

Statusrapport för projektet:

**Efficient energy consumption at home
utilizing wireless sensor network**

Johan Nordlander

Linköpings Universitet

Norrköping

2008-06-02

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	1
1.1 SYFTE	1
1.2 METOD	1
1.3 STRUKTUR	1
2 TRÅDLÖSTEKNIK	2
2.1 TRÅDLÖSTEKNIK I FLERFAMILJSHUS	2
2.1.2 Hinder för trådlös kommunikation i bostadsmiljöer	2
2.2 ZIGBEE	3
2.2.1 Varför ZigBee	3
2.2.2 Vad skiljer ZigBee från tidigare trådlösa standarder	3
2.2.3 Nätverkets byggstenar	4
2.2.4 Profiler	5
3 TEKNISK PLATTFORM	6
3.1 KRAVSPECIFIKATION	6
3.2 ZIGBEE MODULER	7
3.3 MÄTPARAMETRAR	8
3.3.1 Temperatur	9
3.3.2 Luftfuktighet	10
3.3.3 Elförbrukning	11
3.3.4 (Varm)vattenförbrukning	13
3.3.5 Mätning av tillförd värme	14
3.3.6 VATTENLÄCKAGE	15
3.4 STYRPARAMETRAR	16
3.4.1 240VAC 5A relä	16
3.5 DATAINSAMLING OCH INTERAKTION MED ANVÄNDAREN	17
3.5.1 Design idé	17
3.5.2 Implementation	17
4 INSTALLATION I DEMONSTRATIONSLÄGENHET	19
4.1 PLACERING AV SENSORER	19
5 ANDRA ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN	21
5.1 BOVERKETS BYGGREGLER	21
5.2 FRISTÅENDE FASTIGHETER, VÄXTHUS OCH KONTOR/INDUSTRI	22
6 RESULTAT	23
6.1 TEKNISK PLATTFORM	23
6.2 DEMONSTRATIONSLÄGENHET	23
6.2.1 Temperaturmätning	23
6.2.2 Luftfuktighet	24
6.2.3 Vattenläckage	25
6.2.4 Elförbrukning	25
6.3 TÄCKNING/RÄCKVIDD	26
7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER	27
7.1 UPPSTART OCH INSTALLATION	27
7.2 REGLERING/STYRNING AV INOMHUSKLIMAT	27
7.3 DETEKTERING AV VATTENLÄCKAGE	27
KÄLLOR	28
BILAGOR	29

Figurförteckning

FIGUR 1A PUNKT TILL PUNKT KOMMUNIKATION	2
FIGUR 2 INKOPPLING AV ELFÖRBRUKNINGSLIGGER TILL 1-FAS ELMÄTARE	11
FIGUR 3 INKOPPLING AV ELFÖRBRUKNINGSLIGGER TILL 3-FAS ELMÄTARE. MÄTNING PÅ TOTAL FÖRBRUKNING	12
FIGUR 4 INKOPPLING AV ELFÖRBRUKNINGSLIGGER TILL 3-FAS ELMÄTARE. MÄTNING PÅ 3 FASER	12
FIGUR 5 BESKRIVNING AV SENSOR/PARAMETER KONSTRUKTION	17
FIGUR 6 PRESENTATION AV MÄTDATA (INGA ENHETER INKOPPLADE)	18
FIGUR 7 PLACERING AV SENSORER I DEMONSTRATIONSLÄGENHET (KÄLLA NCC INFORMATIONSBLAG)	20
FIGUR 8 MEDELTEMPERATUR I DEMONSTRATIONSLÄGENHET	23
FIGUR 9 MEDELLUFTFUKTIGHET I DEMONSTRATIONSLÄGENHET	24
FIGUR 10 VATTENLÄCKAGE DEMONSTRATIONSLÄGENHET	25
FIGUR 12 KRETSSCHEMA TEMPERATUR OCH LUFTFUKTIGHETSMODUL	29
FIGUR 13 TEMPERATUR- OCH LUFTFUKTIGHETSMODUL	29
FIGUR 14 KRETSSCHEMA FÖR ELMÄTARMODUL	30
FIGUR 15 MODUL FÖR REGISTRERING AV ELFÖRBRUKNING	30
FIGUR 16 KRETSSCHEMA FÖR ENERGIMÄTARE	31
FIGUR 17 ”ENERGIMÄTARE”	31
FIGUR 18 KRETSSCHEMA ”RELÄ”	32
FIGUR 19 MODUL FÖR STYRNING AV ELEKTRISKLAST	32
FIGUR 20 VATTENLÄCKAGEMODUL	33

Tabellförteckning

TABELL 1 SAMMANFATTNING ZIGBEE MODULER	8
TABELL 2 SAMMANFATTNING TEMPERATURMÄTNING	9
TABELL 3 SAMMANFATTNING MÄTNING AV LUFTFUKTIGHET	10
TABELL 4 SAMMANFATTNING MÄTNING AV ELFÖRBRUKNING	12
TABELL 5 SAMMANFATTNING MÄTNING VATTENFÖRBRUKNING	13
TABELL 6 SAMMANFATTNING MÄTNING VÄRMEFÖRBRUKNING	15
TABELL 7 SAMMANFATTNING VATTENLÄCKAGE DETEKTERING	15
TABELL 8 SAMMANFATTNING STYRNING AV RELÄ	16
TABELL 9 PLACERING AV SENSORER I DEMONSTRATIONSLÄGENHET	20
TABELL 10 RESULTAT AV ELMÄTNING PÅ ENSKILDA FÖRBRUKNINGSTÄLLN	25

1 Inledning

Energianvändning har blivit en allt viktigare del av både fastighetsägarens och den boendes vardag. Från att ha varit liten del av boendekostnaden har kostnaden för energianvändningen bara ökat och ökat de senaste åren. Detta har återigen ökat intresset för individuell mätning av energiförbrukningen i både nya och gamla lägenheter. Inom detta forskningsprojekt finansierat av Energimyndigheten och NCC undersöker vi om det är möjligt att skapa ett trådlöst system för detta syfte.

1.1 Syfte

Projektet syftar till att utvärdera hur den ”nya” trådlösa tekniken ZigBee kan användas i ett system för individuell mätning och styrning av inomhusklimat i flerfamiljshus. Tekniken har förutsättningar att skapa billigare system än de system som finns på marknaden idag vilket ger fastighetsägare större möjlighet att tillhandahålla denna tjänst till sina hyresgäster.

1.2 Metod

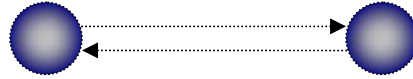
Inom projektet har ett mät- och styrsystem baserat på ZigBee utvecklats. Detta system har sedan utvärderats i ett demonstrationssystem där mätmetoder och kommunikationen testats och analyserats inför en större installation som genomförts tillsammans med NCC. NCC har tillhandahållit en demonstrationslägenhet i på gamla garnisonsområdet i Linköping där ett fullskaligt test av en lägenhet ska genomföras. Genom det fullskaliga testet kommer mätdata att loggas för vidare analys av inomhusklimatet.

1.3 Struktur

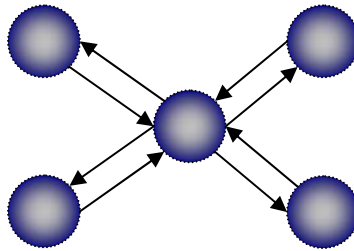
Rapporten är indelad i 3 delar, först en teori del som beskriver trådlösteknik i allmänhet och mer detaljerade information om ZigBee. Därefter följer en del om den tekniska plattformen som utvecklas och som användes inom detta projekt. Till sist beskrivs och analyseras två installationer av mät- och styrsystemet ett demosystem och en riktig installation

2 Trådlösteknik

Trådlös kommunikation har allt sedan ”radion” kom runt år 1900 varit fokuserad på punkt till punkt (P2P, se fig 1a) eller punkt till multipunkt kommunikation (P2MP se fig 1b).



Figur 1a Punkt till punkt kommunikation



Figur 1b Punkt till multipunkt

2.1 Trådlösteknik i flerfamiljshus

Införandet av trådlöst nätverk (WLAN) mellan datorer har inneburit en revolution för användandet av internet i många hem, från att ha varit låst till en punkt i huset eller lägenheten, har många nu möjligheten att röra sig fritt i sitt hem och ändå ha koppling mot internet. Det samma gäller den snabba utvecklingen som gjort det möjligt att vart som helst i världen kunna bli nådd på sin mobil. Man kan förutspå att samma utveckling ska hända även inom andra områden, till exempel i fordon men kanske framför allt när det gäller data insamling. Detta skapar helt nya möjligheter när det gäller individuell mätning i befintliga byggnader.

2.1.2 Hinder för trådlös kommunikation i bostadsmiljöer

All radiokommunikation följer Darwins teorier, den starkaste vinner alltid. Detta innebär alltså att en svag radiosignal alltid störs ut av en starkare signal som sänder på samma frekvens om två sändningar sker samtidigt. Detta kan ställa till problem i en bostadsmiljö där trådlösa produkter får allt större utrymme och många produkter ska samsas på samma frekvensband (2.4 GHz). Det andra stora hindret för trådlös kommunikation i bostadsmiljöer är väggar. Alla hinder mellan sändare och mottagare resulterar i störningar i radiotrafiken. Ett tredje problem som finns i bostadsmiljön är att man vill hålla utstrålad effekt så låg som möjligt på grund av debatten om hälsoeffekterna runt elektromagnetiskstrålning. Samtidigt innebär en lägre uteffekt lägre strömförbrukning vilket medför att många enheter kan vara batteridrivna.

2.2 ZigBee

ZigBee är en internationell standard som är baserad IEEE 802.15.4. För att minimera problem implementerar ZigBee CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision avoidance) vilket innebär att innan varje sändning kontrolleras att det aktuella radiofrekvens bandet är ledigt och först när detta konstateras påbörjas en sändning.

2.2.1 Varför ZigBee

Som den första stora internationella standarden har ZigBee specificerat hur trådlös kommunikation mellan olika utrustningar i både industri och hemmiljö ska vara utformad och samtidigt lyckats få branschens acceptans. På sikt resulterar detta i att konsumenterna kan välja olika produkter från olika tillverkare i samma installation vilket både utökar möjligheterna och pressar priserna.

