämförelse inkluderas också en värmepumpsdriven tork som använder 1,68 kWh el per cykel jämfört med den konventionella torktummlaren som använder 3,51 kWh per cykel. Dels studeras maskinkostnader enligt riktprislista för april 2013 inklusive moms. I kalkylen inkluderas således priset för både HWC-maskinerna liksom motsvarande konventionell maskin, varmvattenanslutningen och Värmepumpstork. Dessutom undersöks ett fall där HWC-maskinerna kostar 1000 kr extra inklusive moms, vilket är målsättningen vid större serier.



Figur 4.11. Första årets energi- och kapitalkostnader inklusive moms för värmedrivna vitvaror (HWC) i jämförelse med konventionella vitvaror (EL), varmvattenanslutna (VV) och värmepumpstumlare (VP). Alla priser inkluderar moms.

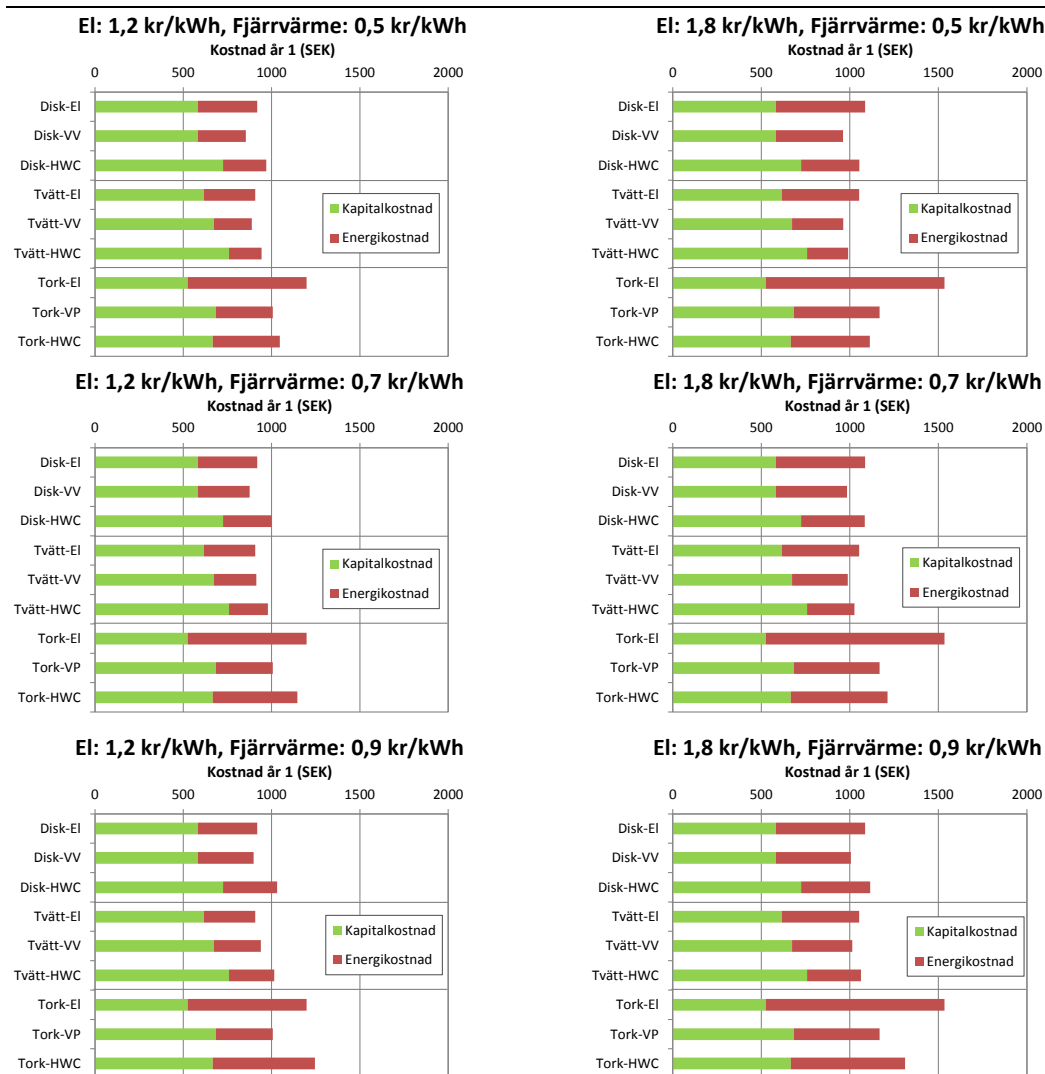
De ekonomiska förutsättningarna med anslutningskostnader enligt VCON på 2500 kr/maskin inklusive moms studeras i Figur 4.11 och i Figur 4.12 och en lägre anslutningskostnad på 1250 kr/maskin studeras i Figur 4.13. Livslängden har liksom tidigare satts till 15 år för vitvarorna (även för värmepumpstorken) och 30 år för installationer. För att kompensera för distributionsförluster som inte kommer uppvärmningen till godo ökas värmevattenbehovet med 10 %. Samma energipris intervall som tidigare studeras och kalkylräntan har satts till 5 %.



Figur 4.12. Första årets energi- och kapitalkostnader inklusive moms för värmedrivna vitvaror (HWC) i jämförelse med konventionella vitvaror (EL), varmvattenanslutna (VV) och värmepumpstumlare (VP). Data är lika Figur 4.11 förutom att värmedrivna vitvaror endast antas kosta 1000 kr extra. Alla priser inkluderar moms.

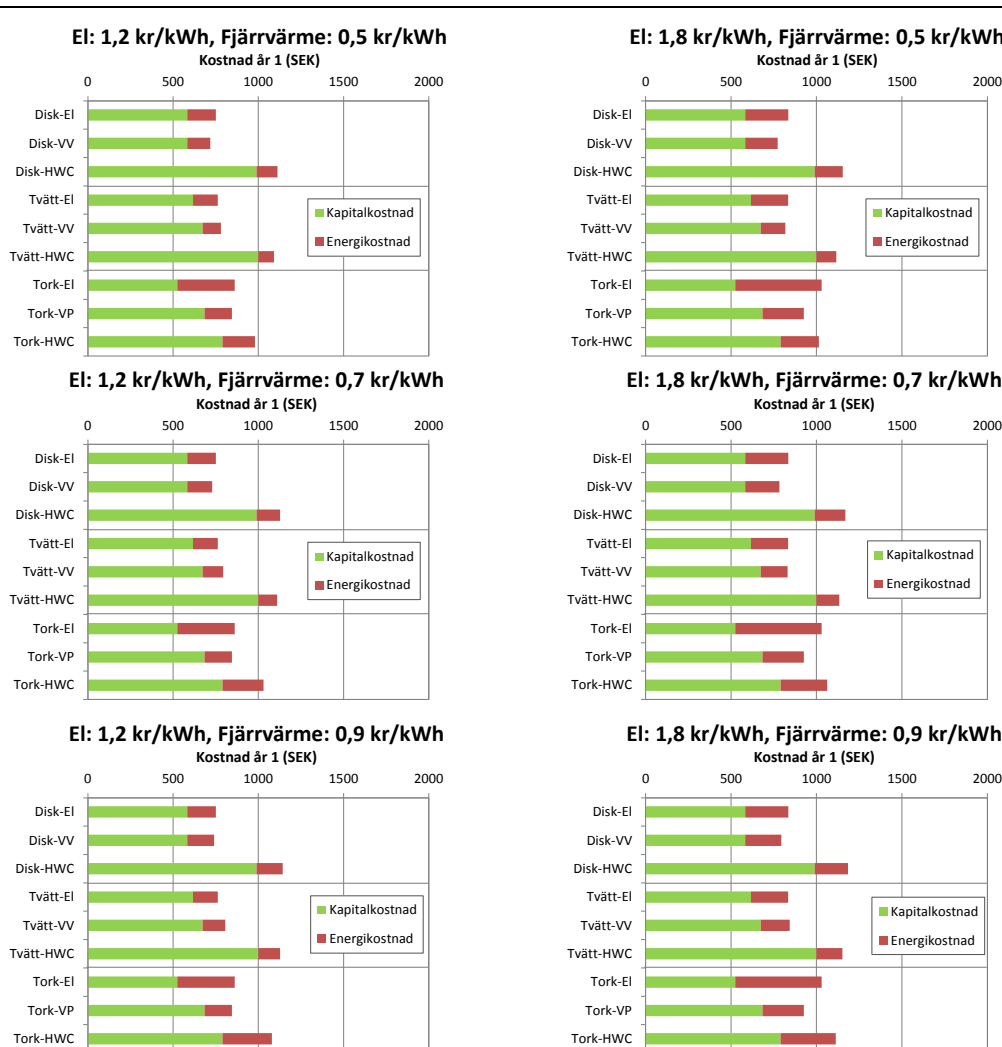
Figur 4.11 som redovisar kostnader med grunddata visar att torktumlaren är konkurrenskraftig mot elvärmad torktumlare vid energiprisskillnader på minst 0,7 kr/kWh men inte mot värmepumpstumlaren vid denna prisskillnad om livslängden för denna är lika lång som för den värmedrivna torktumlaren. Värmedrivna disk- och tvättmaskiner kan inte räknas hem med dessa förutsättningar oavsett energipris.

Varmvattenansluten diskmaskin ger alltid lägst kostnader, men elbesparingen är mindre än för HWC-maskinerna. Dessutom blir verklig besparing med varmvattenanslutning mindre i verkligheten, eftersom det inte alltid finns varmt vatten framme vid anslutningspunkten som det finns i laborietesterna. I verkligheten gör långa anslutningsledningar att elbesparingen med varmvattenanslutning blir lägre än i laborietestet, vilket visas av Persson och Rönnelid [39].



Figur 4.13. Första årets energi- och kapitalkostnader inklusive moms för värmedrivna vitvaror (HWC) i jämförelse med konventionella vitvaror (EL), varmvattenanslutna (VV) och värmepumpstumlare (VP). Data är lika Figur 4.12 förutom att anslutning av värmedrivna vitvaror antas kosta 1250 kr extra jämfört med konventionella kallvattenanslutna och varmvattenanslutna maskiner. Alla priser inkluderar moms.

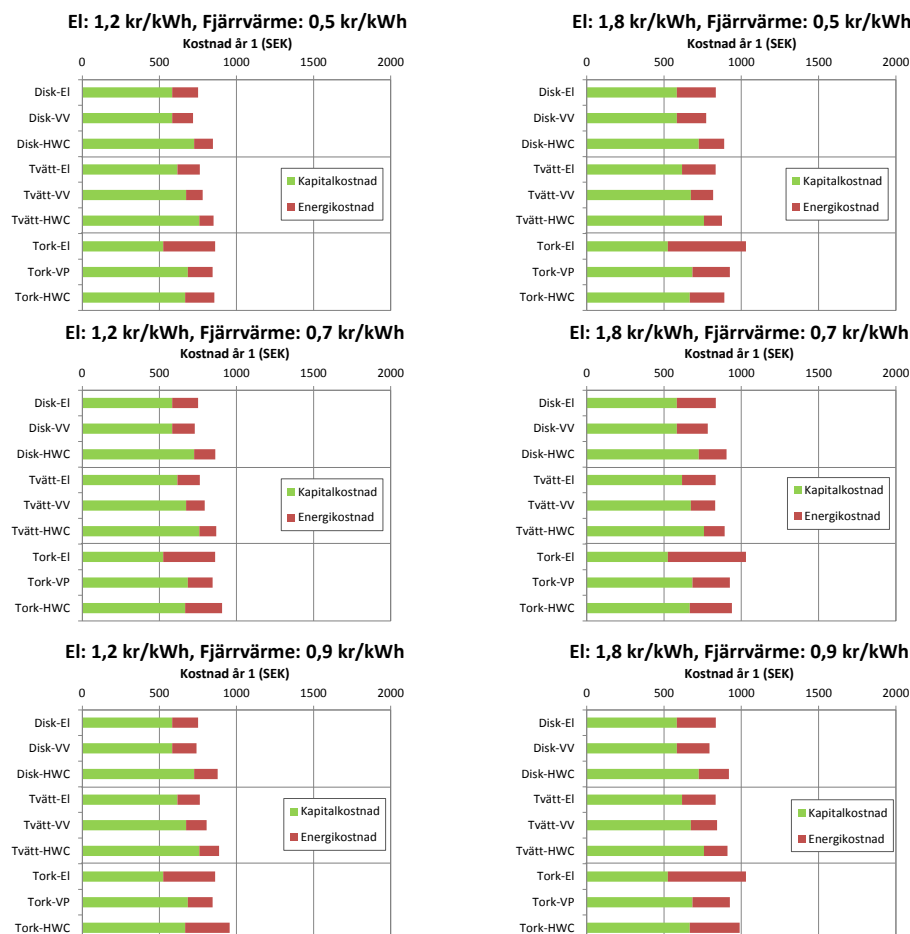
Vi kan se att kapitalkostnaden blir ganska hög jämfört med energikostnaden, vilket betyder att lång livslängd och många cykler är avgörande för att få bättre ekonomi för HWC-maskinerna. Enda möjligheten för värmedriven torktumlare att få bättre ekonomi än värmepumpstumlaren är om livslängden är längre, vilket inte antagits i denna studie



Figur 4.14. Första årets energi- och kapitalkostnader inklusive moms för värmedrivna vitvaror (HWC) i jämförelse med konventionella vitvaror (EI), varmvattenanslutna (VV) och värmepumpstorktumlare (VP). Data är lika Figur 4.11, förutom att antalet cykler och därmed energianvändningen har halverats. Alla priser inkluderar moms.

