

Vilka risker finns det med framtidens energieffektiva byggnader?

**- en analys av passivhuskonceptets
robusthet**

Joel Wollberg

**Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Lund University, Sweden**

Brandteknik och Riskhantering

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Report 5328 , Lund 2010

**Vilka risker finns det med framtidens
energieffektiva byggande?**

**- en analys av passivhusetkonceptets
robusthet**

Joel Wollberg

Lund 2010

Titel: Vilka risker finns det med framtidens energieffektiva byggnader - en analys av passivhus-konceptets robusthet

Title: What risks are associated with the future energy effective buildings? – a robustness analysis of the the passive house concept

Författare: Joel Wollberg
Handledare: Professor Sven Thelandersson

Report 5328
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB-5328-SE

Number of pages: 95

Illustrations: Joel Wollberg

Sökord

Passivhus, energieffektiva byggnader, energieffektivitet, god lufttätthet, robusthet, resiliens, redundans, what if-analys, felträdsanalys.

Keywords

Passive house, energy effective buildings, energy efficiency, airtight construction, robustness, resilience, redundance, what if-analys, fault tree analysys.

Abstract

In a passive house, the main source for heating is made out of human presence and its heat producing activities, which means that the need space heating is minimized. This is possible thanks to its air tight and well isolated construction, but it also demands awareness from its user to decrease the use of energy and to gain a good indoor climate. This analysis investigates whether the passive house is sensitive for normal usage and discusses what the concept is expecting from the user to fulfill these. The report claims that a passive house concept cannot be considered to be robust, due to the fact that it demands an almost flawless behavior by the user. Furthermore developers generally do not handle uncertainties factors related to the variation in behavior in a population.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2010.

Brandteknik och Riskhantering

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering

and Systems Safety

Lund University

P.O. Box 118

SE-221 00 Lund

"Quality means doing it right when no one is looking."

Henry Ford, amerikansk industrialist, (1863–1947)

"It's not the strongest of the species that survives, nor the most intelligent, but the most responsive to change."

Charles Darwin, brittisk evolutionsforskare, (1809-1882)

Förord

Jag vill rikta ett stort tack till:

Professor Sven Thelandersson vid avdelningen för Konstruktionsteknik på LTH, för god vägledning och positiv inställning under årets varma månader.

Martin Kylefors vid Avdelningen för Brand, Risk och Akustik på Tyréns AB för uppslaget om uppgiften, arbetsplatsen och gott snack längs vägen.

Professor Jesper Arfvidsson och doktorand Hans Bagge vid avdelningen för Byggnadsfysik på LTH för expertkunskaper och goda råd.

Sammanfattning

I ett passivhus utgörs den huvudsakliga värmekällan av människan och dess värmeavgivande aktiviteter. Spillvärmern kan tas tillvara på tack vare den välisolerade, lufttäta byggnadskonstruktionen och att till- och frånluft värmeväxlas. Detta innebär att det faktiska behovet av installerad effekt för uppvärmning blir mycket litet. För att en byggnad ska få kallas passivhus måste den uppfylla en rad specifika krav, vilka formuleras av FEBY (Forum för Energieffektiva Byggnader). I passivhusets kravspecifikation ställs bland annat krav på installerad effekt för uppvärmning samt högsta tillåtna nivå av luftläckage genom klimatskalet. För att uppfylla dessa måste huset konstrueras med mycket hög precision samtidigt som delsystem som till exempel fönster, dörrar och värmeväxlare håller högsta energiklass och verkningsgrad. Vidare åligger det brukaren att optimera användandet för att minimera energibehovet och det hitta det beteende som krävs.

Analysen utreder om de hårt ställda kraven leder till att passivhuset blir känsligt för normalt bruk och diskuterar vad konceptet förväntar sig av brukaren för att uppnå dessa. Rapporten utgår ifrån följande hypoteser:

- » Ett passivhus ställer krav på nästintill felfritt byggande då det uppförs, vilket även ställer krav på nästintill felfritt brukande.
- » Så som ett passivhus utformas idag kan komfort och energieffektivitet under dess livslängd inte garanteras då det nyttjas av en brukare som motsvarar ett tvärsnitt av befolkningen.
- » Ett passivhus kan inte betraktas som robust.

Ur brukarens perspektiv studeras faktorer som inverkar negativt på prestandan, bidrar till ett försämrat inomhusklimat samt en energiförbrukning som överstiger konceptets rekommendationer. Vidare diskuteras vilket behov av precision ett passivhus kräver, om kraven som ställs på brukaren är rimliga och om prestandan kan säkerställas under dess livslängd. Med hjälp av riskanalysmetoden felträdsanalys utreds samspelet mellan de faktorer som påverkar byggnadens komfort och energiprestanda. Detta resultat kompletteras med en what if-analys i vilken kritiska händelser och faktorer utvecklas med en diskussion om dess sannolikhet och konsekvens.