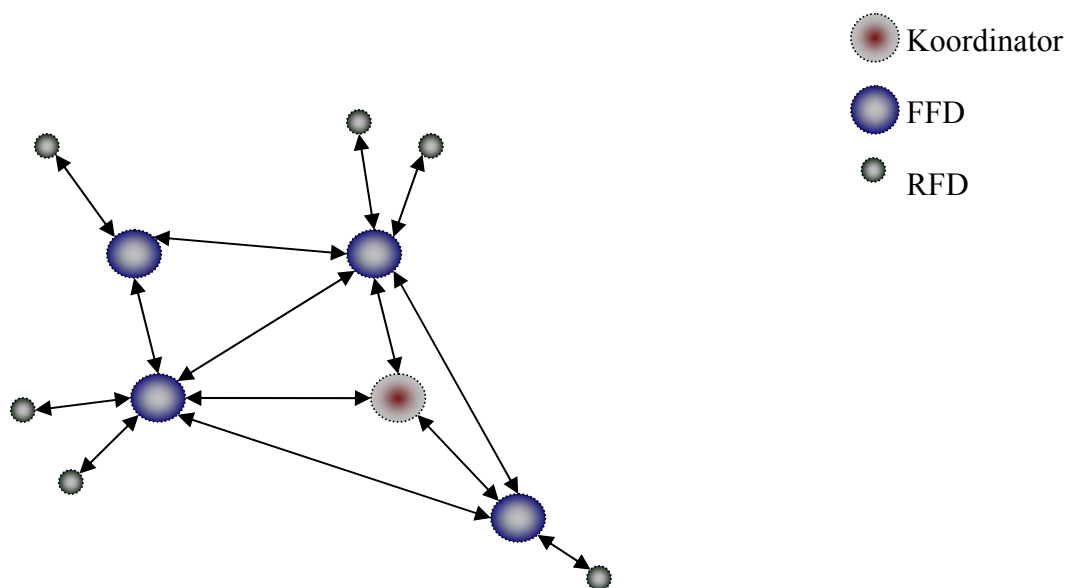
2.2.2 Vad skiljer ZigBee från tidigare trådlösa standarder

I de flesta trådlösa standarderna kommunicerar en enhet/node med en annan nod i systemet direkt. Detta innebär att varje nod i systemet måste ha kontakt med en central punkt för att kommunikationen ska fungera. Nackdelen med detta är givetvis att om avståndet blir för stort eller om den centrala punkten i systemet försvinner så slutar hela systemet att fungera. Genom att istället bygga upp ett nätverk där varje nod kan prata med andra noder och där information kan skickas vidare om avståndet mellan två noder i systemets periferi blir för stort, ett så kallat mesh-nätverk (se figur 2), kan driftsäkerheten maximeras och bara för att en enhet slutar fungera så slutar inte allt att fungera. Denna funktion är själva grundstenen i ZigBee, genom att man har implementerat funktioner som gör att nätverket själv "läker" om en enhet inte fungerar som den ska bibehålls hela nätverkets funktion även om enskilda noder försvinner.

Denna stora skillnaden mellan ZigBee och andra trådlösa standarder är att ZigBee redan i standarden bygger nätverk, medan andra standarder framför allt är inriktade mot punkt till punkt kommunikation.

Mesh-nätverk

Meshnät är en nätstruktur där en nod alltid har kontakt med minst en annan nod och där denna nod kan skicka vidare information till andra berörda noder. Detta ger en hög grad av redundans och därigenom hög driftsäkerhet.



Figur 2 ZigBee nätverk

2.2.3 Nätverkets byggstenar

Ett ZigBee nätverk består av 3 olika standard komponenter, en koordinator, flera Full Function Devices (FFDs) och flera Reduced Function Devices (RFDs). Dessa tillsammans bygger upp en flexibilitet som medför ZigBee är användbar i de flesta tillämpningar. Dessa 3 olika standard komponenter implementerar olika funktioner och är därför lämpliga till olika funktioner.

RFD – Reduced Function Device

Den enklaste typen av noder i ett ZigBee nätverk är av typen RFD. Dessa noder saknar möjligheten att routa trafik i nätverket och kan därför vara avstängda under långa tidsperioder när de inte är i behov av att utbyta information. Detta gör att RFDs mycket väl kan användas i batteridrivna enheter till skillnad från FFDs som måste vara nätanslutna. För att förlänga batteritiden brukar ofta en schemaläggingsfunktion implementeras som gör att enheten vaknar upp på ett förutbestämt tidsintervall, utför sin uppgift och därefter återgår till sleep mode. Denna funktionalitet är användbar i de flesta sensormoduler men inte alls lämplig i till exempel datainsamlingsmodulerna, då RFD enheterna bara kan prata med en annan enhet till skillnad från FFD enheter.

FFD – Full Function Device

”Full Function Devices” implementera allt som RFD enheter implementerar men dessa enheter kan dessutom routa information i nätverket. Detta innebär att information kan skickas vidare till andra FFD enheter om slutdestinationen inte är kontaktbar direkt.

Coordinator/Koordinator

I varje ZigBee nätverk måste det finnas en koordinator. Denna enhet implementerar samma funktionalitet som en FFD men den sköter också om systemets inställningar samt installationen/avinstallation av enheter/noder.

2.2.4 Profiler

För att produkter från olika tillverkare ska kunna kommunicera och arbeta tillsammans har ZigBee Alliance definierat publika profiler. Dessa profiler definierar hur kommunikation mellan till exempel en strömbrytare och ett ställdon ska se ut.

Utvecklingen av publika profiler pågår fortfarande men i dagsläget finns följande 4 profiler publicerade:

- Energy Management & Efficiency
- Home Automation
- Building Automation
- Industrial Automation

3 Teknisk plattform

Mät- och reglerutrusning baserad på ZigBee tekniken är i stort sätt obefintlig om man kollar på den kommersiella marknaden idag, därför har projektet inletts med att en teknisk plattform för individuell mätning och styrning utvecklats enligt följande kravspecifikation. Figur 3 ger en enkel överblick över hur ett system kan se ut.

3.1 Kravspecifikation

Allmänna krav:

- Användaren/brukaren ska direkt kunna få återkoppling från system
- Allt ska vara trådlöst och utnyttja ZigBee
- Kostnaden för systemet ska hållas så lågt som möjligt

Parametrar som ska mätas

- Temperatur (inne och ute)
- Luftfuktighet
- Elförbrukning
- Vattenflöde (både tappvatten och flödet genom radiatorer)
- Vattenläckage¹
- Energimätning/värmemätning

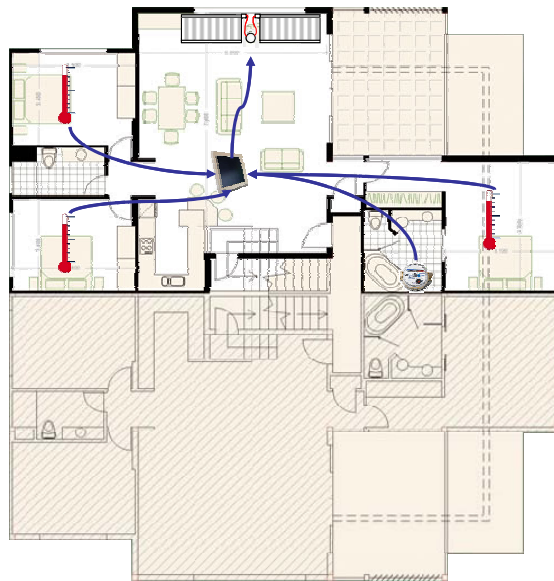
Parametrar som ska styras

- Motorventiler för radiatorer
- Valfri elektrisk last, t.ex. belysning

Presentation

- PC + Pekskärm

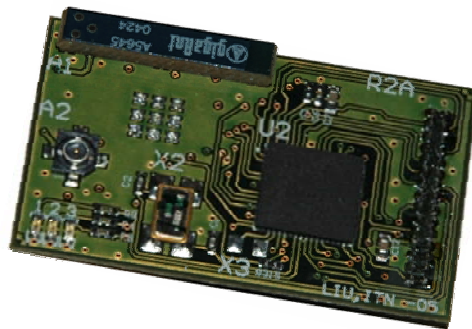
¹ Detta genomförs som ett examensarbete



Figur 3 Översikt teknisk plattform

3.2 ZigBee moduler

Tidigare arbete genomfört vid institutionen för teknik och naturvetenskap (ITN) vid Linköpings universitet, har syftat till att utveckla och utvärdera ZigBee tillämpningar. Genom Johan Lönn och Jonas Olssons arbete har egenutvecklade ZigBee moduler tagits fram (se figur 4) med mycket god prestanda. Modulerna är designade så att bara en yttre spänningskälla krävs vilket medför att de lämpar sig mycket väl för detta system [3].



Figur 4 ZigBee modul utvecklad av Johan Lönn och Jonas Olsson

Modulen är baserad på en transiver lösning från Texas Instrument (TI, ursprungligen utvecklad av Chipcon men sedan 24 januari 2006 ägs Chipcon av TI[1]) CC2420 tillsammans med en mikroprocessor från Atmel (ATMega128). Denna kombination tillsammans med en integrerad antenn skapar en modul som förutom sensor är klar att använda i alla tillämpningar där trådlöskommunikation efterfrågas. Tabell 1 sammanfattar de viktigaste parametrarna av ZigBee modulerna som användes inom detta projekt.

Sammanfattning

Tabell 1 Sammanfattning ZigBee moduler

Parameter	Värde
Mikroprocessor	ATMega128
Flash	128 KB
SRAM minne	4 KB
Transeiver	CC2420
Räckvidd	upp till 150 m (fri sikt)

3.3 Mätparametrar

Den kanske viktigaste faktorn i ett system för individuell mätning och styrning av inomhusklimatet är den mätdata som systemet kan registrera. Genom att ha möjlighet att mäta på en mer detaljerad nivå, kan systemet förfinas och möjligheten att spara energi maximeras. Men samtidigt betyder mer uppmätt information större komplexitet i det överliggande systemet vilket i sin tur också innebär att felaktig mätdata får större inverkan på resultatet. Av denna anledning använder ett par av mätparametrarna existerande "givare" istället för egenutvecklade sensorer för att säkerställa driftsäkerhet och noggrannhet.