I Figur 4.12 görs kalkylen under antagande att extrakostnaden är endast 1000 kr extra per HWC-maskin, men denna kostnadssänkning är inte tillräcklig för att skapa konkurrenskraft för disk- och tvättmaskin

I Figur 4.13 görs kalkylen under antagande att extrakostnaden är endast 1000 kr extra per HWC-maskin och att extra anslutningskostnad per maskin är 1250 kronor mot tidigare 2500 kr. Under dessa antaganden blir diskmaskinen konkurrenskraftig vid energiprisskillnader från 1,1 kr/kWh och tvättmaskinen från 0,9 kr/kWh. Således kan vi dra slutsatsen att maximalt ca 1000 kr extra per maskin och ca 1250 kronor i anslutningskostnad per maskin är kostnader som krävs för att HWC-disk och tvätt skall vara konkurrenskraftig mot konventionella maskiner.



Figur 4.15. Första årets energi- och kapitalkostnader inklusive moms för värmedrivna vitvaror (HWC) i jämförelse med konventionella vitvaror (EI), varmvattenanslutna (VV) och värmepumpstorktumlare (VP). Data är lika Figur 4.13, förutom att antalet cykler och därmed energianvändningen har halverats. Alla priser inkluderar moms.

I Figur 4.14 och Figur 4.15 minskas antalet driftcykler till hälften för att total energianvändning bättre skall stämma överens med faktisk energianvändning för vitvaror enligt en fältstudie av Zimmermann [53]. Med det lägre antalet cykler blir det svårt att räkna hem diskmaskiner och tvättmaskiner oavsett pris. I grundfallet med nuvarande priser kan endast torktumlaren räknas hem mot den elvärmda och det vid energiprisskillnader på 1,3 kr/kWh. Med de lägre maskin- och anslutningskostnaderna i Figur 4.15 kan torktumlaren räknas hem vid energiprisskillnader på 0,7 kr/kWh.

Det är alltså lättare att räkna hem värmedrivna vitvaror som helt koncept som Västeråsmodellen, då energianvändningen för komfortvärmarna hjälper till att bära en del av extrakostnaden för vitvarorna. Det är möjligt, men inte säkert att det ger bättre ekonomi för Västeråsmodellen om diskmaskin och tvättmaskin utesluts, eftersom det också minskar värmeunderlaget, medan värmeförluster och pumparbete är konstant.

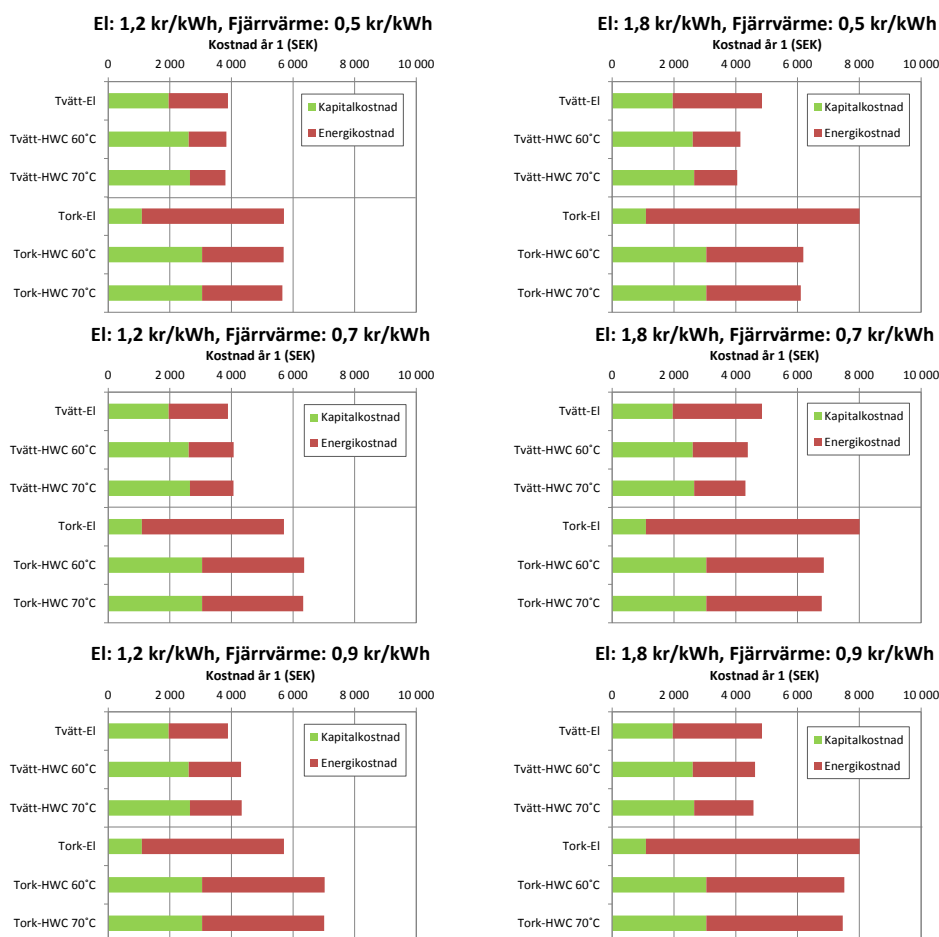
Att använda en värmedriven diskmaskin och tvättmaskin istället för en eldriven för-sämrar alltså lönsamheten i de kalkyler som genomförs i avsnitt 4.3.3, men totalt sett i kalkylen är besparingen endast 15 030 kr/år vid hög cykelfrekvens, respektive 16 668 kr/år vid låg cykelfrekvens. Detta motsvarar drygt 35 kr per månad och lägenhet i ökad hyra. Är det då värt att utesluta diskmaskinen om man ändå gör sig besväret med värmedrivna vitvaror för att utöka värmeunderlaget?

4.3.5 Ekonomisk utvärdering för fastighetstvättstugor

I fastighetstvättstugor är användningsfrekvensen högre och betydligt fler cykler körs per år än i en konsumentmaskin. ASKOS fastighetsmaskiner är dimensionerade för 15 000 cykler. Antagandet i denna kalkyl bygger på att tvättmaskinen körs fyra cykler per dag och att torktumlaren körs tre cykler per dag. Det ger en beräknad livslängd på 10 år för tvättmaskinen och 15 år för torktumlaren. Övriga data är lika som i tidigare studier förutom att priserna för proffssmaskinerna är högre. Dock är extrakostnaden för att erhålla värmedrivna maskiner på proffssidan lägre. Enligt riktpislista från tillverkaren från Mars 2013 är extrakostnaden för en värmedriven tvättmaskin 425 kr och för en värmedriven torktumlare 1471 kr inklusive moms.

Eftersom anslutningskostnaden kan variera avsevärt från fall till fall gjordes ingen beräkning av denna. Istället justerades anslutningskostnaden i kalkylen så att årskostnaden för de värmedrivna maskinerna blir likvärdiga vid energiprisskillnader mellan el och fjärrvärme på 0,7 kr/kWh. Därmed visar kalkylen vilka kostnader för distributionssystemet som vitvarorna kan bära.

Figur 4.16 visar då att tvättmaskinen kan bära anslutningskostnader på 10 000 kr och torktumlaren kostnader på 28 000 kr. Vid lägre anslutningskostnader blir alltså värmevattenanslutningen lönsam.



Figur 4.16. Ekonomisk utvärdering av tvättmaskin och torktumlare i fastighetstvättstuga för el-värmda maskiner i jämförelse med värmedrivna maskiner med framledningstemperaturen 60°C respektive 70°C. Kostnader är beräknade för en livslängd på 15 000 cykler och en anslutningskostnad av 10 000 kr för tvättmaskinen och 28 000 kr för torktumlaren. Torktumlaren antas alltså bära en större del av anslutningskostnaden så att kostnadsjämnvikt nås vid energiprisskillnader på 0,7 kr/kWh. Alla priser inkluderar moms.

5 ANVISNINGAR FÖR PROJEKTERING

I detta avsnitt sammanställs hittills gjorda erfarenheter och rekommendationer kring hur distributionssystemet kan dimensioneras och konstrueras. Det är många parametrar att ta hänsyn till och även för en VVS-ingenjör finns vissa egenheter med denna teknik som man bör känna till.

5.1.1 Maximal icke cirkulerad rörlängd

I värmedrivna disk- och tvättmaskiner öppnas magnetventilen i värmekretsen när maskinen kallar på värme, istället för att som i konventionella maskiner direkt slå på el-elementet. Vattnet som strömmar genom maskinen kommer initialt att vara rumstempererat och väntetiden på att varmt vatten når maskinen beror på ledningslängd och rördimension. Enligt tillverkaren växlar vitvarorna till el om tempstegringen under 4 minuter underskrider 2°C . Denna tidsgräns innefattar alltså att varmt vatten skall hinna fram till maskinen och dessutom hinna värma upp maskinen minst två grader.

Enligt mätdata är tiden för att disk- resp. tvättmaskinen skall nå två graders temperaturhöjning vid värmevattenflödet $1,6 \text{ l/minut}$ och 60 graders framledningstemperatur vid full last ca 67 sekunder för diskmaskinen och ca 45 sekunder för tvättmaskinen. Tabell 5.1 visar maximal teoretisk rörlängd för att varmt vatten skall hinna fram och värma maskinen minst två grader inom tidsgränsen på fyra minuter. Hänsyn har tagits för värmekapacitet i rörväggen, som motsvarar mellan 1,7 och 6,5 % av värmeinnehållet i vattnet. Värmekapaciteten för PEX-rören är beräknade utgående från en densitet på 938 kg/m^3 och specifika värmekapaciteten $2,3 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ [14] och för kopparrören användes densiteten 8954 kg/m^3 och värmekapaciteten $0,383 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ [29].

Med ovan nämnda antaganden blir maximal rörlängd beroende på rördimension enligt Tabell 5.1. För den rekommenderade anslutningsdimensionen för två maskiner på 12 mm (avsnitt 5.4) blir maximal rörlängd 41 meter, men med 15 mm rör blir den bara 24 meter. Värmeförlusterna ökar med ökad rördimension och av denna anledning skall rördimensionen vara så liten som möjligt. Storlek på värmeförlusterna som funktion av rördimension för respektive maskins anslutningsledning kan uppskattas med hjälp av Figur 3.1 på sidan 56. Värmeförlusterna från torkskåpet kan antas vara likvärdiga med värmeförlusterna från torktumblaren.

Tabell 5.1

Beräknad maximal rörlängd utan vattencirkulation för att maskinen inte skall växla över till eldrift innan varmt vatten når fram. Maskinen växlar till eldrift efter fyra minuter om inte maskinens temperaturgivare registrerat en temperaturhöjning på minst 2°C. Tiden för att disk- resp. tvättmaskinen skall nå två graders temperaturhöjning vid värmevattenflödet 1,6 l/ minut och 60 graders framledningstemperatur vid full last har uppmätts till ca 67 sekunder för diskmaskinen och ca 45 sekunder för tvättmaskinen. Rörlängden är beräknad för att varmt vatten skall hinna fram på resterande tid hänsyn tagen till rörens värmekapacitet och uppmätt uppvärmningstid (utan säkerhetsmarginal). I en verklig anläggning krävs alltså en viss säkerhetsmarginal. Observera att om flödet är lägre än 1,6 l/minut blir både uppvärmningsförloppet och tiden för att få fram varmt vatten längre, vilket kortar möjlig rörlängd.

Rördimension	Innerdiameter	Volym per meter	Maximal teoretisk rörlängd	
			Disk	Tvätt
Kopparrör	(mm)	(liter/m)	(m)	(m)
Cu 8*0,8 mm	6,4	0,032	143	154
Cu 10*0,8 mm	8,4	0,055	83	91
Cu 12*1,0 mm	10,0	0,079	59	64
Cu 15*1,0 mm	13,0	0,133	35	38
Cu 18*1,0 mm	16,0	0,201	23	25
Cu 22*1,0 mm	20,0	0,314	15	16
Pexrör				
PEX 12*2,0 mm	8,0	0,050	92	97
PEX 15*2,5 mm	10,0	0,079	59	62
PEX 18*2,5 mm	13,0	0,133	35	37
PEX 22*3,0 mm	16,0	0,201	23	25
PEX 28*4,0 mm	20,0	0,314	15	16

5.2 Systemlösning för nya bostadshus

Flerbostadshus

I den ekonomiska utvärderingen i avsnitt 4.3 jämförs totala energi- och kapitalkostnader för både Västeråsmodellen (Figur 4.2, och Figur 4.4) och för system med separat vitvarukrets (Figur 4.1 och Figur 4.3). Sammanfattningsvis innebär Västeråsmodellen något lägre totala kostnader än användande av separat vitvarukrets i normalisolerade flerfamiljshus. Det skiljer t.ex. bara 40 000 kr (exklusive moms) mellan det konventionella systemet A1-EL och Västeråsmodellen utan vitvaror B1-EL (Tabell 4.5) vilket klart ligger inom felmarginalen. Dock har pumpenergibehovet beräknats vara lite högre, men en bidragande orsak är att för höga sannolika flöden antagits i beräkningen och att tappvattenvärmeväxlarna och dess styrventil har onödigt höga tryckfall. Skall man tillämpa individuell mätning av energi för värme och varmvatten är dock Västeråsmodellen ööverträffad. Den möjliggör dessutom installation av värmedrivna vitvaror och handdukstorkar på ett enkelt och förhållandevis billigt sätt.



Figur 5.1. En av huskropparna i Råseglet i Västerås under uppförande där distributionssättet följer Västeråsmodellen (Figur 4.2), dock utan golvvärme i badrum. Till höger syns cirkulationspumparna för sekundärkretsen och nederst till vänster syns ett diskbänksskåp där ledningar för värme kretsen skall kopplas samman. Fotot togs i december 2012. Inflyttning sker i etapper under 2013.

Småhus

För småhusområden är investeringskostnaden beräknad att vara lite högre för Västeråsmodellen B2-EL jämfört med ett system A2-EL (Tabell 4.5) där värme och VVC distribueras i kulvertledningar från värmecentralen. Lite förvånande är kanske att värmeförlusterna inte beräknats vara särskilt mycket lägre i B2-EL, trots hälften så många rör. Dessutom har pumpenergiebehovet beräknats vara 3,5 gånger högre för Västeråsmodellen (Tabell 4.6).

Sammantaget visar dock resultaten i denna studie att Västeråsmodellen kan rekommenderas i flerfamiljshus och i småhusområden och att värmedrivna vitvaror och handdukstorkar samt komfortgolvvärme kan motiveras ur ekonomisk synvinkel från och med då elpriset är ca 0,7 till 0,9 kr högre än fjärrvärmepriset. Dock finns en reservation för att om användningsfrekvensen och därmed energianvändningen är lägre än antaget så försämras de ekonomiska förutsättningarna.

5.3 System för befintliga bostadshus

I befintliga flerbostadshus bedöms installation av en separat vitvarukrets för lägenhetsmaskiner i de allra flesta fall bli alltför kostsamt om inte både varmvatten och värmesystemet skall bytas ut. Det gör att inkoppling på VVC-ledningen blir den enda ekonomiskt tilltalande möjligheten i befintliga bostadshus. I avsnitt 3.5 på sidan 56,

diskuterar möjligheterna och hindren för att använda VVC-kretsen som distributions-system och slutsatsen är att det inte kan rekommenderas utan att föreslagna lösningar provas och legionellasäkerheten utvärderas, samt att skall kravet i BBR som begränsar att temperaturen inte under någon gång får understiga 50°C förändras.

En begränsande teknisk faktor för anslutning av vitvaror till befintliga VVC-ledningar (om de inte dimensionerats för handdukstorkar) är att cirkulationspump och VVC-ledningar kan vara för klena. En annan viktig aspekt är att det finns tillräckligt differensstryck mellan framledning och returledning för att driva flödet genom maskinerna. Här blir diskmaskinens högre tryckfall jämfört mot tvätt- och tork extra problematisk (Figur 5.3 på sidan 101).

Pumpstyrning

I befintliga småhus används mycket sällan VVC-ledningar och därmed är en separat vitvarukrets den enda troliga lösningen. I vitvarukretsar med ett fåtal maskiner anslutna fås långa stilleståndsp perioder och att cirkulationspumpen då arbetar mot stängda ventiler är inte energieffektivt, även om pumpen är tryckstyrd och varvtalet sänks. En bättre lösning för att minimera elanvändningen är att cirkulationspumpen startas och är i drift, endast när någon av maskinerna kallar på värme. Detta låter sig göras via ett i maskinen inbyggt reläkort. Brytaren på reläkortet sluts när maskinen kallar på värme och genom att ansluta en extern spänningskälla kan denna signal används för att starta cirkulationspumpen. Se respektive installationsanvisning [9, 7, 8].

5.4 Sannolika flöden och rördimension

Dimensionerande värmefflöden för värmedrivna vitvaror är ca 1,6 liter per minut, men flödet kan säkerligen tillåtas variera mellan 1,5 och 2 liter per minut utan att det är till någon större nackdel. Vid för höga flöden ökar returtemperaturen och vid för låga flöden går uppvärmningsförloppet för långsamt, och elersättningsgraden blir lägre. Lämplig rördimension med hänsyn till värmeförluster och tryckfall diskuterades i avsnitt 3.3 på sidan 53 och i Figur 3.1 redovisas beräknade förluster från anslutningsledningar till disk- och tvättmaskin samt torktumlare.

När använda klen dimensionerade anslutningsledningar?

Av Figur 3.1 på sidan 56 framgår att värmeförlusterna ökar med ökande rördimension. Med hänsyn till värmeförluster rekommenderas att en kopplingsledning till en enstaka maskin utgörs av ett rör med innerdiameter på ca 8 mm, vilket ger ett tryckfall på ca 400 Pa/m för kopparrör och 520 Pa/m för PEX-rör (Tabell 5.2). Detta är betydligt högre tryckfall än gängse rekommendationer för värmeledningar som ligger på 100 Pa/m. Det kan vara berättigat att minska rördimensionen i maskinernas anslutningsrör för att minska värmeförlusterna om detta kan ske utan att pumptrycket behöver ökas. T.ex. kan de maskiner som ligger närmare cirkulationspumpen anslutas med klenare ledningar utan att det påverkar pumpens dimensionerande tryck och det är egentligen enbart de maskiner som ligger längst bort i systemet som behöver anslutas

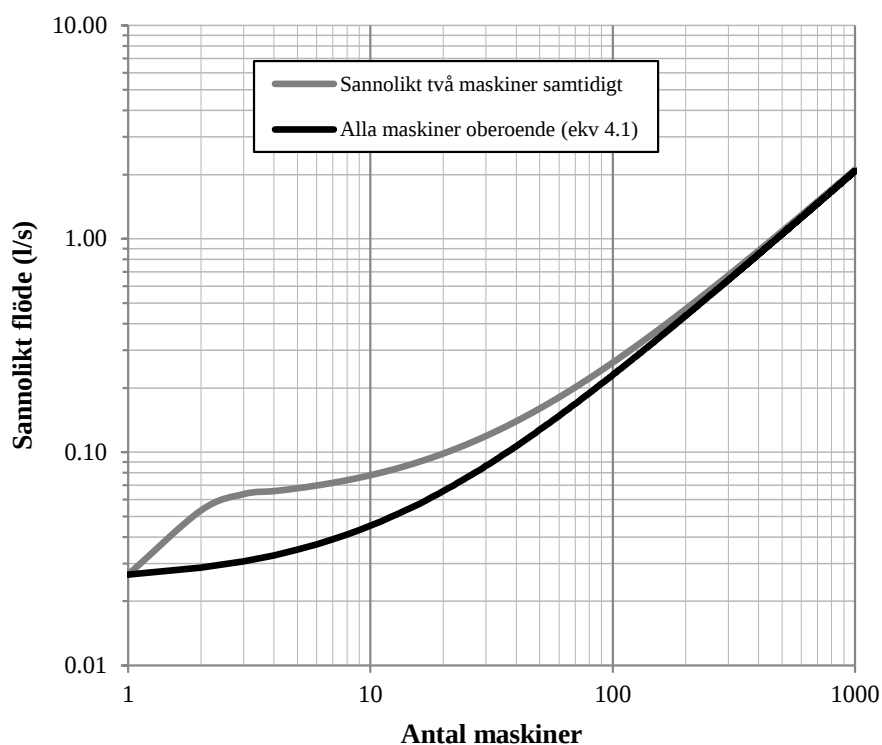
med rör dimensionerade för maximalt 100 Pa/m för att hålla nere cirkulationspumpens tryckuppsättning.

Klenare rördimensioner än normalt kan också motiveras i Västeråsmodellen om tappvarmvattenväxlarna kräver ett högre tryck än vitvarorna och det därmed finns ett högre tillgängligt tryck som kan användas för att koppla maskinerna med klenare ledningar än VVS-praxis föreskriver.

Ytterligare en aspekt att beakta vid dimensionering av rörledningarna är att maskinernas interna tryckfall är ganska olika (se Figur 5.3). Diskmaskinen har ett tryckfall på 300 mbar, vilket motsvarar 30 000 Pa eller drygt 3 mvp vid dimensionerande flöde på 1,6 liter per minut. Det är nästan tre gånger så högt tryckfall som de andra maskinerna. Ofta är det också diskmaskinen som ligger längst från värmekällan och det kan begränsa möjligheten att använda klena rördimensioner och minimera värmeförlusterna för diskmaskinen.

För två eller tre maskiner där det är sannolikt att uppvärmningsförloppet i två maskiner sker samtidigt, t.ex. en tvättmaskin och en torktumlare i samma lägenhet, rekommenderas rör med innerdiameter på mellan 10 till 13 mm. Då fås ett tryckfall på mellan 200 och 900 Pa/m. Finns tillräckligt tryck i nätet utan att cirkulationspumparna måste dimensioneras upp rekommenderas 10 mm innerdiameter till två eller tre maskiner, eftersom värmeförlusterna ökar med ökad rördimension [39].

Sannolika flöden beräknas lämpligen enligt grå kurva i Figur 5.2. Denna kurva beaktar att det är sannolikt att både torktumlare och tvättmaskin används samtidigt i en lägenhet. Torktumlare och torkskåp ger långa sammanhängande drifttider och det är sannolikt att tvättmaskin och torktumlare i samma lägenhet används samtidigt.



Figur 5.2. Sannolikt flöde som funktion av antal maskiner under antagande att dimensionerande flöde för en maskin är 1,6 l/minut. Svart kurva är beräknad enligt ekvation 4.1 och bygger på antagandet att alla maskiner är helt oberoende. Med den ljusgråa kurvan beaktas att sannolikheten för att både torktumlare och tvättmaskin värmer samtidigt är hög. Dessa rekommendationer får gälla tills bättre underlag kan inhämtas från demonstrationsobjekten.

När sannolikt flöde är bestämt väljs värmeledningarnas dimension, om det är möjligt med hänsyn till tryckfallet enligt ovanstående rekommendationer, annars enligt vedertagen VVS-praxis, t.ex. via nomogram i VVS-handboken med maximalt tryckfall på 100 Pa/m [51].

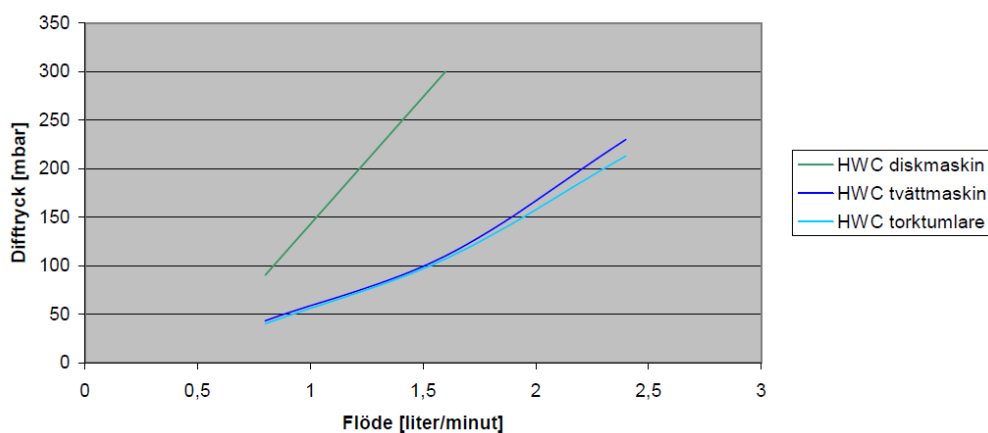
Den svarta kurvan i Figur 5.2 har beräknats med ekvation 4.1. Grunden för denna kurva är antagandet att alla maskiner (tappställ) används oberoende av varandra, men så är inte fallet om det finns tvättmaskiner och torktumlare i samma lägenhet. Den gråa kurvan är kompenserad för sannolikheten att minst två maskiner i en lägenhet har samtidig uppvärmningsfas.