En annan viktig aspekt förutom att alla mätparametrar måste kunna mätas korrekt är att ingen information får "försvinna" även om någon i det centrala systemet slutar att fungera. Av den anledningen är alla sensor utrustade med möjligheten att lokalt registrera och spara mätdata under ca 6 månader. I händelse av att centrala datainsamlingsystemet inte går att komma åt eller att kommunikationen med insamlingsystem inte kan verifieras så övergår enheterna automatiskt i detta läge. I detta läge sparas all mätdata för senaste veckan en gång i timmen (medelvärde) och information som är äldre än en vecka 1 gång dygn (medelvärde), samtidigt som datainsamlingsystemet meddelar brukaren om att en viss enhet har fallit bort ur system så att detta kan åtgärdas. Informationen om mätdata sparas tillsammans med en tidsangivelse för senare bearbetning och addering till det central datainsamlingsystemet.

3.3.1 Temperatur

”Temperaturgivarna” som användes inom detta projekt är batteridrivna fristående enheter som kan installeras på valfri plats i byggnaden. Om behov finns kan enheterna också drivas via en 5-10VDC batterieliminatör för att ta bort behovet av batteribyten. Enheten för temperaturmätning är uppbyggd runt en temperaturgivare från Sensirion (SHT15 [2]) med mycket god noggrannhet i det aktuella temperaturområdet.

Sensorn som användes är kalibrerad och klassificerad av tillverkaren. Detta tillsammans med att sensorn kommunicerar med omgivningen via ett digitalt interface möjliggör långvarig användning utan att sensor modulen tappar precision. Dessutom drar sensorn lite ström vilket ytterligare förbättrar möjligheten att låta sensormodulerna vara batteridrivna.

Den utvalda givaren innehåller dessutom en luftfuktighetssensor (se 3.3.2 Luftfuktighet för mer information) vilket minimerar antalet givare som krävs i systemet.

Temperaturen samplas varje minut och ett medelvärde för senaste timmen och senaste dygnet räknas ut i modulen. Detta medelvärde tillsammans med det aktuella mätvärdet skickas sedan vidare var femte minut till en central datainsamlingspunkten där mer historik samlas.

Se bilaga för kretsschema och fotografi.

Sammanfattning

Tabell 2 Sammanfattning temperaturmätning

Parameter	Värde
Sensortyp	Integrerad
Tillverkare	Sensirion
Modell	SHT15
Precision	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Spänningsmatning	3x R03 (AAA) eller 5-10VDC

3.3.2 Luftfuktighet

Luftfuktighet är en ofta bortglömd parameter i boendemiljön trots att alla som badat bastu någon gång vet att en temperatur kan uppfattas helt olika beroende på om luften är torr eller inte. Så bortsett från folk som har problem med fukt i grunden utnyttjar oftast inte denna parameter för att förbättra inomhusklimatet. Inom detta projekt försöker vi utnyttja den relativa luftfuktigheten för att styra ut värmen på ett smartare sätt för att i slutändan försöka minska energiförbrukningen. Innebörden av absolut och relativa luftfuktighet beskrivs i nedan.

Absolut luftfuktighet

Absolut luftfuktighet är ett mått på hur stor vattnets massa är per volymenhet (g/m^3) eller hur stor vattnets massa är per massenhet (g/kg) i luft.

Relativ luftfuktighet

Relativ luftfuktighet är mått på hur stor del vatten luft innehåller i relation till den maximala mängden vätska, luft kan innehålla vid en aktuell temperatur och trycket.

Benämns oftast RH (relative humidity)

Absolut luftfuktighet mäts av modulen som användes inom detta projekt. Men i och med att en temperaturgivare finns tillgänglig i samma modul kan relativ luftfuktighet beräknas (se 3.3.1 Temperatur).

Luftfuktigheten samplas varje minut och ett medelvärde för senaste timmen och senaste dygnet räknas ut i modulen. Detta medelvärde tillsammans med det aktuella mätvärdet skickas sedan vidare var femtonde minut till samma central datainsamlingspunkten som sparar temperaturhistorik. För mer information om sensorn se 3.3.1.

Se bilaga för kretsschema och fotografi.

Sammanfattning

Tabell 3 Sammanfattning mätning av luftfuktighet

Parameter	Värde
Sensortyp	Integrerad
Tillverkare	Sensirion
Modell	SHT15
Precision	2 % (10-90% RH)
Spänningsmatning	3x R03 (AAA)

3.3.3 Elförbrukning

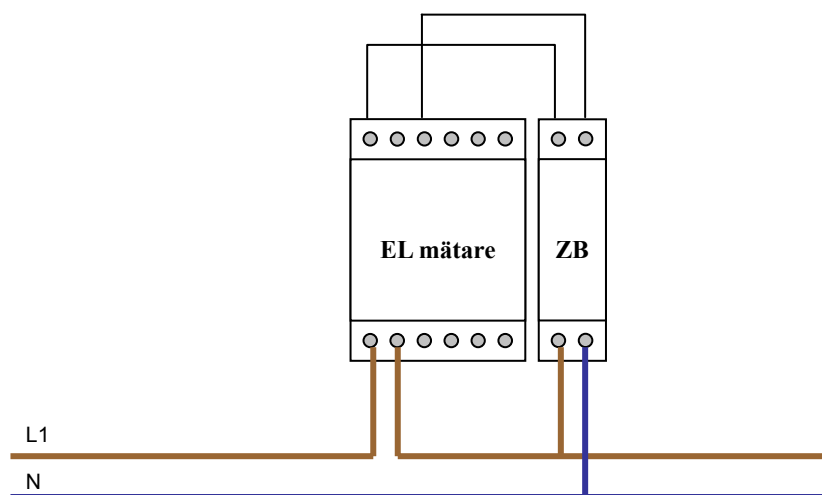
Till skillnad från temperatur och luftfuktighets mätare så kräver mätaren av elförbrukning en traditionell elmätare med pulsutgång för att fungera. Pulserna som skickas ut från elmätaren (1-1000 pulser per kWh) omvandlas till aktuell förbrukning genom att tidsskillnaden mellan två pulser mäts. Dessutom sparas den totala förbrukningen genom att antalet pulser integreras. Information som lagras i elförbrukningsloggern kan programmeras så att information i loggern och elmätaren överstämmer om så önskas för att minska risken för konflikt med hyresgästen. Däremot går det inte att ”rensa” eller på annat sätt ändra uppmätt information.

Mätaren/loggern av elförbrukning är nätansluten och placeras lämpligen i anslutning till den befintliga elmätaren eller i lägenhetens elskåp. I och med att loggern är nätansluten kan enheten också arbeta som FFD (se 2.2.3) och skicka vidare information från batteridrivna enheter. Detta resulterar i att man i normalfallet inte behöver installera ytterligare routers i en normalstor lägenhet. Vid behov kan upp till 3 elmätare kopplas in till samma elförbrukningslogger alt. om 3 faser ska mätas separat (se nedan för mer information om inkoppling).

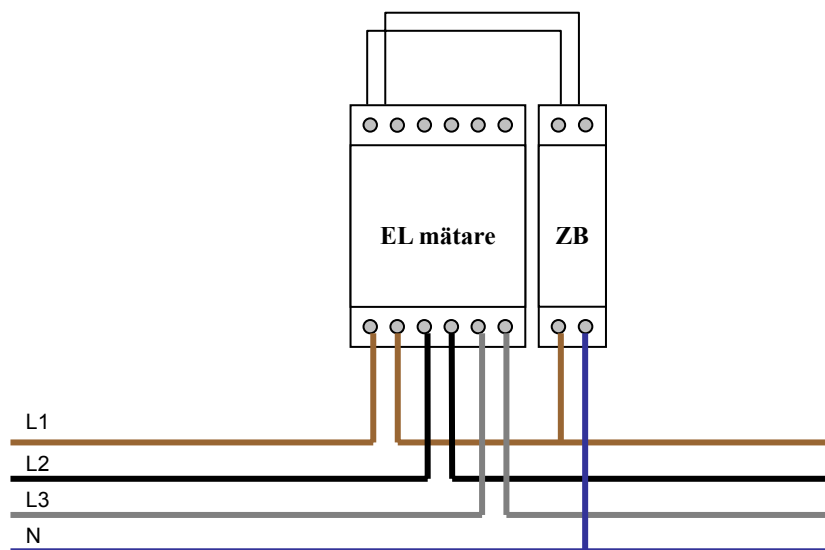
Enheten samplar mätdata kontinuerligt med en upplösning på upp till 1000 samples per sekund och skickar vidare information om aktuell förbrukning var 5:e sekund. Den ackumulerade förbrukning däremot skickas bara en gång per timme.

Se bilaga för kretsschema och fotografi

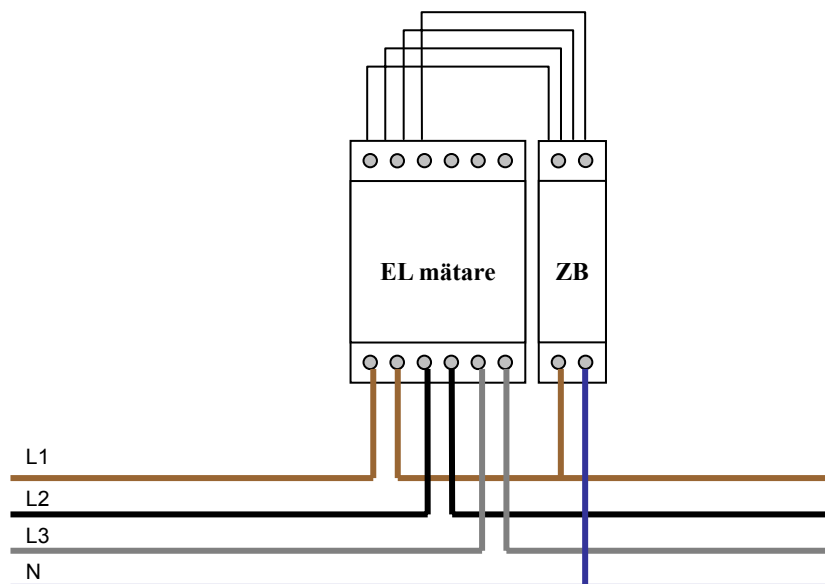
Inkoppling



Figur 2 Inkoppling av elförbrukningslogger till 1-fas elmätare



Figur 3 Inkoppling av elförbrukningslogger till 3-fas elmätare. Mätning på total förbrukning



Figur 4 Inkoppling av elförbrukningslogger till 3-fas elmätare. Mätning på 3 faser

Sammanfattning

Tabell 4 Sammanfattning mätning av elförbrukning

Parameter	Värde
Sensortyp	Pulsräknare
Antal pulser per kWh	1-1000 pulser per sekund
Precision	Beroende av elmätare
Spänningsmatning	240VAC

3.3.4 (Varm)vattenförbrukning

Tanken med att mäta vattenförbrukning är dels för att se hur mycket energi som går åt för värma vattnet som förbrukas och dels för att ge fastighetsägaren en möjlighet att debitera kunden för den förbrukning han eller hon verkligen förbrukar och inte enbart en del av den totala förbrukning som finns i fastigheten/området.

Precis som med mätaren för elförbrukning kräver även vattenmätaren en extern vattenmätare för att fungera och precis som med mätaren för elförbrukning så kräver modulen för vattenmätning att en puls signal finns tillgänglig. Detta finns normalt sätt inte tillgängligt i lägenheten utan måste installeras i efterhand och fram till dags datum är detta en komplicerad process då vvs installationen måste ändras fysiskt i samband med att vattenmätaren installeras. För att inte saken bättre ställer även dagens byggt teknik till vissa besvär. Många av dagens nybyggnationer (inkl nästan alla äldre hus) använder sig av vertikala vattenstammar för att enkelt koppla ihop tappvatten på olika våningsplan. Detta medför i regel att en mätare måste installeras på varje tapp ställe vilket ytterligare försvårar installationen och framför allt fördyrare installation. Att använda sig av trådlös teknik här förenklar vissa bitar av detta men kräver fortfarande en stor installation jämfört med alla andra mätparametrar som krävs.

Mätaren som används inom detta projekt är batteridriven eller ansluten till 5-10V från en batterieliminatör och registrerar information från en ”vanlig” vattenmätare (helt oberoende av mätartyp, en vattenmätare av vinghjulstyp fungerar lika bra som en induktions eller ultraljudsmätare). Information skickas vidare till datainsamlingsystem var femtonde minut eller om förbrukningen inom en minut är större än 3 liter.

Sammanfattning

Tabell 5 Sammanfattning mätning vattenförbrukning

Parameter	Värde
Sensortyp	Pulsräknare
Antal pulser per kWh	1-1000 pulser
Precision	Beroende av vattenmätare
Spänningsmatning	3x R03 (AAA) eller 5-10 VDC

3.3.5 Mätning av tillförd värme

Alla parametrar som hittills blivit beskrivna är relativt enkla att implementera och använda men att mäta tillförd värme till ett rum, en lägenhet eller en byggnad är betydligt mer komplext.

Ser man till vattenburen värme så finns det två stycken klassiska sätt att mäta tillförd värme. Det första är genom att mäta hur mycket energi som går in i ett värme system och hur mycket värme som kommer tillbaka i returledningarna på det samma. Det andra sättet är att från temperaturskillnaden på radiatorn och det omgivande rummet samt arean på radiatorn, räkna ut hur mycket möjlig energi som radiatorn kan avge till rummet. Detta medför att beräkningarna måste anpassas för radiatortyp.

Inom detta projekt har jag valt att använda den första varianten då den är enklare att realisera. Mätaren bygger på information från upp till 16 temperaturgivare och 4 flödesmätare. Detta medför att 4 separata värmegrupper kan mätas från en och samma mätare om vvs installationen tillåter detta.

Grunden i denna typ av mätsystem är som jag kortfattat beskrev att man mäter skillnaden på energiinnehåll i framledningen jämfört returledningen. All energi som "försvunnit" anser man sedan har gått ut i form av värme i rummet/lägenheten. Detta är en något förenklad bild över värmesystemet då det alltid finns förluster som inte direkt värmer upp objektet man mäter på, men i normalfallet ger detta en god bild över tillförd värme. Som går att utläsa från formel 3.1 räknas energin fram genom från temperaturskillnaden på framledningen jämfört returledningen tillsammans med hur mycket vatten (eller annan vätska) som passerat.

Modulen för energimätning som användes inom det projekt är också baserad på denna formel och räknar kontinuerligt ut hur mycket energi som ett slutet värme system avgivit till omgivningen. Information skickas vidare till det central datainsamlingsystemet 1 gång per timme och innehåller både information om senaste timmens total förbrukning inkl maximal förbrukning.

$$Q = \frac{\rho C_p (t_{vv} - t_{kv}) V}{3600} \quad (KWh) \quad (3.1)$$

där

- ρ vattnetsdensitet kg/m^3
- C_p Vattnets specifika värmekapacitet, $J/kg^\circ C$
- t_{vv} varmvattnets temperatur, $^\circ C$
- t_{kv} kallvattnets temperatur, $^\circ C$
- V vatten volym, m^3

Konstanter för vatten

- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $C_p = 4180 \text{ J/kg}^\circ C$

Vilket i ett slutet system värmesystem kan skrivas om som

$$Q = \frac{\rho C_p (t_{fram} - t_{retur}) V}{3600} \quad (KWh) \quad (3.2)$$

där

t_{fram} temperatur på framledning
 t_{retur} temperatur på returledning

Sammanfattning

Tabell 6 Sammanfattning mätning värmeförbrukning

Parameter	Värde
Sensortyp	Pulsräknare, integrerad temperaturgivare
Antal pulser per L	1-1000 pulser
Precision (flöde)	Beroende av vattenmätare
Precision (temperatur)	$\pm 1^\circ\text{C}$
Spänningsmatning	5-10 VDC

3.3.6 Vattenläckage

Detektering av vattenläckage är en den sista parametern som finns tillgänglig i mätsystemet. Genom att på ett tidigt stadie och detektera och larma för vattenläckage kan stora värden räddas i händelse av att större eller mindre vattenläckage. I ett längre perspektiv med mer anpassat byggande skulle man även kunna tänka sig att hela lägenhetens vatten stängs av i samband med ett larm.

Vattenläckagedetektorn som används inom detta projekt är batteridriven och utnyttjar teknik för att maximera batteritiden. Detta gagnar för ett minimalt antal batteribyten krävs samtidigt som mycket god driftsäkerhet uppnås.

Vattenläckagedetektorn har utvecklats genom ett examensarbete, så för mer detaljerad information om dess funktion hänvisas till Anders Petterssons rapport ”*Wireless water leakage detector*” [4].

Tabell 7 Sammanfattning vattenläckage detektering

Parameter	Värde
Sensortyp	Integrerad
Spänningsmatning	3x R03 (AAA) eller 5-10VDC

3.4 Styrparametrar

Den andra delen i ett system för individuell mätning och styrning av inomhusklimatet är de parametrar som går att påverka. Tanken från början var att ett stort antal parametrar skull gå att styra men på grund av tekniska problem och tidsbrist så har tyvärr bara en styrbar parameter implementerats. Dock går denna parameter (reläfunktion) att användas till ett större antal olika tillämpning så som till exempel tända/släcka belysning, öppna/stänga fönster/spjäll eller för att styra värmekällor.

3.4.1 240VAC 5A relä

Den enklaste utrustningen för att styra annan utrusning är en elektrisk reläfunktion. Denna funktion öppnar eller sluter en elektrisk krets baserat på ett kommando från överliggande system. Så i händelse av larm eller till exempel manuellt kommando från användaren kan en funktion slås på, slås av eller gå från av till på/på till av. I nuvarande implementation används denna funktion för att presentera larm (vattenläckage, över/under temperatur).

Se bilaga för kretsschema och fotografi

Tabell 8 Sammanfattning styrning av relä

Parameter	Värde
Styrparameter	Relä, On/off 240VAC/5A
Spänningsmatning	240VAC

3.5 Datainsamling och interaktion med användaren

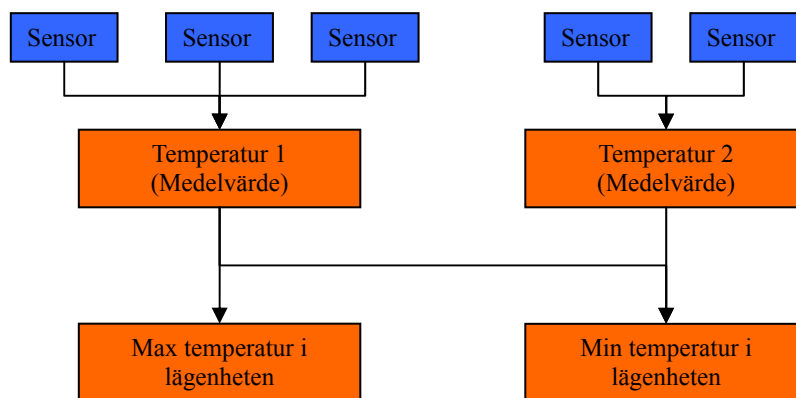
Den sista delen i den tekniska plattformen är en PC programvara skriven för att på ett enkelt sätt presentera information för slutanvändaren och lagra historiskdata. Programmet är själva hjärnan i hela systemet, här bearbetas all information som skickas från sensormodulerna i form av temperaturer, flöden etc.

3.5.1 Design idé

PC programvaran är designad för att på sikt köras på en embedded pc (som kör XP embedded som operativsystem) men finns idag bara tillgängligt för windows 98, 2000, XP och Vista. Information som lagras och presenteras är helt konfigurerbar (se *Användarguide för PC programvara* för mer information) och kräver ingen förändring direkt i mjukvaran.

3.5.1.1 Sensorer och parametrar

Information som skickas från en sensor är varken direkt möjlig att visa eller spara. Utan för att till exempel för att en temperatur ska kunna presenteras måste en "temperaturparameter" läggas till. Till denna parameter läggs sedan alla aktuella sensor eller andra parametrar som den nya "temperaturparameter" använder sig av för käll information. I nedanstående exempel (se figur 5) beskrivs hur 5 temperaturgivare kopplas ihop via 4 parametrar. Först visar två parametrar medelvärdet för 3 respektive 2 temperaturgivare och sedan används dessa två parametrar för att skapa ytterligare 2 parametrar som registrerar max/min temperatur.