Tabell 5.2

Friktionstryckfall i kopplingsledningar vid värmeflödet 1,6 respektive 3,2 liter per minut [1, 51].

Rördimension	Innerdiameter	Flöde 1,6l/minut	Flöde 3,2 l/minut
Kopparrör	(mm)	(Pa/m)	(Pa/m)
Cu 8*0,8 mm	6,4	1600	-
Cu 10*0,8 mm	8,4	400	2000
Cu 12*1,0 mm	10,0	175	900
Cu 15*1,0 mm	13,0	175	260
Pexrör			
PEX 12*2,0 mm	8,0	520	1850
PEX 15*2,5 mm	10,0	180	650
PEX 18*2,5 mm	13,0	50	200

HWC-produkter - Difftryck som funktion av flöde



Figur 5.3. Uppmätta tryckfall över värmevattenkretsen för diskmaskin, tvättmaskin och torktumlare.

5.5 Värmeförluster

För att begränsa värmeförluster i kopplingsledningar skall alltså minsta möjliga rördimension användas och ledningarna bör isoleras omsorgsfullt. Speciellt gäller detta ledningar som gjuts in i betong [43] och ledningar till torktumlare och torkskåp som har längre sammanhängande driftstider än disk- och tvättmaskiner.

Då ett fåtal maskiner kopplas till en värmekrets skall cirkulationspumpen aktiveras av maskinen via dess reläkort. Se avsnitt 5.3 om pumpstyrning på sidan 97.

De värmeförluster som diskuteras ovan gäller för icke cirkulerade värmekretsar. Om det förekommer varmhållning av cirkulationskretsar uppstår i regel stora värmeförluster och dessutom är det en anledning till höga returtemperaturer i fjärrvärmenäten. Cirkulerande varmhållna värmekretsar som endast betjänar vitvaror bör alltså undvikas, då värmeförlusterna riskerar att vida överstiga levererad värmemängd. Med västeråsmodellen sker varmhållning av värmekretsen fram till tappvattenväxlarna och från dessa kan sedan vitvarorna anslutas utan cirkulationsledningar. Värmeförlusterna är också beroende av den returtemperatur som erhålls. Av denna anledning är det viktigt att inga tjuvläckage förekommer i systemen som gör att vattnet cirkulerar i onödan. Ett tänkbart fel i system med värmedrivna vitvaror är t.ex. att magnetventilen i en diskmaskin inte sluter helt tätt utan att värmevatten ständigt cirkulerar genom maskinen. Om det visar sig att sådana fel uppkommer behöver maskinen upptäcka och varna för denna typ av fel.

5.6 Dimensionerande värmeeffekt

Värmeeffekten som tas ut av en maskin varierar under uppvärmningscykeln. Den är som högst precis när uppvärmningssekvensen inleds och lägre senare när maskinens arbetstemperatur och returtemperatur stiger. Se Figur 2.3 på sidan 21 för diskmaskinen och Figur 2.6 på sidan 24 för tvättmaskinen. Uttagen värmeeffekt i Watt beräknas enligt:

$$P = m \cdot c_p \cdot T_f - T_r \quad (6.1)$$

Där

m = massflöde (kg/s)

c_p = Specifik värmekapacitet för vatten $\approx 4180 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

T_f = Framledningstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

T_r = Returledningstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Överförd värmeeffekt vid 60-graders framledning och 30 graders returtemperatur är ca 3,3 kW. I slutet av uppvärmningssekvensen är returtemperaturen bara ca fem grader lägre än framledningstemperaturen och effekten uppgår då till ca 500 Watt. Medeleffekten under uppvärmningsförloppet ligger alltså någonstans däremellan. I VCON-studien [33] dimensioneras rören för en separat vitvarukrets under antagande av ett 60-40-system. Med dessa drifttemperaturer och flödet 1,6 liter per minut erhålls en effekt på ca 2,2 kW för en maskin. Det är uppenbart att t.ex. tvättmaskinen i Figur 2.6 med framledningstemperaturen 60°C under större delen av uppvärmningsperioden genererar en returtemperatur som är högre än 40°C . Alltså har den i genomsnitt ett lägre effektutnyttjande. Genom att beräkna värmeeffekten vid drifttemperaturerna 60-40 och sannolikt flöde enligt ekvation 6.1 underskattas i alla fall inte maskinernas medeleffekt under drift. Vid fler än tre maskiner anslutna behöver man då inte heller ta hänsyn till den högre starteffekten. Troligen ger det en liten överskattning av effektbehovet. Dock är det inte bra om värmeväxlaren underdimensioneras, eftersom

det ökar returtemperaturen och det kan göra att framledningstemperaturen sjunker vid stor last.

5.7 Övriga driftserfarenheter

I vissa av de system som hittills byggts med Västeråsmodellen kan varmvattentemperaturen ställas in av lägenhetsinnehavaren via den självverkande ventil som styr flödet i värmekretsen. I vissa fall har man upptäckt att värmevattenflödet i vissa småhus anslutna enligt Västeråsmodellen har strömmat obegränsat genom värmeväxlaren för varmvattenproduktion. Detta gör att varmvattenkapaciteten blir dålig för andra villor, eftersom dessa centraler ”stjäl” flöde och dessutom blir returtemperaturen hög. Detta har uppstått om önskad varmvattentemperatur på den termostatiska ventilen justerats nära eller högre än 60°C och denna vattentemperatur kan då inte uppnås, eftersom framledningstemperaturen inte överstiger 60°C. Det är således viktigt att i samband med installation låsa ventilen i system med Västeråsmodellen vid en inställd varmvattentemperatur på ca 55°C.

I de fältförsök som genomförts har det funnits en osäkerhet om det för fjärrvärmeanvändning mest fördelaktiga programmet verkligen har körts (avsnitt 2.4, sidan 36). Det finns ju en risk att konsumenten t.ex. väljer snabbprogrammet med parallell drift av el och fjärrvärme utan att veta vad det innebär. Det är därför viktigt att maskinerna, om de utrustas med både elvärmare och vattenvärmewäxlare levereras med en tydlig instruktion (utöver den vanliga manualen) som visar vilka program som kan väljas som minimerar elåtgången och maximerar fjärrvärmeanvändningen. Tillverkaren bör också överväga att applicera en separat sådan instruktion som fästs på luckans insida eller tvättmedelsfack som tydliggör att det är en värmedriven maskin och skillnaden mellan olika programval.

6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

6.1 Utveckling av maskiner

Inom detta utvecklingsprojekt har värmedrivna disk- tvätt- och torkmaskiner utvecklats och introducerats på marknaden. Maskinernas prestanda vid laboratoriemätningarna är förhållandevis goda. Tryckfallet på värmevattensidan som rapporterades som problematiskt högt i de prototyper som tidigare byggdes av Persson [38] har för diskmaskinen kunnat sänkas nästan hälften och för tvättmaskinen ännu mer. Maskinernas tryckfall redovisas i Figur 5.3 på sidan 101.

Värmeöverföringsprestanda är något sämre än för tidigare prototyper, speciellt för diskmaskinen, vilket resulterar i att elersättningsgraden blir något lägre, speciellt vid låga framledningstemperaturer. Den är dock högre än för motsvarande varmvattenansluten maskin. HWC-maskinernas elbesparing redovisas i Tabell 4.8 på sidan 77.

Utmaningen vid utveckling av torktumlare och torkskåp har varit att få en kort torktid vid låg framledningstemperatur. Torktiden har minskats genom att luftflödet ökats i maskinerna jämfört med tidigare elvärmda maskiner. Vid 55 graders framledning kan en konsumentlast på 1,5 kg torkas på mindre än 2 timmar i torktumlaren. En last på 3,5 kg tar drygt 2,5 timmar att torka (Figur 2.10 sidan 32).

6.2 Distributionssystem

Värmedistributionen till maskinerna måste ske med en cirkulerande värmevattenkrets. Värmedistribution via VVC-kretsen rekommenderas inte, då det i dagsläget inte kan utföras på ett sätt så att det uppfyller BBR och alla krav på legionellasäkerhet. Möjligheter att använda VVC-kretsen som distributionssystem diskuteras vidare i avsnitt 3.5 på sidan 56.

De två olika system för värmedistribution som undersökts i rapporten är att använda en separat vitvarukrets (se Figur 4.1 på sidan 64 och Figur 4.3 på sidan 66) respektive Västeråsmodellen (se Figur 4.2 på sidan 65 och Figur 4.4 på sidan 67). Den separata vitvarukretsen är en extra krets som till skillnad från radiatorkretsen har konstant framledningstemperatur. Denna lösning passar i befintliga hus där man önskar installera värmedrivna vitvaror. För att minska driftel till cirkulationspumpen då endast ett fåtal maskiner är anslutna bör cirkulationspumpen endast vara i drift när någon maskin kallar på värme. Detta kan lösas genom att styra cirkulationspumpen via maskinens reläkort, se avsnitt 5.3 på sidan 97. Om handdukstorkar och komfortgolvvärme ansluts till kretsen måste dock kontinuerlig cirkulation tillämpas. Då belastas inte heller enbart vitvarorna med de värmeförluster som uppkommer. Om framledningen innehåller för mycket vatten, måste kretsen varmhållas kontinuerligt så att varmt vatten hinner komma fram till maskinen innan den växlar till eldrift. Se Tabell 5.1 på sidan 96.

Västeråsmodellen bygger på att minska värmeförlusterna och installationskostnaderna jämfört med konventionell fjärrvärme, genom att sänka vattentemperaturen och använda en välisolerad plaströrskulvert som läggs tillsammans med annan infrastruktur av samma entreprenör. Fjärrvärmen växlas till ett sekundärnät byggt av välisolerad plaströrskulvert, med konstant framledningstemperaturen 60°C som är lägre än i det konventionella nätet. I flerbostadshus växlas fjärrvärme i undercentral (t ex i källare på flerbostadshus eller i separat byggnad i villaområde) till ett sekundärt värmesystem som försörjer respektive lägenhet/ hus. Värmeväxling till varmvatten sker i direkt anslutning till respektive lägenhet i en sekundärvärmecentral.

Fördelar med Västeråsmodellen är att den ger möjlighet till individuell värmemätning med en värmemängdsmätare per lägenhet. Dock ger den enligt den energimässiga utvärderingen inte lägre energikostnader. Elbehovet för pumpenergi är enligt studien dubbelt så högt för Västeråsmodellen beroende på bland annat höga tryckfall i sekundärvärmecentralen vid varmvattenproduktionen. Dock är värmeförlusterna lägre för Västeråsmodellen än för konceptet med separat vitvarukrets.

Att bygga utan vitvarukrets och använda värmesystemet även till värmedrivna vitvaror kan vara ekonomiskt intressant (VVC-systemet för varmvatten bibehålls). Att använda värmesystemet med konstant framledningstemperatur tillämpades i demonstrationsanläggningar som redovisas av Zegers och Molenbroek [52]. Nackdelen är högre distributionsförluster genom att man måste ha konstant 60 graders framledningstemperatur året runt. Ett sådant system kan dock passa bra för passivhus där lägenheterna värms med luft/och eller där man inte behöver något utetemperaturstyrt värmesystem. Lösningen bör studeras vidare, då den kan vara lättare att sälja in än "Västeråsmodellen" på många ställen.

6.3 Ekonomisk utvärdering

Den ekonomiska utvärderingen visar att Västeråsmodellen är en mer kostnadseffektiv lösning än en separat vitvarukrets i alla studerade fall. Räknat på den högre användarfrekvensen och maskinkostnader enligt prislista för april 2013 är Västeråsmodellen med värmedrivna vitvaror, handdukstork och komfortgolvvärme i flerfamiljshus konkurrenskraftigt mot de elvärmda alternativen om prisskillnaden mellan el och fjärrvärme är större än 0,7 kr/kWh inklusive moms. Användning av en separat vitvarukrets för värmedrivna vitvaror ger lite högre kostnader och kan motiveras vid prisskillnader mellan el och fjärrvärme som överstiger ca 0,9 kr/kWh inklusive moms.

Räknat på den lägre användarfrekvensen kan konceptet med värmedrift räknas hem i flerbostadshus vid energiprisskillnader på ca 1 kr/kWh i flerbostadshus, trots halverad cykelfrekvens. Detta skall alltså jämföras med en energiprisskillnad på 0,7 kr/kWh vid hög cykelfrekvens.

För passiva småhus blir kostnaden för Västeråsmodellen med värmedrivna vitvaror, handdukstork och komfortgolvvärme likvärdig med de elvärmda alternativen vid prisskillnader på 0,7 kr/kWh, medan det krävs prisskillnader på 0,9 kr/kWh för normalisolerade småhusområden.

Att exkludera golvvärme i studien försämrar de ekonomiska förutsättningarna för konceptet med värmedrift, genom att den ersätter relativt mycket el till en relativt låg extrakostnad per lägenhet. Visserligen bör energianvändningen då öka för handdukstorken, men bortser vi från det så krävs energipris skillnader på ca 1,1 kr/kWh för att Västeråsmodellen med värmedrift skall ge likvärdiga kostnader som motsvarande elvärm alternativ i normaliserade flerbostadshus och passiva småhus. I passiva flerbostadshus nås likvärdiga kostnader vid energipris skillnader på 0,9 kr/kWh. För normaliserade småhusområden uppnås inte lönsamhet för Västeråsmodellen för något av de studerade energiprisfallen.

Antar vi att Västeråsmodellen används av andra skäl, oberoende av om de värmedrivna vitvarorna används eller ej, så finns anslutningspunkten för vitvarorna i lägenheten och de kan anslutas på ett relativt enkelt och billigt sätt. Men när vi ser vi på de ekonomiska förutsättningarna för enbart värmedrivna vitvaror och dess anslutningskostnader, så blir det lite svårare att räkna hem tekniken. Torktumlaren är konkurrenskraftig mot elvärm tork vid energipris skillnader på minst 0,7 kr/kWh inklusive moms men mot värmepumpstumlaren är den inte konkurrenskraftig om denna antas ha samma livslängd som en värmedriven torktumlare. Värmedrivna disk- och tvättmaskiner kan inte räknas hem med dessa förutsättningar för de energipriser som studerats. Med halverad anslutningskostnad (1250 kr inklusive moms per maskin) och målpriset 1000 kr extra per maskin (inklusive moms) kan diskmaskinen räknas hem vid energipris skillnader på ca 1 kr/kWh. Kapitalkostnaden blir ganska hög jämfört med energikostnaden, vilket betyder att lång livslängd och många cykler är avgörande för att få bättre ekonomi för HWC-maskinerna, liksom att priset förhoppningsvis kan sänkas vid större serier. För att få ekonomi på installationerna är det av högsta vikt att värmeförluster som allokeras till vitvarorna kan hållas låga, vilket begränsar anslutningsrörens längd till maximalt tioalet meter och att kontinuerligt cirkulerande vitvarukretsar skall undvikas.

För flerfamiljstvättstugor är det enklare att räkna hem tvättmaskinerna och torktumlaren och om anslutningskostnaden är lägre än 10 000 kr per tvättmaskin och 28 000 kr per torktumlare (30 års avskrivning) nås lönsamhet vid energipris skillnader mellan el och fjärrvärme på 0,7 kr/kWh.

Sammanfattningsvis är alltså Västeråsmodellen mest ekonomiskt intressant (lägst årlig kostnad) men kan leda till framtida högre underhållskostnader, som inte inkluderats i studien. Västeråsmodellen används för småhusområden och f.n. uppför MIMER ett flerbostadshus med 160 lägenheter i Västerås med denna systemlösning. Det är möjligt att "räkna hem" Västeråsmodellen med värmedrivna vitvaror, handdukstork och komfortgolvvärme som ett helhetskoncept för lägenheter och småhus jämfört med en konventionell lösning med elvärmade vitvaror, handdukstorkar och komfortgolvvärme. Dock är de ekonomiska förutsättningarna beroende på antalet cykler som utgör en osäkerhet i studien och som varierande mellan olika familjekategorier och bostadstyper [53].

Den värmedrivna torktumlaren kan räknas hem som en enskild komponent, vilket också betyder att man bör kunna räkna hem torkskåpet om extrakostnaden blir likvärdig med torktumlaren och i de fall antalet cykler är lika stort. Det är dock svårare att

räkna hem värmedrivna disk och tvättmaskiner i lägenheter. Det beror delvis på att extrakostnaden är högre för dessa maskiner, eftersom kostnaden för värmeväxlaren är hög. Målsättningen inom projektet att extrakostnaden för de värmedrivna vitvarorna inte skall överstiga 1000 kr har inte uppnåtts i projektet. Nya värmeväxlarlösningar som kan reducera kostnaden undersöks.

Tvättmaskiner och torktumlare i fastighetstvättstugor en möjlighet att bli riktigt lönsamma, om det är nära till Fjärrvärmecentralen och flera maskiner kan dela på anslutningskostnaderna. För att kunna möta alla kunders olika önskemål, även de som har varit skeptiska till utsläpp av fukt och ludd från frånluftstumlarna är det därför av högsta prioritet att även en värmedriven kondensumlare utvecklas.

6.4 Miljövärdering

Det främsta motivet till att använda värmedrivna vitvaror är att hushålla med högvärdig elenergi för uppvärmning och istället möjliggöra användning av fjärrvärme, spillvärme eller solvärme av lägre pris och kvalitet. Värmedrivna vitvaror förväntas alltså spara primärenergi och bidra till en energieffektivisering i samhället. Att beräkna miljöpåverkan från t.ex. förändrade koldioxidutsläpp vid användning av värmedrivna vitvaror har inte varit projektets syfte och det är mycket svårt att ge en rättvis bild, eftersom energimixen varierar i olika fjärrvärmenät och synen på elenergens koldioxidutsläpp varierar stort beroende på vilken systemgräns som väljs. Beroende på hur man resonerar kan man visa det man vill. En skattning av koldioxidutsläpp och primärenergianvändning baserad på maskinernas energianvändning redovisas i Tabell 6.1, där primärenergifaktorer och emissionsfaktorer är hämtade från en sammanställning av Persson [40].

Utgångspunkten i beräkningen är årlig användning av el respektive värme för disk, tvätt, och tork i en lägenhet enligt Tabell 4.8 på sidan 77. Enligt Persson [40] kan koldioxidutsläppen från fjärrvärme på marginalen variera från 45 till 600 kg CO₂ per MWh, om bibränsle används i kraftvärmeproduktion. Dock sjunker intervallet till 45-300 kg CO₂ per MWh om bibränslena antas vara koldioxidneutrala, vilket kan anses vara ett rimligt antagande och det är detta intervall som studeras i Tabell 6.1

För el varierar koldioxidutsläppen från ca 5 kg CO₂ per MWh för förnybar el upp till hela 1000 kg CO₂ per MWh för kolkraftsproducerad el [40]. Eftersom ett byte från konventionella vitvaror till elvärmade vitvaror får anses påverka el- och fjärrvärmeanvändningen på marginalen är det inte rimligt att räkna på förnybar el. Som Figur 1.1 på sidan 14 visar kommer vi inom EU att vara beroende av kolkraft och gaskombikraft under lång tid framöver, vilket kommer att agera marginalet. Dock räknas koldioxidutsläppen för hela intervallet från förnybar el till kolkraft för elproduktionen i Tabell 6.1. Som jämförelse kan sägas att svensk elmix har koldioxidutsläpp på ca 20 kg CO₂ per MWh, nordisk elmix ca 100 kg CO₂ per MWh [28] och för europeisk elmix ca 400 kg CO₂ per MWh.

Resultaten i Tabell 6.1 visar som väntat att koldioxidutsläppen blir som högst för konventionella maskiner som drivs av marginalet (kolkraft, 1000 kg CO₂ per MWh), men om förnybar elenergi används blir koldioxidutsläppen ännu lägre än för värme-

drivna vitvaror även med fjärrvärme med den lägsta emissionsfaktorn. Intressant är dock att eldrivna vitvaror med kolkraftsproducerad el ger dubbelt så höga utsläpp som fjärrvärmens beräknad med de högsta emissionsfaktorerna (300 kg CO₂ per MWh).

Tabell 6.1

Beräknade intervall för primärenergi och koldioxidutsläpp för elvärmda vitvaror respektive värmedrivna vitvaror. Emissionsfaktorer för el varierar från 5 till 1000 kg CO₂ per MWh och för fjärrvärme 45 till 300 kg CO₂ per MWh. Primärenergifaktorer för el varierar från 2,2 till 3,0 och för fjärrvärme mellan 0,2 till 1,8 [40].

	Elbehov kWh/år	Värmebehov kWh/år	Koldioxidutsläpp		Primärenergi	
			CO ₂ min kg CO ₂ /år	CO ₂ max kg CO ₂ /år	min kWh/år	max kWh/år
Konventionella vitvaror	1084	0	5	1084	2385	3252
Värmedrivna vitvaror	329	755	36	556	875	1359

Även med europeisk elmix (ca 400 kg CO₂ per MWh) blir utsläppen lägre med fjärrvärme beräknad med de högsta emissionsfaktorerna. Den extra el som produceras i fjärrvärmeverken av den ökade värmelasten skall vara kompenserad för i emissionsfaktorerna för fjärrvärme, men intervallet inrymmer två olika tolkningar. Dels används primärenergimetoden som ger störst fördel för fjärrvärmens, eftersom nyttan av den extra elproduktionen reducerar fjärrvärmens miljöpåverkan, dels används alternativmetoden där nyttan av elproduktionen i kraftvärme delas mellan elen och fjärrvärmens [40].

När det gäller primärenergiberäkningen som redovisas i Tabell 6.1 så har elanvändningen som ersätts antagits vara gaskombi i ”min”-alternativet (Primärenergifaktor 2,2) och kolkraft i ”max”-alternativet (primärenergifaktor 3,0) som vi kommer att ha på marginalen under lång tid framöver (Figur 1.1, sidan 14). Fjärrvärmens primärenergifaktorer varierar från 0,2 till 1,8 beroende på hur mycket biobränslebaserad produktion som används och hur stora värmeförlusterna är i näten [40].

Resultaten av primärenergiberäkningarna är entydigt positiva för värmedrivna vitvaror och fjärrvärme förutsatt att den el som ersätts annars skulle ha producerats i kolkraftverk eller gaskombikraftverk. Sammanfattningsvis kan man motivera fjärrvärmedrivna vitvaror både ur klimat- och resursperspektiv. Dessutom ökar vitvarorna värmelasten även sommartid, då värmebehovet i fjärrvärmens näten är lågt och det kan finnas outnyttjad spillvärme samtidigt som behovet av eldriven kyla på kontinenten är högt.

6.5 Fältprovning och drifterfarenheter

Ett av projektets syften var att installera värmedrivna vitvaror i ca 200 lägenheter. Fältprovningserfarenheter är avgörande för att skapa förtroende för teknikens pålitlighet. Detta mål har näst intill uppnåtts genom beslutet att installera värmedrivna vitvaror i 160 lägenheter i Mimers flerbostadshus Råseglet i Västerås. Dessutom sker det med serietillverkade maskiner som kommer att introduceras på marknaden om

den tekniska funktionen faller väl ut. Maskinerna i Råseglet inkopplas enligt Västeråsmodellen, vilket också är den modell som beräknats ge bäst ekonomiska förutsättningar för tekniken. Inflyttning till lägenheterna sker löpande under 2013 och alla lägenheter skall vara färdigställda till hösten. Installationerna kunde alltså inte utvärderas inom projektperioden, då erfarenheterna från fältinstallationer är begränsade.

I övrigt har tvättmaskiner och torktumlare provats och utvärderats i Västerås och i Göteborg vid energibolagens omklädningsrum och två torkskåp har provats på ett daghem i Västerås.

Drifterfarenheterna av torkskåpen som provats i Västerås är enbart positiva och elbesparingen för skåpen har mätts upp till ca 93 %. Driftserfarenheterna från tvätt- och torktumlarna i tvättstugorna är också övervägande goda, men här finns en stor osäkerhet kring elbesparingen och det har också bland flera byggare funnits en skepsis mot att torktumlaren var av evakuerande typ som ökar fuktbelastningen i lokalen. Eftersom maskiner inte installerats i några bostäder inom projektperioden har inga brukarsynpunkter på torktumlarna i bostäder kunnat genomföras. Dock kan konstateras att utveckling av värmedrivna kondensumslare är prioriterade för att tillfredsställa marknaden.

Den mätmetod som tillämpats i fält för tvätt och tork har inte fungerat tillfredsställande för att kunna mäta elbesparingen per cykel, eftersom maskinerna haft relativt få cykler och standby-förbrukningen har utgjort en ansenlig del av elbehovet. Anledningen till att mätresultaten är mycket osäkra beror på hög standby-elförbrukning och väldigt få cykler, att man inte vet vilka program och vilka tvättemperaturer och laststorlekar som använts, att det funnits luft i systemet, och att cykeltiden kan ha varierat stort från fall till fall för torktumlaren.