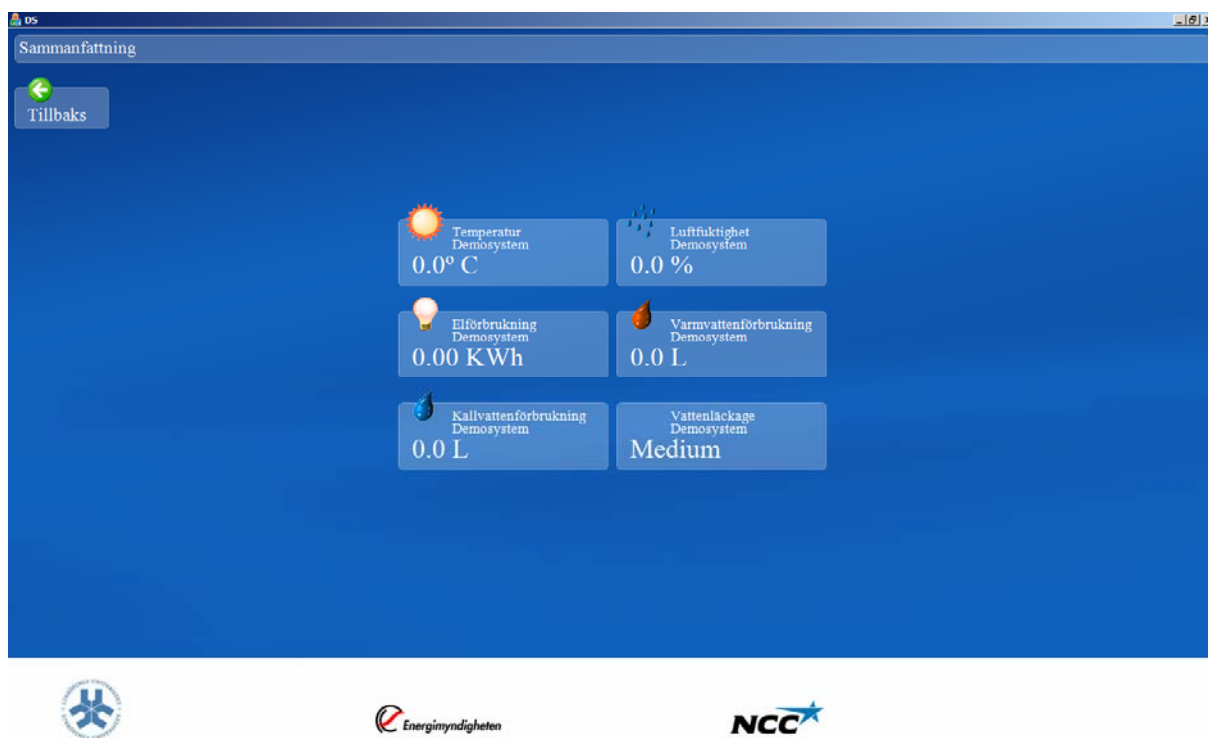


Figur 5 Beskrivning av sensor/parameter konstruktion

3.5.2 Implementation

Applikationen utnyttjar ett liknande användarinterface som många "media" applikationer så som MS Media Center och MediaPortal etcetera utnyttjar och är helt uppbyggt för att fungera tillsammans med pekskärmar. Applikation bygger på tryckknappar som kommer utefter laddat system innehåller information om parametrarna beskrivna i 3.5.1.1. Klickar man på en parameter så får man upp mer information om den parameter och om den är uppbyggd av en eller fler parametrar eller

sensorer vissas dessa separat.



Figur 6 Presentation av mätdata (inga enheter inkopplade)

4 Installation i demonstrationslägenhet

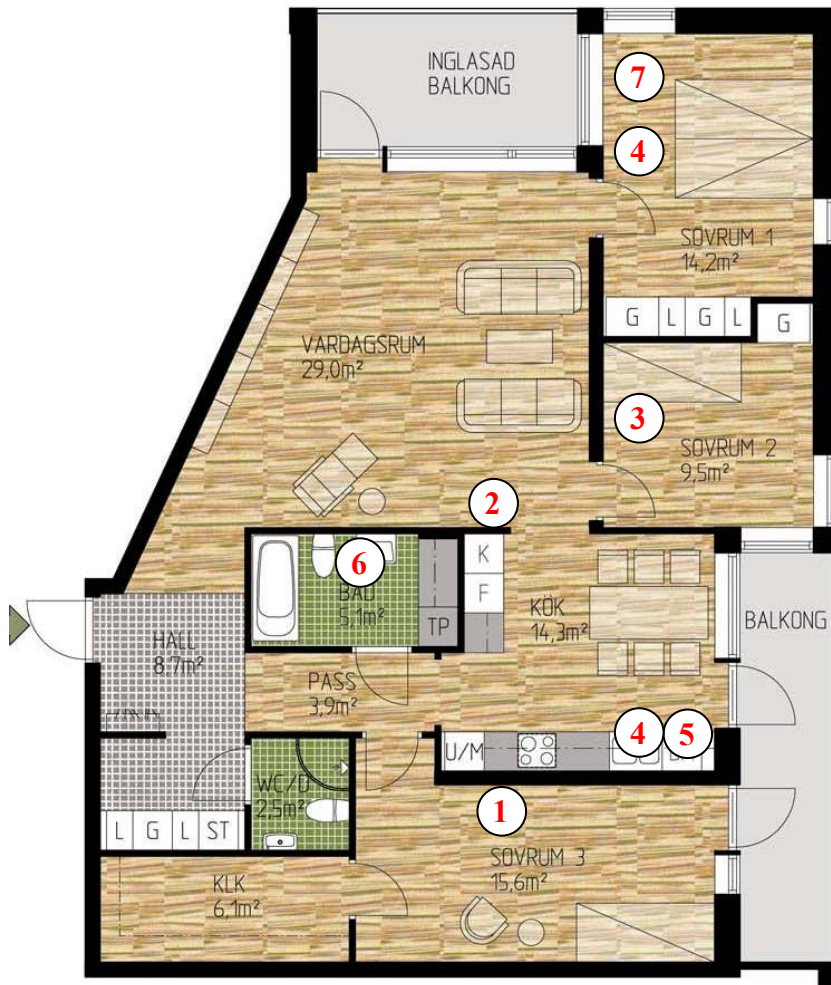
Tack vare samarbetet med NCC har försök genomförts i en demonstrationslägenhet (lägenhet 1) placerad i Linköping. I denna lägenhet har vattenmätare installerats på två tapp ställen tillsammans med alla givare utvecklade inom projektet.

Efter att utrustning installerats har kommunikationsprov genomförts för att undersöka om routers krävs för tillförlitlig kommunikation genomförts.

I projektets slutskede har vissa försök genomförts i ytterliggare en lägenhet (lägenhet 2).

4.1 Placering av sensorer

Placeringen av sensorerna är av yttersta vikt för att få ett väl fungerande system. Dels för att få tillförlitlig information som inte innehåller parametrar som är direkt påverkade av solljus eller värme/kyla etcetera. Dels för att säkerställa att kommunikationen fungerar som det är tänkt. Figur 7 (nästa sida) beskriver hur placeringen av sensormoduler utförts i demonstrationslägenhet 1. Här kan man se att temperaturgivarna är placerade i sovrum 2 och 3 samt i vardagsrummet, vattenmätare i badrum och kök och vattenläckagedetektor under diskbänk. Denna placering av sensor är så när som på en vattenmätare i WC/dusch tillräcklig för att täcka upp hela behovet av mätning i den valda lägenheten.



Figur 7 Placering av sensorer i demonstrationslägenhet (källa NCC informationsblad)

Tabell 9 Placering av sensorer i demonstrationslägenhet

Sensor	Typ
1	Temperatur/luftfuktighet
2	Temperatur/luftfuktighet
3	Temperatur/luftfuktighet
4	Vattenläckage
5	Vattenmätare för tappvarmvatten (kök)
6	Vattenmätare för tappvarmvatten (badrum)
7	Display

5 Andra användningsområden

Detta system har blivit utvecklat för att användas inom individuell mätning och reglering av inomhusklimatet i lägenheter, men man skulle kunna tänka sig att samma system används för andra tillämpningar. En sådan möjlighet är att använda det trådlösa datainsamlingsystemet för att uppfylla Boverkets krav på maximal energiförbrukning per kvadratmeter eller för att mäta och styra klimatet i andra installationer så som fristående fastigheter, växthus eller kontor/industri.

5.1 Boverkets byggregler

Ett möjligt användningsområde för detta mät- och reglersystem skulle kunna vara för att uppfylla Boverkets krav på verifiering av energiförbrukningen i nybyggnationer enligt BBR 06a [5].

BBR

Boverkets byggregler. Regelsamlingen utgiven av Boverket som reglerar byggnadstekniska, säkerhet, miljö och energiförbrukning för samtliga nybyggnationer som uppförs i Sverige.

Från och med årsskiftet 2007/2008 har kravet på att maximal energiförbrukning per kvadratmeter inte får överstiga 110 kW/m² i södra Sverige (klimatzon söder²) och 130 kW/m² i norr Sverige (klimatzon norr³) införts. I dessa siffror ingår byggnadens totala energianvändning (se definition nedan), det vill säga all tillförd energi exklusive hushållselen.

Byggnadens energianvändning:

”Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad för uppvärmning, kyla, tappvarmvatten samt drift av byggnadens installationer (pumpar, fläktar etc.) och övrig fastighetsel.” (Boverket 2006⁴)

Detta ska i enlighet med senaste upplagan av BBR verifieras med mätningar som enligt rekommendation bör genomföras under en sammanhängande tid av minst 12 månader och som måste vara avslutad senast 24 månader efter byggnadens färdigställande. Eftersom att den rekommenderade tiden då mätning bör genomföras i lägenhet/byggnaden är lång bör en fast installation användas för att minimera påverkan

² All län som inte ingår i klimatzon norr

³ Norrbottens län, Västerbottens län, Jämtlands län, Västernorrlands län, Gävleborgs län, Dalarnas län och Värmlands län.

⁴ Regelsamling för byggande, sida 172, Boverket 2006:12

på den boendes vardag. Samtidigt bör system vara möjligt att avlägsna från lägenhet efter att mätningen slutförts om behovet inte anses finns kvar eller att systemet inte kan användas för andra syften så som individuell mätning.

Detta talar för ett trådlöst system där ingen fysisk förändring på lägenheten krävs bortsett från installation av vattenmätare för mätning av vattenflöden, tillskillnad från ett trådbundet system där all nödvändig utrustning måste byggas in ”permanent” i lägenheten.

I dagsläget finns inget krav från Boverket på att mätning av hushållselen sker och inkluderas i den totala energiförbrukningen, men detta är fullt möjligt med systemet som är beskrivet i denna rapport vilket skulle kunna ge stöd även för framtida utökningar av BBR. Av den anledningen är slutsatsen att detta system är väl anpassat för detta syfte.

5.2 Fristående fastigheter, växthus och kontor/industri

Individuell mätning och reglering i enskilda fastigheter har tillskillnad från flerfamiljshus inte som syfte att fördela energiförbrukningen på olika kostnadsställen, utan ett hjälpmedel för att på ett säkerställt sett kunna ligga till grund för investeringar i form av förbättringar av isolering eller till exempel fönster. Även för detta användningsområde passar system beskrivet i detta dokument väl. Mätning av energiförbrukning som genomförs på lägenhetsbasis går direkt att utnyttja i enskilda fastigheter däremot måste reglersystemet anpassas om fastigheten har separata värmekällor i form av värmepumpar etc.

6 Resultat

6.1 Teknisk plattform

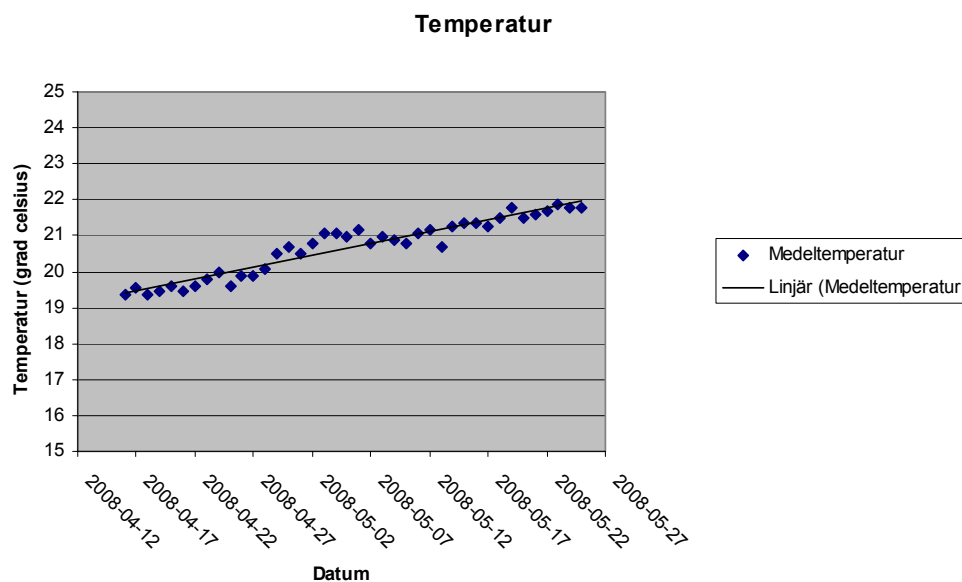
Den tekniska plattformen har dels testats i vårt lab, dels under hela EP mässan 28-30 januari och Energitinget 12-13 mars med både stort intresse från besökare och goda resultat. När väl systemet är uppe och drift fungerar allt som det är tänkt däremot finns vissa brister fortfarande i uppstartsfasen.

6.2 Demonstrationslägenhet

Under drygt en månads tid (från den 16 april till och med 25 maj) har mätningar av temperatur, luftfuktighet, vattenläckage och vattenförbrukning genomförts i lägenheten. Dessutom har kortare mätningar av elförbrukning skett på enskilda produkter, t.ex belysning och kylskåp samt energimätning av tappvarmvatten.

6.2.1 Temperaturmätning

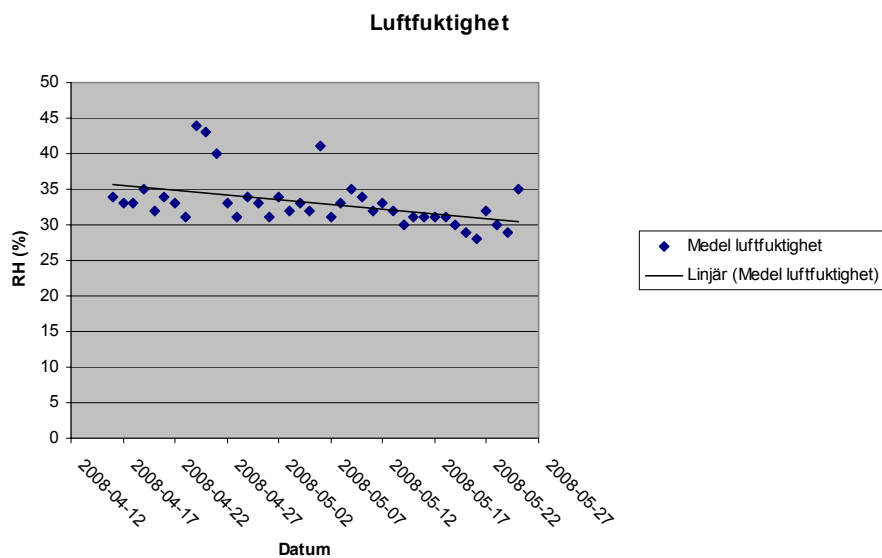
Temperaturmätning med 3 temperaturgivare har genomförts under drygt en månads tid med följande resultat (se figur 8). Under samma tid har en maxtemperatur på 25.5 grader Celsius och en minimal temperatur på 19.1 grader uppmäts. Informationen som visas i figur 7 är medelvärdet av den uppmätta temperaturen under mätperioden för alla temperaturgivare.



Figur 8 Medeltemperatur i demonstrationslägenhet

6.2.2 Luftfuktighet

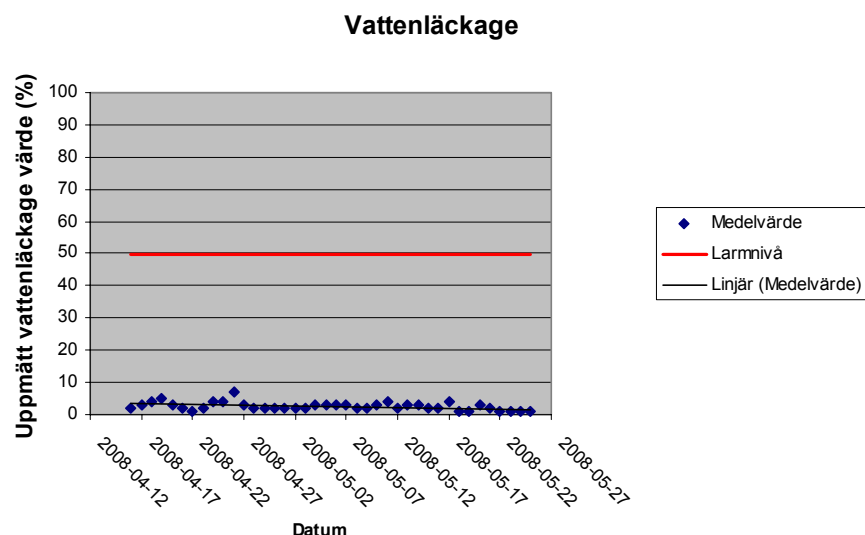
Samma moduler så mäter temperatur mäter också luftfuktighet och under samma tidsperiod som temperatur har mäts upp har information om relativ luftfuktighet registrerats på 3 ställen i demonstrationslägenheten. Information som visas i nedanstående graf är medelvärdet för samtliga mätningar av luftfuktighet.



Figur 9 Medelluftfuktighet i demonstrationslägenhet

6.2.3 Vattenläckage

Av naturliga skäl, har inga vattenläckage kunna detekterats i lägenheten under mätperioden. Däremot har den uppmätta fuktnivån registrerats och visar på ett samband mellan luftfuktighet och den fuktnivå som vattenläckagedetektorn registrerar. Värdet som registrerats är dock långt under larmnivån på 50% som krävs för ett larm och därav har inga larm skett.



Figur 10 Vattenläckage demonstrationslägenhet

6.2.4 Elförbrukning

Tillskillnad från temperatur, luftfuktighet, vattenförbrukning och vattenläckage är mätning elförbrukning helt beroende på den installation eller apparat mätningen genomförs på. I och med att installation som är genomförd i demonstrationslägenheten inte registreras den totala elförbrukningen utan mätning sker på en enskilda produkter så visar bara en sammanställning på ett antal olika förbrukare i tabellen nedan

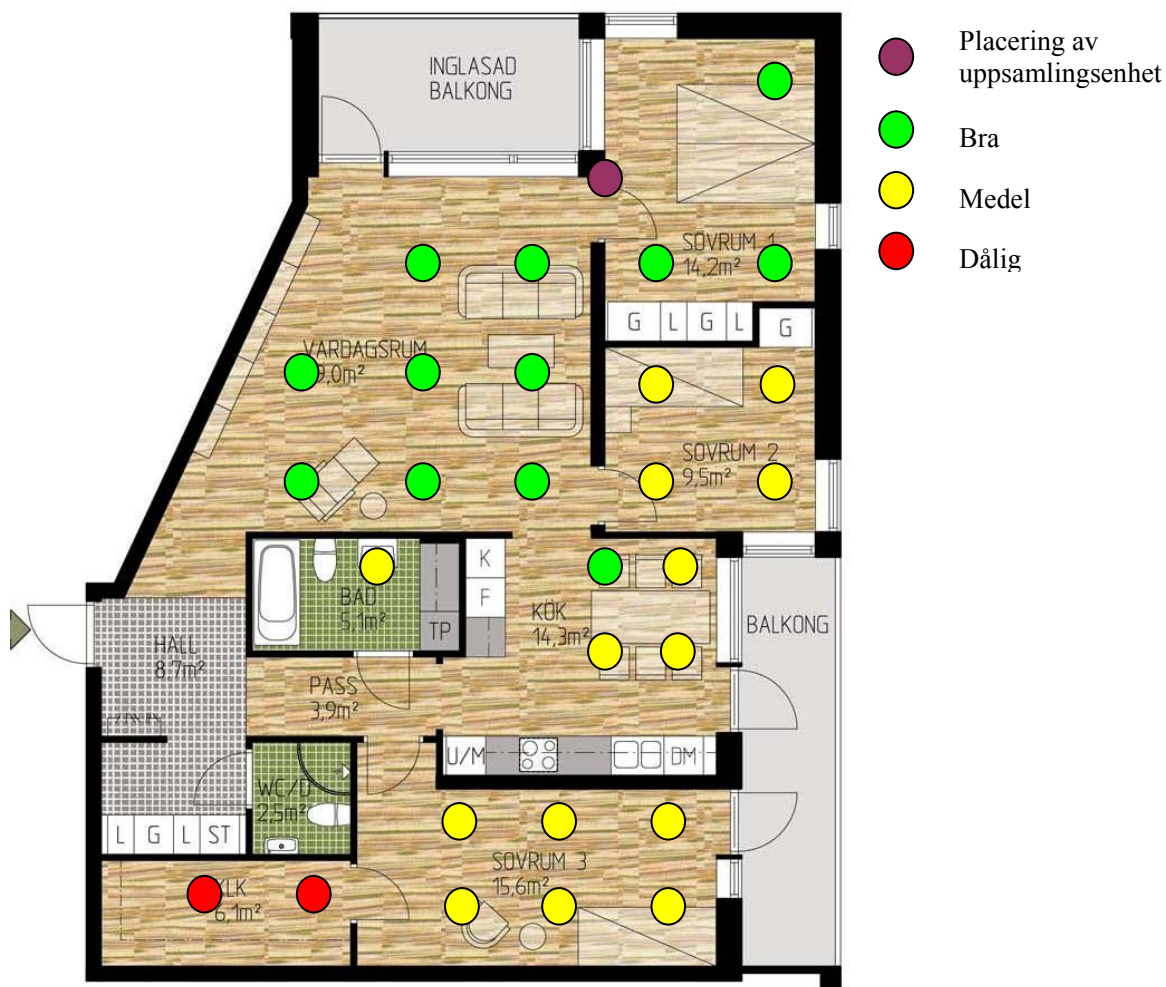
Tabell 10 Resultat av elmätning på enskilda förbrukningsställen