I demonstrationsanläggningarna är anslutningsledningarna mellan maskinerna och värmecentralen långa, vilket innebär stora värmeförluster på distributionssidan, speciellt eftersom dessa distributionsledningar också har kontinuerlig cirkulation. För att uppnå en energieffektiv anläggning bör värmedrivna vitvaror lokalisera i närheten av värmecentralen för att värmeförlusterna skall bli rimliga i förhållande till levererad värmemängd. Detsamma gäller för att installationskostnaderna skall kunna hållas nere. Att använda en separat vitvarukrets med kontinuerlig cirkulation för ett fåtal maskiner är inte energieffektivt och därmed inte heller särskilt lönsamt. Av denna anledning rekommenderas att vid ett fåtal anslutna maskiner skall maskinerna aktivera cirkulationspumpen via maskinens reläkort, se avsnitt 5.3 på sidan 97.

Värmeförluster från anslutningsledningar har beräknats och redovisas i Figur 3.1 på sidan 56. För att minimera värmeförlusterna rekommenderas att rörledningar hålls så korta som möjligt och dimensioneras med klena rördimensioner och isoleras väl. Speciellt viktigt är god isolering på rör som gjuts in i betong.

Sammanfattningsvis kan sägas att omsorgsfull dimensionering och systemval med fokus på lågt pumpenergibehov och låga värmeförluster är viktigt för systemens totala energieffektivitet och för möjligheten att nå ekonomi med fjärrvärmedrivna vitvaror. Samordning med värmedrivna handdukstorkar och/eller komfortgolvvärme är nödvändigt för att nå ekonomi och energieffektivitet i installationer i såväl flerbostadshus som villor. Eftersom energianvändningen per vitvara är förhållandevis låg,

kan värmeförluster i distributionsledningar och ökat pumpenergibehov äta upp vinsten med HWC-maskinerna. Speciellt gäller detta vid kontinuerlig värmecirkulation i värmeledningar som enbart betjänar vitvaror. Sådana systemlösningar bör undvikas. Rekommendationer för systemutformning ges i avsnitt 5 från och med sidan 95.

6.6 Rekommendationer till branschen

Eftersom energianvändningen för en enskild diskmaskin eller torktumlare är relativt liten är det för många aktörer en ganska oviktig fråga. Dock gör det stora antalet maskiner ändå att energianvändningen globalt sett och inom EU är betydande. Genom energimärkning av dessa produkter jobbar EU för att minska maskinernas energianvändning.

Även om denna studie visat att värmedrivna vitvaror under vissa förutsättningar är lönsamma eller olönsamma, är det ändå mycket blygsamma kostnadsbesparingar eller kostnadsökningar fördelat på varje enskild vitvara. Det är inte heller fastighetsägaren som får nytta av de minskade energikostnaderna utan lägenhetsinnehavaren. Det betyder alltså att fastighetsägaren måste kunna ta ut extrakostnaden för maskinen på hyran för att tekniken skall kunna installeras av fastighetsägaren. Tekniken bör dessutom genom miljöimage eller minskade driftskostnader underlätta uthyrning/försäljningen av lägenheten. En affärsmodell som innebär att alla inblandade parter får nytta av tekniken är en avgörande faktor för att kunna sälja in tekniken.

Det är alltså inte säkert att maskinerna kommer att sälja sig själva även om de är lönsamma, utan det är troligen miljöargumenten som blir mycket viktiga. Den aktör som kan ha störst nytta av tekniken är sannolikt fjärrvärmebolagen som får sälja mer värme. Följande rekommendationer kan därför ges till fjärrvärmebranschen för att gynna att fjärrvärmedrivna vitvaror installeras.

- Minska anslutningsavgifterna vid nyanslutningar om värmedrivna vitvaror används. Detta kan göras för att försäljningsvolymen ökar året runt. En ökad försäljning på mellan 500 till 700 kWh per lägenhet och år bör ju kunna medföra lägre anslutningsavgift.
- Ta bara ut rörligt fjärrvärmepris för värmedrivna vitvaror. Vid beräkning/mätning av effekt så reducera effekten med den sammanlagrade effekten för vitvarorna.
- Ta alltid upp frågan om installation av värmedrivna vitvaror i samband med kundträffar m.m.
- Påverka era respektive huvudmän för daghem/skolor m.m. att installera värmedrivna torkskåp när det är aktuellt att byta torkskåp och subventionera detta ekonomiskt. Det lönar sig för bägge parter.

- Många kunder är miljömedvetna. Tala med dem om vilken nytta värmedrivna vitvaror gör på marginalen. För varje kWh el som kan ersättas med värme så minskas koldioxidutsläppen med 1kg från ett kolkondenskraftverk och elproduktionen i fjärrvärmeverket ökar med 0,5 kWh.

7 REFERENSER

- [1] *Wirsbo Tryckfallsnomogram, Wirsbo-eval PEX-rör och Wirsbo-pePEX-rör PN6*, Produktblad, Uponor Wirsbo AB: Wirsbo, Sweden.
- [2] *Kommissionens delegerade förordning (EU) nr 1061/2010 av den 28 september 2010 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/30/EU vad gäller energimärkning av tvättmaskiner för hushållsbruk*, Europeiska unionens officiella tidning L 314/47.
- [3] *Kommissionens delegerade förordning (EU) nr 1059/2010 av den 28 september 2010 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/30/EU vad gäller energimärkning av diskmaskiner för hushållsbruk*, Europeiska unionens officiella tidning L 314/1.
- [4] *Kommissionens delegerade förordning (EU) nr 392/2012 av den 1 mars 2012 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/30/EU vad gäller energimärkning av torktumlare för hushållsbruk*, Europeiska unionens officiella tidning L 123/1.
- [5] *Sektionsfakta VVS*. Växjö, Sweden: Wikells Byggberäkningar AB.
- [6] *Wallenius AOT 5 serien. -Effektiv mikrobiologisk barriär*, Produktblad jt-energi AB: Örebro, Sweden.
- [7] *Installationsanvisning Värmevattenansluten torktumlare*, Produktblad, Art Nr: 8092142. Rev. 04, Asko Appliances: Vara, Sweden.
- [8] *Installationsanvisning Värmevattenansluten tvättmaskin*, Produktblad, Art Nr: 8092143. Rev. 03, Asko Appliances: Vara, Sweden.
- [9] *Installationsanvisning Värmevattenansluten diskmaskin*, Produktblad, Art Nr: 8091708, Asko Appliances: Vara, Sweden.
- [10] *HWC - diskmaskiner, tvättmaskiner och torktumlare*, Produktblad, Asko Appliances: Vara, Sweden.
- [11] *DVGW-Arbeitsblatt W 551 "Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums in Neuanlagen"*, in *Katalog Heiztechnik 2001 – Teil 1*, Buderus Heiztechnik. 2001: Germany.
- [12] *Ny torktumlare drar halva energin*. 2006. Energimyndigheten, Eskilstuna, Sweden.
- [13] *Legionella i vatteninstallationer. Tekniska faktorer med risk för samhällsförvärvad legionellainfektion*. 2006, Sweden: Boverket, Smittskyddsinstitutet och VVS Installatörerna. Alfa Print AB.
- [14] *Uponor VVS Wirsbo-PEX Rör och materialegenskaper*. 2007, Produktblad, Uponor Wirsbo AB: Wirsbo, Sweden.
- [15] *20 20 by 2020, Europe's climate change opportunity*. COM(2008) 30 final, 2008. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Brussels, Belgium.
- [16] *Handlingsplanen för energieffektivitet 2011*. KOM(2011) 109, 2011. Europeiska kommissionen, Bryssel, Belgium.

- [17] *Handlingsplanen för energieffektivitet 2011*. KOM(2011) 109 slutlig, 2011. Bryssel, Belgium.
- [18] *Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige – en avgiftsstudie för år 2012*. 2012. Fastighetsägarna, HSB, Hyresgästföreningen, Riksbyggen och SABO, Stockholm, Sweden.
- [19] *Legionellskyddscentral AT 8540*. 2012, Produktblad, ARMATEC: Göteborg, Sweden.
- [20] Bagge, H., *Energy use in multi-family dwellings*. Licentiate Dissertation, 2007, Building Physics, Lund University, Lund, Sweden. ISBN: 978-91-88722-37-9.
- [21] Balakrishnan, S., et al., *El eller värme för att driva hemmet? Fjärrvärmeanpassat demonstrationshus i Göteborg. Projekteringskurs i miljö och energiteknik ur livscyelperspektiv*. 2007, Chalmers tekniska högskola: Göteborg, Sweden.
- [22] Berghel, J., R. Renström, och L. Stawreberg, *Utveckling av energieffektivare kondensumflare i en- och flerfamiljshus*. Rapport för energimyndigheten projnr 223 50-1, 2008. Institutionen för ingenjörsvetenskap, fysik och matematik, Karlstads universitet, Karlstad, Sweden.
- [23] Berndtsson, L., *Individuell värmemätning i svenska flerbostadshus - En lägesrapport*. 2003. HSB Riksförbund och Statens Energimyndighet, Sweden.
- [24] Borglund, A.-S., *Konkurrensen härndnar på fjärrvärmemarknaden*. *Fjärrvärmetidningen* Nummer 8, December 2010.
- [25] Boverket, *Regelsamling för byggande, BBR 19*. 1. uppl. 2012, Karlskrona, Sweden: Boverket. ISBN: 9789186045036.
- [26] Capros, P., et al., *EU energy trends to 2030*. ISBN 978-92-79-16191-9, 2010. European Commission, Directorate-General for Energy, Belgium.
- [27] Fröling, M., et al., *Energieffektiv bebyggelse och fjärrvärme*. Rapport 2007:2, 2007. Fjärrsyn, Svensk Fjärrvärme AB, Stockholm, Sweden.
- [28] Gode, J., et al., *Miljöfaktaboken 2011. Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Rapport A08-833, 2011. VÄRMEFORSK Service AB, Anläggnings- och förbränningsteknik 1183, Stockholm, Sweden.
- [29] Holman, J.P., *Heat Transfer, Seventh Edition in SI units*. 1992, UK: McGraw-Hill Inc. ISBN: 0-07-112644-9.
- [30] Hägerby, D. och T. Persson, *Vägar och irrvägar till energieffektivisering i samhället – vägvalet är politiskt*. 2012. Högskolan Dalarna, Falun, Sweden.
- [31] Kjellman, A., A. Hansson, och B. Nordquist, *Uppföljning Flagghusen, Energi och inneklimat*. Slutrapport, 2010. Energikontoret Skåne, WSP Environmental och LTH Installationsteknik, Malmö, Sweden.
- [32] Kupferschmidt, D., *El mot fjärrvärme i vitvaror - En teknoekonomisk studie över potentialen i förskolor och tvättstugor*. Examensarbete EGI 2007/ETT:411, 2007, Energi- och Miljöteknik, KTH, Stockholm, Sweden.

- [33] Larsson, J., *Riktlinjer angående val av systemlösning för "vitvarukretsar"*, Förstudie. 24 01 00, 2011. VCON VVS-konsult AB, Mölndal, Sweden.
- [34] Ljung, B. och O. Högberg, *Investeringsbedömning en introduktion*. Upplaga 2:3. 2002, Malmö, Sweden: Liber Ekonomi.
- [35] Lund, H., et al., *Fjärrvärme i lågenergihus*. 2011. Stockholm, Sweden. ISBN: 978-91-85775-04-0.
- [36] Lundkvist, B., et al., *Energiläget 2012*. 2012. Energimyndigheten, Eskilstuna, Sweden.
- [37] Lyngerud, K., *Minskad efterfrågan på fjärrvärme*. Rapport 2011:6, 2011. Svensk Fjärrvärme AB, Stockholm, Sweden. ISBN: 978-91-7381-074-6.
- [38] Persson, T., Dishwasher and washing machine heated by a hot water circulation loop. *Applied Thermal Engineering* 27 (2007) p. 120-128.
- [39] Persson, T. och M. Rönnelid, Increasing solar gains by using hot water to heat dishwashers and washing machines. *Applied Thermal Engineering* 27 (2007) p. 646-657.
- [40] Persson, T., *Koldioxidvärdering av energianvändning. Vad kan du göra för klimatet?* Underlagsrapport, 2008. Statens Energimyndighet, Eskilstuna, Sweden.
- [41] Persson, T. och J. Heier, *Småhusens framtida utformning, -Hur påverkar Boverkets nya byggregler?* Rapport nr 4, 2010. Projekt SWX-Energi, Region Gävleborg, Gävle, Sweden.
<http://www.regiongavleborg.se/1/verksamhet/swx-energi/rapporter.html>
- [42] Rezk, K., *Studie över värme-, kyl- och kondenseringsförmågan på ett externt värme- och kylpaket kopplat till en torktumlare*. Examensarbete, 2006, Institutionen för ingenjörsvetenskap, fysik och matematik, Karlstads universitet, Karlstad, Sweden.
- [43] Roos, A., *Simulering av värmeförluster för kopparrör. En studie av värme- och strömningsparametrar för rörströmning*. Examensarbete 22,5 hp, 2010, Energi- och Miljöteknik, Karlstads universitet, Karlstad, Sweden.
- [44] Sevela, P., *ASKO HWC appliances Used in FOLD house in Solar Decathlon Europe 2012*. 2012. Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- [45] Siggelsten, S., *Individuell mätning och debitering av energianvändning i flerbostadshus*. Licentiate Theses, 2010, Avdelningen för Byggproduktion, Lunds Universitet, Lund, Sweden. ISBN 91-85257-83-4.
- [46] Stawreberg, L., J. Berghel, och R. Renström, Integrating tumble dryers in the systems in block of flats. In *Proc. Nordic Drying Conference*. 2009. Reykjavik, Iceland,
- [47] Stawreberg, L., *Energy Efficiency Improvements of Tumble Dryers. - Technical Development, Laundry Habits and Energy Labelling*. 2011, Energy, Environmental and Building Technology, Karlstad University, Karlstad, Sweden, ISBN 978-91-7063-378-2.
- [48] Stawreberg, L., J. Berghel, och R. Renström, Energy Losses by Air Leakage in Condensing Tumble Dryers. *Applied Thermal Engineering* 37 (2012) p. 373-379.