Artikel	Märkt effekt/ effektförbrukning	Test tid	Uppmätt effektförbrukning (kWh)
Glödlampa	40 W	24 timmar	1,0 kWh
Luftvärmefläkt	1500 W	4 timmar	5.6 kWh
Kylskåp ⁵	ca 150 kWh/år ca 17 W	24 timmar	0,5 kWh

⁵ Installerat kylskåp i demonstrationslägenhet

6.3 Täckning/räckvidd

De tester som genomförts i lägenhet 1 för att undersöka kvalitén på den trådlösa förbindelsen visar på att täckningen är god i hela lägenheten bortsett från klädkammaren som finns i anknnytning till sovrums 3 (se figur 11). Däremot kräver installationen i lägenhet 2, som inte är lika öppen, att datainsamlingsenheten placeras centralt i lägenheten. Genomförs det kan sensorer placeras på valfri plats i anknnytning till lägenheten.



Figur 11 Täckningskarta lägenhet 1 (källa NCC informationsblad)

7 Diskussion och slutsatser

Testerna som genomförts med i vårt demonstrationssystem och de tester som genomförts i den av NCC tillhandahållna demonstrationslägenheten visar på att ett ZigBee baserat datainsamlings- och reglersystem har potential att fungera bra. Den tekniska plattformen uppfyller de uppsatta målen i form av möjlighet att registrera och presentera mätdata, men har ett par brister i framförallt installations, uppstart och reglerings aspekter.

7.1 Uppstart och installation

Installation av system innebär i dags läget att mjukvaran i varje modul anpassad mot mål systemet. Det finns idag inget sätt att helt fritt bygga upp systemet vid installationstillfället utan det kräver omprogrammering. Detta resulterar i att installationsförfarandet tar lång tid och mycket manuellt arbete.

Vid uppstart av systemet är det inte säkert att alla installerade enheter kommer med och när detta inträffar innebär det oftast att hela systemet måste startas om. Detta beror dels på att flera versioner av mjukvaran (stacken) används tillsammans till följd av tekniska begränsningar i nyare versioner av stacken tillsammans med den hårdvarulösning som används. Och dels på grund av att applikationen som körs inte är helt färdigutvecklad.

7.2 Reglering/styrning av inomhusklimat

Detta är en punkt som inte fungerar tillförstållande, informationen som samlas in behandlas och en ”åtgärdsplan” sätts upp, däremot fungerar det inte att skicka ut denna styrinformation till radiatorerna.

7.3 Detektering av vattenläckage

Att vi från luftfuktighet och fukt/läckage mätningar kunnat se ett samband är till viss del förståligt men är något som måste undersökas lite mer ingående för att förhindra falsklarm. De luftfuktighetsnivåer som vi registrerat under mätperioden ligger inom ett litet område så vid extremt hög luftfuktighet kan problem uppstå. Däremot är vattenläckagemätarna designade för att reagera på en snabb förändring och inte en absolut nivå vilket borde motverka luftfuktighetsförändringar. Detta är dock inget som går att säga säkert innan försök har genomförts.

Källor

Datablad

[1] Texas Instrument (2006), *TI COMPLETES ACQUISITION OF CHIPCON*,
<http://focus.ti.com/docs/pr/pressrelease.jhtml?prellid=sc06014>

[2] Sensirion (2008), SHT1x/SHT7x datesheet

http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Data_Sheet_humidity_sensor_SHT1x_SHT7x_E.pdf

Examensarbeten

[3] Lönn Johan, Olsson Jonas (2005), *ZigBee for wireless networking*, Linköpings Universitet

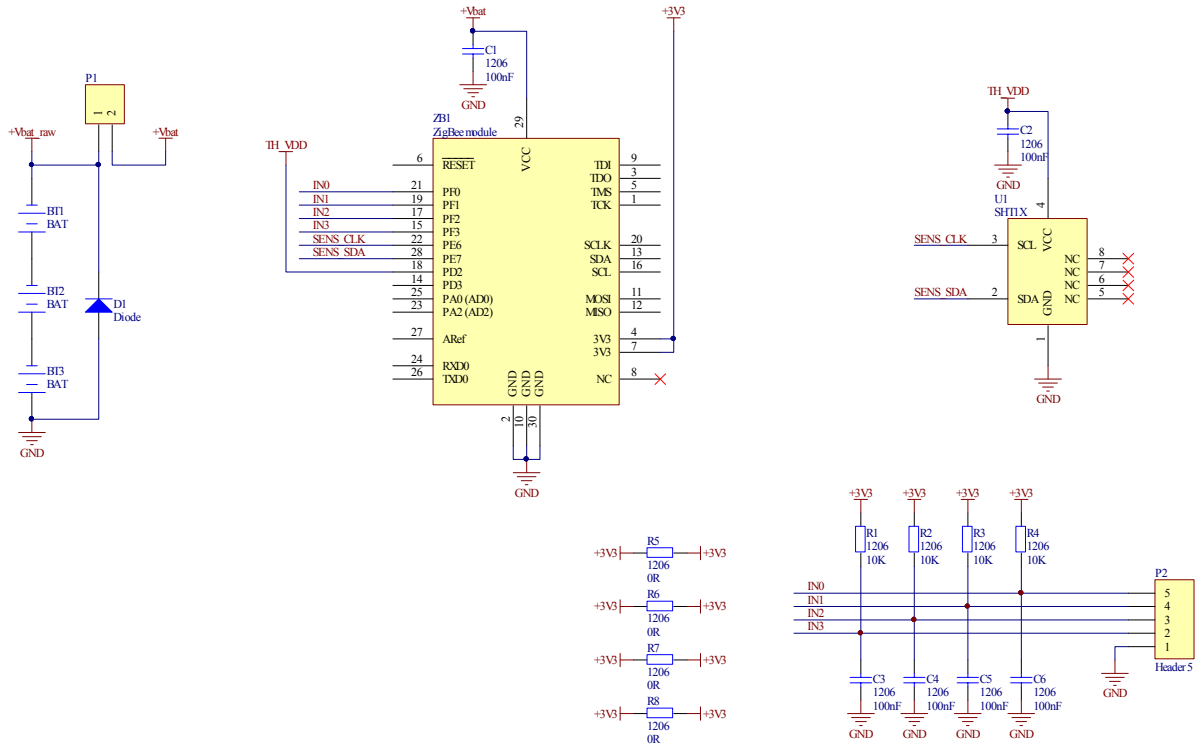
[4] Anders Pettersson (2008) ”*Wireless water leakage detector*”, Linköpings Universitet.

Regelverk

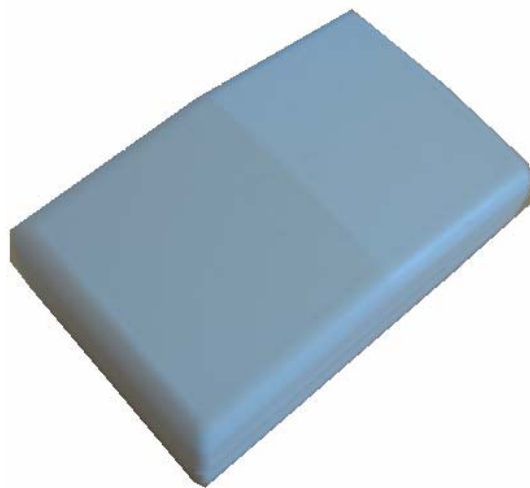
[5] Boverket (2006), *Regelsamling för byggande*, Boverket