- [49] Stålbom, G., R. Kling, och VVS-installatörerna, *Legionella : risker i VVS-installationer : en handbok*. 2002, Stockholm: VVS-installatörerna. ISBN: 91-631-2265-0.
- [50] Widlund, R., *Simulering av värmeförlusterna i ett värmevattensystem för distribution av värmevatten till disk-, tvättmaskin samt torktumlare*. Examensarbete 22,5 hp, 2010, Energi- och Miljöteknik, Karlstads universitet, Karlstad, Sweden.
- [51] VVS-tekniska föreningen, *VVS handboken : tabeller och diagram*. 1974, Stockholm: Förlags AB VVS.
- [52] Zegers, F.T.S. och E.C. Molenbroek, *Field test of heat-fed washing machines and tumble dryers*. Cadience Appendix K, 2000. ECOFYS, Utrecht, Netherlands.
- [53] Zimmermann, J.P., *End-use metering campaign in 400 households in Sweden*. 2009. Energetech/Energimyndigheten, Eskilstuna, Sweden.
- [54] Zinko, H., O. Ingulf, och R. Svensson, *Avancerad fjärrvärmeanvändning i småhus*. Rapport 2006-11-24, 2006. ZW Energiteknik AB/Göteborg Energi,
- [55] Åberg, M., J. Widén, och E. Wäckelgård, Large-scale introduction of new residential district-heating loads to increase renewable electricity generation in CHP plants. In *Proc. World Renewable Energy Forum 2012*. May 13-17 2012. Denver, Colorado, USA.

Bilaga 1 – Mätresultat från evakuerande torktumlare i tvättstuga i Göteborg

Mätresultat från evakuerande torktumlare i tvättstuga i Göteborg

*Roger, Renström, Karlstads universitet och Tomas Persson, Högskolan Dalarna
2011-06-14*

Bakgrund

Med anledning av att vissa byggföretag varit skeptiska mot att installera evakuerande torktumlare och att de inte haft möjlighet att installera tumlarna med dragavbrott mot ventilationen genomfördes mätningar i en tvättstuga i Göteborg.

Syfte

Syftet är att kartlägga hur den relativa ånghalten (=relativa fuktigheten) varierar vid olika frånluftflöden och om torktumlar är friblåsande eller ansluten med dragavbrott samt hur klimatet i rummet upplevs.

Metod

Mätningarna är genomförda i en tvättstuga i Göteborg med golvytan 7,6 m² och takhöjden 2,4 m. Taket var av tät spån- eller gipsskiva och målat. Det var lätta innervägar med våtrumstapet och betonggolv med plastmatta i tvättstugan.

Tilluften eller rättare sagt överluften till tvättstugan kom från omgivande dusch- och omklädningsrum via dörrspringor och frånluften från tvättstugan går till ett torkrum via ett överluftsgaller placerat på vägg upp mot taket. Det råder undertryck i tvättmaskinsrummet i förhållande till dusch och omklädningsrum. Det råder övertryck i tvättrummet i förhållande till torkrummet. Dörren mellan torkrum och tvättrum tejpadades igen för att minimera annat läckage än via överluftdonet. Taket utgjordes av ett bjälklag vilket kunde inspekteras ända ut i hörnen och där fanns inget läckage. Ventilationsflödet mättes genom ett 75 mm rör som placerades på överluftsgallret och som tejpadades omsorgsfullt för att undvika oönskat luftläckage. Lufthastigheten i röret mättes med Prandtlrör varvid luftflödet beräknades.

Mätningarna utfördes med stängda dörrar, där tilluften utgjordes av överluft från angränsande rum via springa vid dörrtröskeln. Fyra torkkörningar genomfördes under en dag med dörr-vädring emellan. En viss ökad fuktmängd i överluften till tvättrummet kunde konstateras i samband med ökad duschaktivitet på eftermiddagen. Torklasten utgjordes av handdukar med en torr vikt av 3,5 kg. Tvättlasten sköljdes och

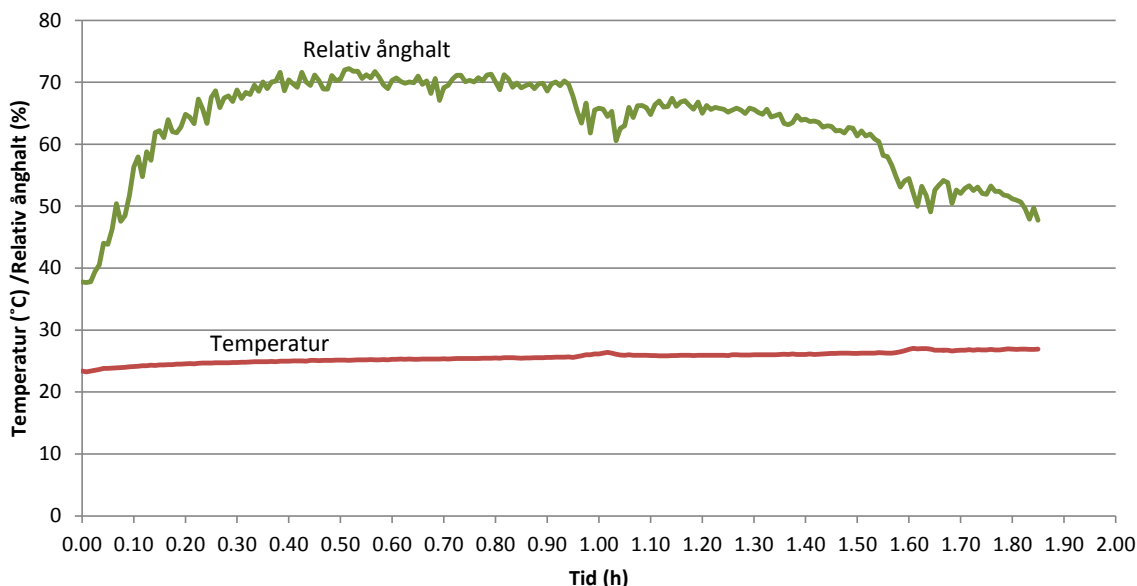
centrifugerades på 1200 varv per minut innan den torkades i torktumlaren. Torktumlarna kördes enbart på värmevatten med temperaturen 60°C och flödet var ca 1,3 l/min att jämföra mot projekterat 1,6 l/m.

Friblåsningen innebär att luften blåstes ut på baksidan av torktumlaren som var placerat på en höjd av ca 100 cm över golvet. Dragavbrottet arrangerades så att luften från torktumlaren leddes genom en slang och mynnade i en uppochnedvänd kartong av A4 format. Frånluften sögs genom kartongens sida. Detta för att trycket från torktumlarens utblås inte skulle påverka frånluftflödet (överluftflödet).

Lufttemperaturen mättes på tre olika nivåer: 50 cm, 130 cm och 200 cm och medeltemperaturen beräknas och redovisas. Luftfuktigheten mättes med en elektronisk fuktgivare placerad 130 cm över golvet. Relativa ånghalten i tvättstugan då mätningarna inleddes varierade mellan 37 % och 43 % och temperaturen varierade mellan 23,4°C och 24,6°C.

Resultat

Figur 1 visar temperatur- och fuktförloppet under den första torksekvensen som pågick tills tvätten var torr. Figuren visar att relativa ånghalten stiger under första halvtimmen då den når sitt maximum på drygt 70 %. Efter en timme börjar relativa ånghalten att sjunka och når under 50 % då tvätten är torr efter knappt två timmar. Av denna anledning kördes resterande prov enbart under en timme.



Figur 1. Temperatur- och fuktförloppet under torksekvensen som pågick tills tvätten var torr. Frånluftflödet var 18 l/s och torktumlaren var friblåsande. Den tillfälliga sänkningen av ånghalten som sker vid 0,9 respektive 1,6 timmar beror på att vi gick in i rummet för att känna på klimatet.

I tabell 1 visas resultat under den första drifttimmen med det lägre ventilationsflödet. Temperaturen stiger väldigt lite under försöken. Provet med friblåsande tumlare visar dock något högre temperaturökning än provet med dragavbrott.

Tabell 1. Ökning av temperatur (DT) och relativ fuktighet (DRÅ) med ventilationsflödet 14,9 l/s.

Dragavbrott						
l/s	°C	°C	°C	%	%	%
Vdot	T start	T max	DT	RÅstart	Råmax	DRÅ
15	24.3	25.6	1.4	39.8	59.2	19.4

Friblåsande						
l/s	°C	°C	°C	%	%	%
Vdot	T start	T max	DT	RÅstart	Råmax	DRÅ
15	24.6	27.0	2.4	42.7	74.4	31.7*

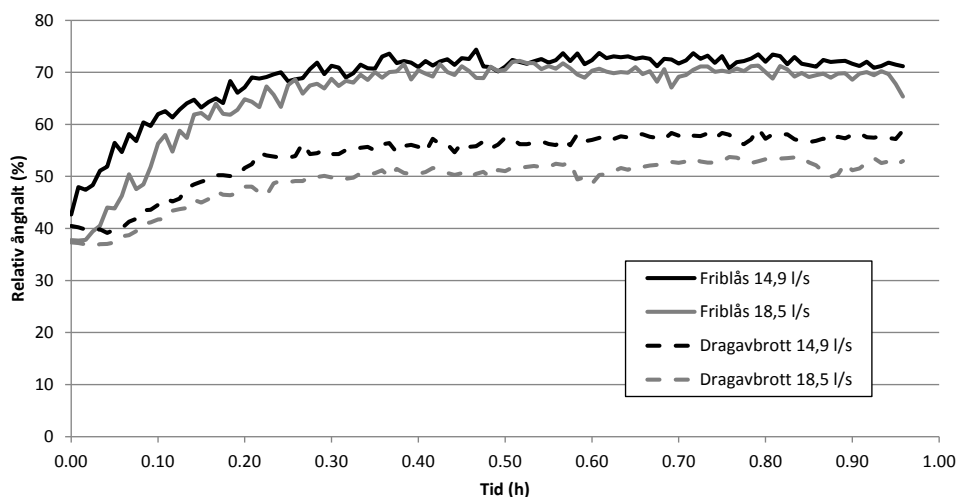
*Värdet bör vara högre än motsvarande värde i tabell 2 som ges vid ett högre flöde, men det beror på att den initiala relativa ånghalten är högre i denna mätning

I tabell 2 visas resultat under den första drifttimmen med högre ventilationsflöde. Ökningen av den relativa fuktigheten är mindre för tumlaren med dragavbrott. Figur 2 visar den ökade fuktbelastningen för alla prov under första timmen.

Tabell 2. Ökning av temperatur (DT) och relativ fuktighet (DRÅ) med ventilationsflödet 18,5 l/s.

Dragavbrott						
l/s	°C	°C	°C	%	%	%
Vdot	T start	T max	DT	RÅstart	Råmax	DRÅ
18	24.4	25.7	1.2	37.0	53.7	16.7

Friblåsande						
l/s	C	°C	°C	%	%	%
Vdot	T start	T max	DT	RÅstart	Råmax	DRÅ
18	23.4	25.7	2.3	37.7	72.2	34.5



Figur 2. Relativ fuktighet i rummet under första timmen av torksekvensen.

Diskussion

Startfukthalten för de olika proven varierar, vilket inte gör det helt lätt att jämföra resultaten i tabell 1 och 2. T.ex. anges att fuktökningen DRÅ är högre för friblåsande torktumlare med högre flöde än vad den är med lägre flöde, vilket är fel och beror på den högre initiala fukthalten i Tabell 1. Den orsakades av ökat duschande i anslutning till mätningarna.