Bilagor

Modul för temperatur och luftfuktighet mätning

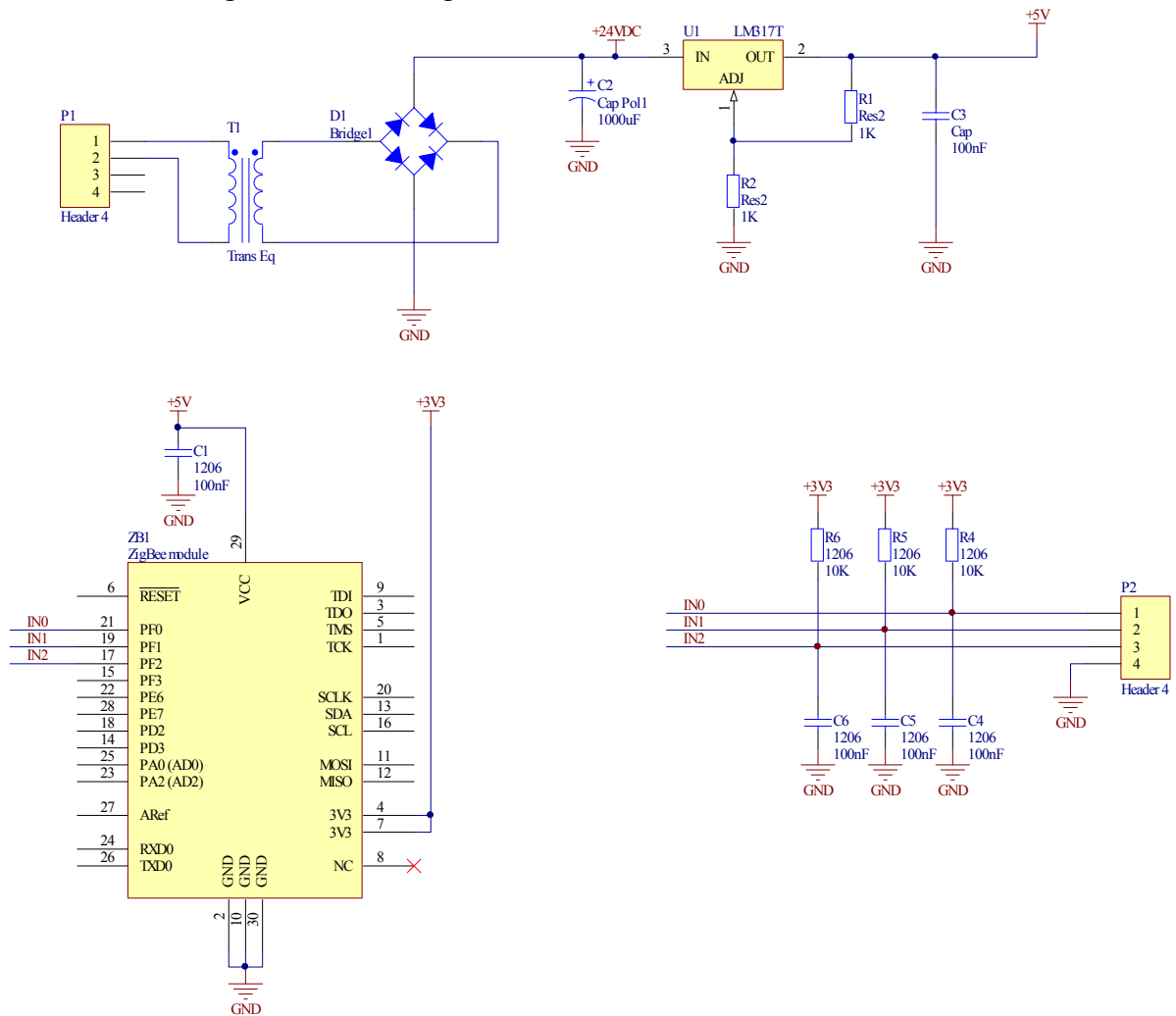


Figur 12 Krettschema temperatur och luftfuktighetsmodul



Figur 13 Temperatur- och luftfuktighetsmodul

Modul för mätning av elförbrukning

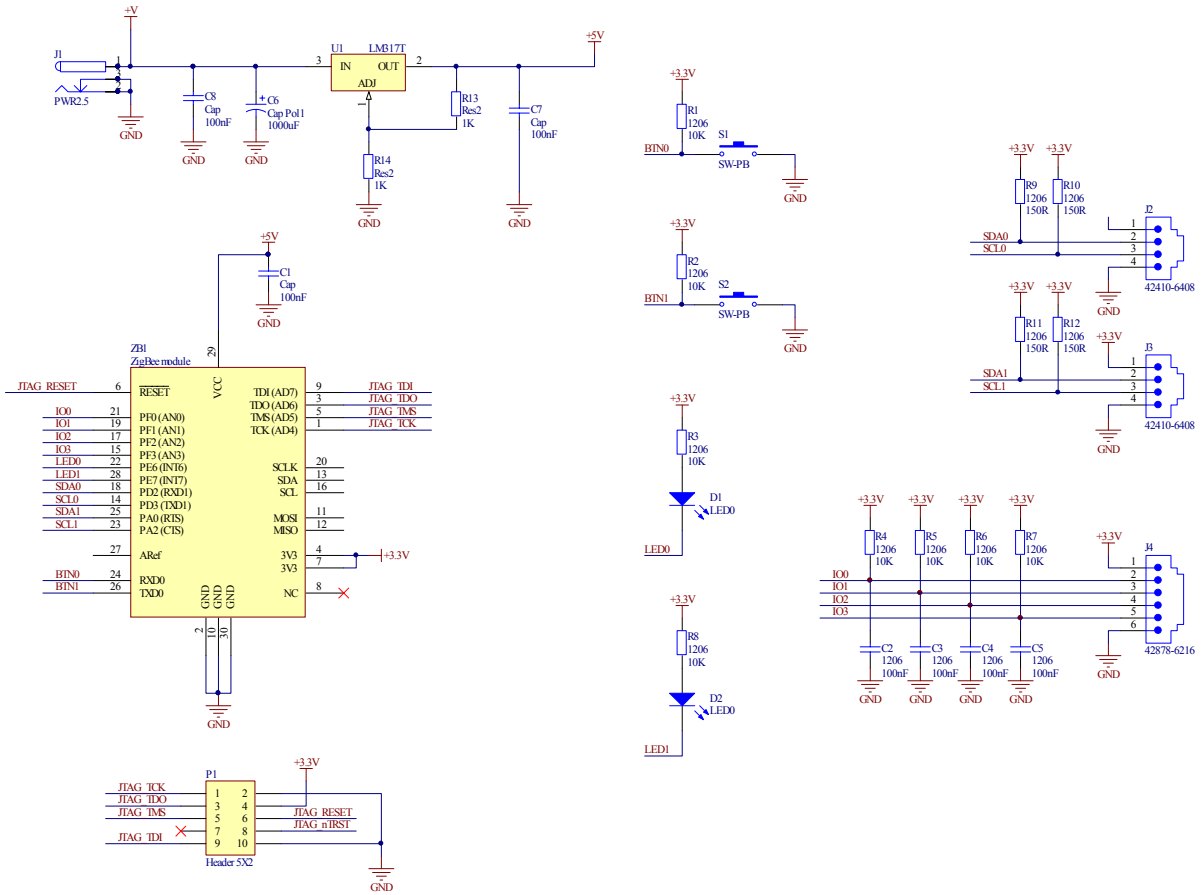


Figur 14 Krettschema för elmätarmodul



Figur 15 Modul för registrering av elförbrukning

Modul för energimätning

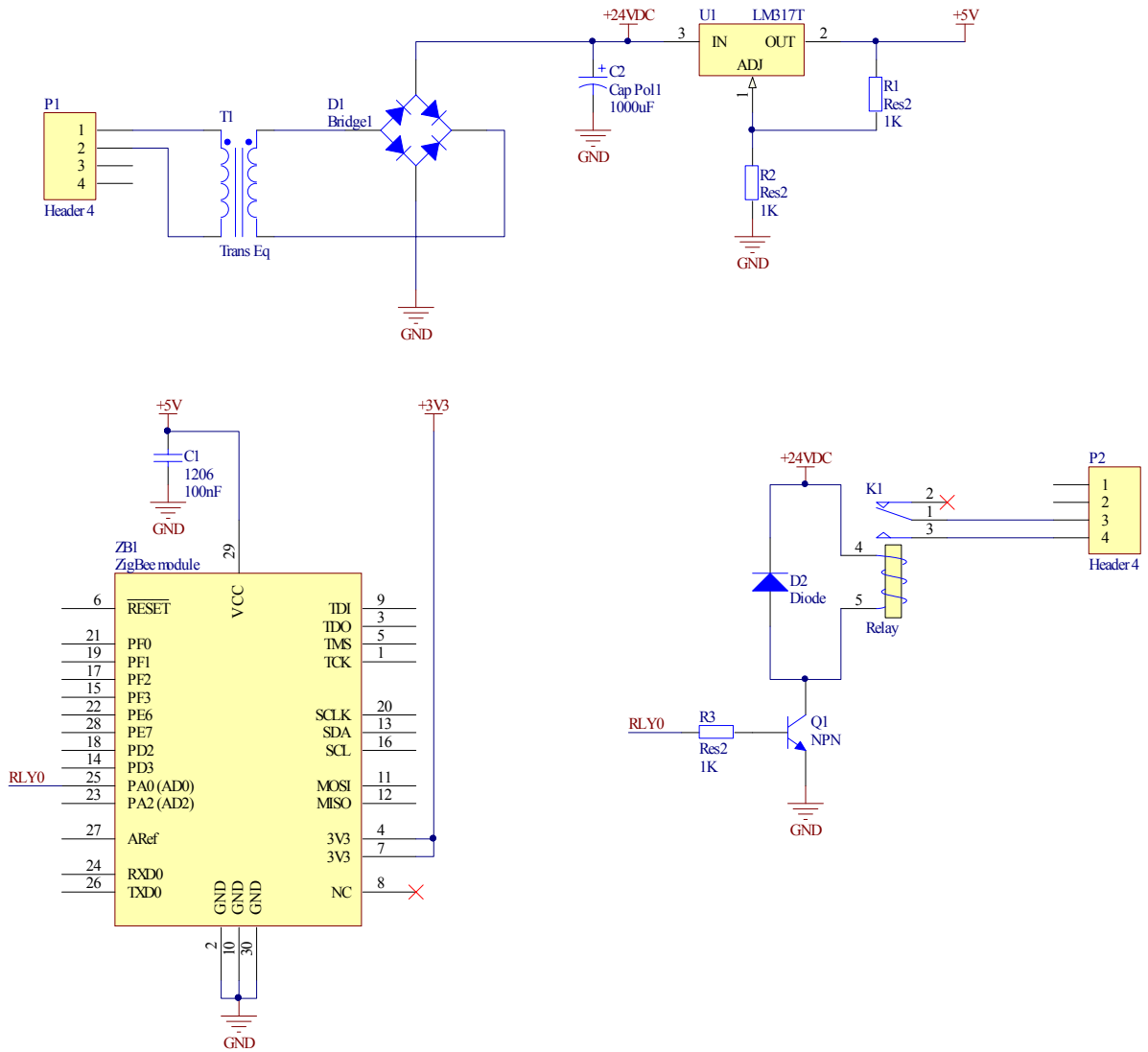


Figur 16 Kretsschema för energimätare



Figur 17 "Energimätare"

Styrning av elektrisklast



Figur 18 Kretsschema "relä"



Figur 19 Modul för styrning av elektrisklast

Modul för detektering av vattenläckage



Figur 20 Vattenläckagemodul