Slutsatser

Det blir en viss ökning av den relativa ånghalten med friblåsande jämfört med anslutning mot dragavbrott, **men ånghalten börjar minska efter en timme och återgår till låga nivåer när tvätten börjar bli torr efter ca 1,5 timmar**. Ökning av frånluftflödet från 14,9 l/s till 18,5 l/s kunde inte fullt ut kompensera för friblåsning istället för anslutning med dragavbrott.

Ingen av deltagarna i mätningen, totalt fem personer upplevde klimatet i torkrummet särskilt besvärande, men samtidigt måste påpekas att alla var ”tekniker”. Temperaturökningen i rummet vid torkning är liten, jämfört med användning av kondestumlare.

Bilaga 2 – Funktionstest och utveckling av styrsystem för torkskåp

Roger Renström, Karlstads Universitet, september 2012

Funktionstest

I detta test har enbart funktionen testats, inga felfallstester har utförts. Testat torkskåp levererades av NIMO den 3/9 2012. Efter inledande provning och okulärbesiktning öppnades maskindelen eftersom skåpet inte fungerade tillfredställande. Tre stora brister upptäcktes.

Fläkten snurrade åt fel håll vid leverans. Felet avhjälpes genom att koppla in elen till fläkten på rätt sätt.

När det var gjort utfördes nya tester. Mätningarna i dessa tester visade på en anmärkningsvärt låg temperaturverkningsgrad på värmeväxlaren. Kort sagt, det såg ut som om luft smet förbi värmeväxlaren. En ny okulärbesiktning visade att luft sannolikt både smet in under värmeväxlaren och mellan ramen och värmeväxlaren.

Det första läckagefelet avhjälpes genom att pressa in en isolermatta under växlaren för att täppa till det utrymme som finns där för att minimera läckageflödet, se bild

1



Bild 1. Den gröna ljudisolermattan som pressades in under värmeväxlaren.

Det andra läckagefelet avhjälpes genom att applicera silikon mellan ramen och värmeväxlaren, se bild 2.



Bild 2. Appliceringen av silikon mellan ram och värmeväxlare.

När fläkten snurrade åt fel håll fungerade skåpet inte alls. Det är viktigt att misstaget inte återfinns i fler levererade torkskåp.

Tätningsarbetet resulterade i en ökning av inkommande lufttemperatur till skåpet med 2°C, från 58,2 till 60,2°C vid en framledningstemperatur av 66,5°C. Läckagen äventyrar inte funktionen på skåpet. Torkprestandan om skåpet körs i Ekonomimode och utbytet av el till värme kommer att påverkas signifikant. Detta är i sig allvarligt eftersom det är just utbytet av el till värme som är själva syftet med värmevattenvärmte torkskåp. Därför rekommenderas att de tätningar som genomfördes här i fortsättningen genomförs i alla skåp.

Styrsystem

De vattenvärmda torkskåpen kommer att fälttestas på ett fritidshem/förskola i Västerås. Någon temperaturstyrning är det inte möjligt att hinna ta fram. Därför bestämdes tidigt att en tidsstyrning skulle utvecklas.

Torkskåpet har totalt åtta olika körprogram. Fyra program i ett, så kallat Ekonomimode, där enbart värmevatten används. Fyra program i ett, här kallat Snabbmode, där både el och värmevatten används. I de program där både el och värmevatten används så går både elvärmaren och värmevattnet upp till en så kallad bryttemperatur. Övanför denna temperatur så slås elvärmaren av och enbart värmevatten används. För utbytesfaktorn el till värmevatten ska hållas hög är det viktigt att bryttemperaturen hålls nere. Samtidigt får inte bryttemperaturen vara så låg att användarna inte märker någon skillnad mellan ekonomimode och snabbmode.

För att fastställa lämplig bryttemperatur gjordes ett test med tomt skåp. Det är lämpligt att bryttemperaturen ställs lägre än den jämviktstemperatur som erhålls om skåpet har liten eller ingen last alls. Vid en rumstemperatur av 21°C och framledningstemperatur av värmevattnet av 61,4°C erhöles en jämviktstemperatur av 45°C. Om bryttemperaturen ställs under denna så kommer skåpet även att gå på värmevattendrift i slutfasen av torkprocessen och vid små eller medelstora laster.

Ett test med inkommande värmevattenflöde 1,0 l/min och 1,6 l/min genomfördes för att utröna hur mycket inkommande värmevattenflöde påverkar temperaturen efter värmeväxlaren.

Inledande tester visade att skåpet i Ekonomimode funktion torkade en last om ca 4kg bestående av standardtygstycken som centrifugerats i 1200 rpm på 2 timmar och 15 min. Fälttestskåpen skall som tidigare nämnts placeras på fritidshem/förskola och där hänger man inga tygstycken. Där är det snarare overaller, jackor, mössor och vantar som är adekvat last. På fritidshem/förskola lastas och töms skåpen ofta i omgångar. Efter att skåpet öppnats för i eller urplockning kommer tiden att startas om. Detta talar för att en kort tid skall ställas in. Samtidigt vill man att skåpet inte skall stanna medan allt fortfarande är slaskblött. Detta talar för en lång torktid.

Det finns en knapp och en symbol som visar vilken torkmode som används. För att ge ytterligare återkoppling om torkmode så valdes tiderna så att det även i tidsdisplayen framgår vilken mode som används. Nackdelen blir att användarna tror att torktiden blir mycket längre i ekonomimode och hur det är med den saken det vet vi faktiskt ganska lite om hur det ser ut i fält. I tabell 1 visas de fasta torktider som använts i de olika torkprogrammen.

Tabell 1. Fasta torktider i torkskåpet.

Program	Värmevatten Ekonomimode	Värmevatten och el Snabbmode
<i>Extra torrt</i>	<i>4tim 0min</i>	<i>2tim 0min</i>
<i>Skåptorrt</i>	<i>3tim 30min</i>	<i>1tim 45min</i>
<i>Torrt</i>	<i>3tim 0min</i>	<i>1tim 30min</i>
<i>Stryktorrt</i>	<i>2tim 30min</i>	<i>1tim 15min</i>

Bryttemperaturen sattes till 40°C, alltså 5°C lägre än jämviktstemperaturen vid värmevattendrift. Vid denna bryttemperatur kommer inte elen att användas i sluttorkningen och i den mån torktiden är lång så kommer skåpet att hållas varmt enbart av värmevatten. Möjligen kan denna temperatur höjas något men det är som sagt viktigt att utbytet mellan el och värme blir så stort som möjligt även om användarna sannolikt oftast väljer snabbmode. Värmevattnets framledningstemperatur var 61,4°C, med en returtemperatur på 49,0°C och flödet 1,6l/min så avgav vattnet en värmeeffekt av 1400W.

Test 1 Snabbmode

På de två översta raderna hängdes sex overaller som torra vägde 4702 gram. De fuktades i ett snabbtvättprogram och centrifugerades i 400rpm och de vägde då 7317

gram. Overallerna innehöll således 2715 gram vatten. En fukthalt av 36 %. På den nedersta raden hängdes handdukar och standardtygstycken som torra vägde 1400 gram. Dessa fuktades och centrifugerades i 120rpm och vägde då 2515 gram. Handdukarna och tygstyckena innehöll 1115gram vatten. En fukthalt av 44 %. Sammantaget är detta en extrem last.

Sannolikt kommer man att för det mesta köra på programmet extra torrt. Därför användes det programmet.

Test 1 genomfördes med Snabbmode och således var den inprogrammerade torktiden 2 timmar 0min.

På de översta två raderna var den kvarvarande fukthalten efter avslutat program 823gram d.v.s. att det torkat bort 1892 gram. På den nedersta raden var kvarvarande fukt 382gram och att det torkats bort 783gram.

Efter vägning hängdes plaggen tillbaka på samma rad. Som program valdes Snabbmode och Stryktorrt. Inprogrammerad torktid 1tim 15min.

På de översta två raderna var den kvarvarande fukthalten efter avslutat program 550gram d.v.s. att det torkat bort 275gram. På den nedersta raden var kvarvarande fukt 176gram och att det torkats bort 202gram. Torkningen var förvånansvärt dålig i den andra körningen.

Test 2 Ekonomimode

I princip försökte jag upprepa testet med Snabbmode så långt som möjligt. På de två översta raderna hängdes sex overaller som torra vägde 4702 gram fuktades i ett snabbtvättprogram och centrifugerades i 400rpm och de vägde då 7041gram. Overallerna innehöll således 2399gram vatten. På den nedersta raden hängdes handdukar och standardtygstycken som torra vägde 1400 gram. Dess centrifugerades i 1200rpm och vägde då 2546 gram. Handdukarna och tygstyckena innehöll 1146gram vatten.

Test 2 genomfördes med snabbmode och således var den inprogrammerade torktiden 4 timmar.

Programmet avslutade helt felaktigt redan efter tre timmar. Den inprogrammerade tiden stämmer således inte.

På de översta två raderna var den kvarvarande fukthalten efter avslutat program 874 gram d.v.s. att det torkat bort 1525gram. På den nedersta raden var kvarvarande fukt 617 gram och att det torkats bort 908gram. Det torkar rätt bra även i Ekonomimode. Jämför man torkningen i Snabbmode och Ekonomimode så skiljer det inte särskilt mycket.

Efter vägning avslutades försöken eftersom programmerad tid inte följdes.

Diskussion

Bryttemperaturen kan sannolikt höjas lite för att få ner torktiderna. Å andra sidan så sjunker då utbytesgraden. En analys av hur mycket elen varit inkopplad får ligga till grund för detta ställningstagande.

Baserat på egna upplevelser när skåpet går så används elementet inte särskilt mycket i snabbmode vid bryttemperatur 40°C. Inte ens med den stora och blöta last som användes i dessa tester.

På ekonomimode måste den maximala tiden som kan erhållas med styrkortet sättas om. Själva programmeringen av styrkortet görs av personal på ASKO. Själva testerna kan göras helt utan last och genomförs enklast av samma person som justerar programmeringen. Sedan ställer man in en tid så att tiden för stryktorrt är större än 2 timmar och 30 minuter.

Leveranstest och justering av skåp nummer två genomförs förslagsvis av personal på ASKO i enlighet med ovan. Den panel som satt på skåpet fungerade inte när jag var där.

Hur man hänger torkgodset i skåpet är avgörande för torkresultatet. Främst är det bryttemperaturen som påverkas. Om kläderna hängs på ett sådant sätt att luften inte tar sig ner kommer torkningen att bli långsam och sannolikt kommer frånluften upp i bryttemperatur väldigt snabbt. I för användaren värsta fallet går aldrig det elektriska elementet. Detta resulterar dock i en hög utbytesgrad men kanske missnöjda kunder. Jag var noggrann och lastade inte torkgoods direkt under fläktutloppet. I fält kommer detta sannolikt inte att ske. En mer noggrann analys av mätdata från fältet får ge besked. Jag går omkring med idén att kapa bort de två innersta lastningsrören på den översta raden för att minska risken för att utflödet hindras och funktionen försämras.

Redan på förhand vet vi att vi kommer att vara tvungna att justera styrningen. Främst är det bryttemperaturen och justering av tiderna som jag i dagsläget är mest intresserad av. Det är därför viktigt att jag i projektet snabbt kan få en ny panel levererad från ASKO med nya tider och bryttemperatur.

FJÄRRVÄRMEDRIVNA VITVAROR

Genom att använda diskmaskiner, tvättmaskiner, torkskåp och torktumlare som drivs med varmt vatten från en cirkulerande krets via värmewäxlare, kan mer lågvärdig energi användas. Det gör att priset blir lägre än om maskinerna värms med el samtidigt som det bidrar till en bättre miljö.

Forskare från Högskolan Dalarna och Karlstads Universitet har tillsammans med tillverkaren Asko tagit reda på hur konkurrenskraftig tekniken med värmedrivna vitvaror är och hur maskinerna kan anslutas mot fjärrvärmesystem i olika systemlösningar. Energimässiga och ekonomiska analyser har gjorts för att undersöka förutsättningarna för tekniken som inte ska förväxlas med den för disk- och tvättmaskiner som är anslutna till varmvattenledningen.

Resultaten visar bland annat att värmedrivna tvättmaskiner och torktumlare är konkurrenskraftiga i tvättstugor som ligger i flerbilshus. Och att det i kommuner med konkurrenskraftiga fjärrvärmepreiser är lönsamt att installera värmedrivna vitvaror, komfortgolvvärme, och handdukstorkar enligt den så kallade Västeråsmodellen.

Rapporten innehåller anvisningar för projektering, drifterfarenheter och rekommendationer till fjärrvärmeföretagen som kan marknadsföra tekniken till sina kunder och därmed få möjlighet att sälja mer värme.