Bland de problemområden som diskuteras kan nämnas att:

- » Passivhus projekteras mot fixt värde på inomhustemperatur, trots att medeltemperaturen för ett svenskt småhus är $21,2 \pm 0,2$ grader och för flerbostadshus $22,3 \pm 0,2$ grader. Om inte brukaren har möjlighet att välja sin egen komforttemperatur i bostaden, oavsett årstid och utomhustemperatur riskerar detta att skapa ett utbrett missnöje.
- » En av passivhusets enskilt viktigaste funktioner är dess lufttäta klimatskal. Om tätheten inte kan säkerställas riskerar detta att leda till energiförluster, komfortproblem och fuktrelaterade skador. För att säkerställa god lufttäthet under byggnadens livslängd krävs ett precisionsfyllt underhåll som måste motsvara den kvalitet med vilken byggnaden uppfördes med. Detta kan vara svårt för brukaren att säkerställa.

- » Energiförbrukningen i ett passivhus är känsligt för mänskligt beteende och redan vid en låg grad av okunskap eller ointresse kommer sannolikt energiförbrukningen överstiga de rekommenderade. En robust konstruktion ska inte behöva denna typ av medvetenhet.

Författarens bedömning är att samtliga hypoteser ovan kan verifieras. Av denna anledning rekommenderas att:

- » Det vid projektering av passivhus utvecklas en hantering av osäkerhetsfaktorer som kan relateras till det varierade beteendet som finns i en population. Detta kan uppnås med statistiska simuleringar.
- » Andra styrmedel hittas för att begränsa använd effekt för uppvärmning, snarare än att begränsa effekten självt.
- » Passivhusets tekniska livslängd definieras och att en plan för robusthet utvecklas.
- » Passivhuskonceptet i en framtida utveckling drar nytta av forskning inom samspelet mellan människa och teknik för att främja hälsa, prestanda och hållbarhet.

Summary

In a passive house, the main source for heating is human presence and its heat producing activities. The produced heat can be taken care of thanks to the well isolated, air tight construction and due to the fact that an air to air heat exchanger is used to warm the incoming air with the exhaust air. This means that the need space heating is minimized. In order to name a building passive house, it must fulfill a couple of specific criterions, which are formulated by the Swedish organization FEBY, Forum för Energieffektiva Byggnader, approx forum for energy effective buildings. In the criterion document for a passive house, for example the installed effect for space heating and air leakage through the construction is regulated. To fulfill these demands, the house must be constructed with precision at the same time as the building parts such as windows, doors and heat exchangers must hold a high energy class and efficiency. The user also has a responsibility to optimize the usage and find a manner in order to minimize the need of bought energy.

This analysis investigates whether the demands will lead to the fact that a passive house gets sensitive for normal usage and discusses what the concept is expecting from the user to fulfill these. The report starts with the following hypothesis:

- » Since a passive house needs to be built almost impeccable, it also demands an impeccable usage.
- » Comfort and energy efficiency of a passive house today cannot be guaranteed throughout the buildings life-span if the user represents a cross section of the population.
- » A passive house cannot be considered to be robust.

From a user perspective, the report study what factors that influence negative on the performance of the building, contributes to a deterioration of the indoor climate and increases the use of energy. The report also discusses what rate of precision the passive house demands of its user and if the performance can be guaranteed through its life-span. With the risk analysis method called fault tree analysis, the interactions between factors influencing comfort and energy performance are being studied. The result is being complemented with an what if-analysis, where critical happenings and factors are investigated in a discussion of possibility and consequence.

Problem areas discussed are for example that:

- » Passive houses are being projected for an fix indoor temperature, despite the fact that the middle indoor temperature in a Swedish house is $21,2 \pm 0,2$ degrees and for apartments $22,3 \pm 0,2$ degrees. If the building doesn't allow the user to choose his or hers comfort temperature regardless of season, there is a risk for an extensive dissatisfaction.
- » One of the single most critical functions in a passive house is the air tight construction. If the tightness cannot be ensured, there is a risk for energy losses, problems with comfort and damp related damages in the construction. To ensure good air tightness through the entire life-span of the building, the maintenance must be handled with the same quality as

when the building was constructed in the first place. This might be difficult for the user to ensure.

- » The energy consumption in a passive house is sensitive for human behavior and even with a very low degree of ignorance or disinterest, it is plausible that the energy consumption will exceed the recommended.

The conclusion is that the three hypotheses mentioned above can be verified. Hence it is recommended that:

- » Corporate promoter of passive houses develops a technique to manage uncertainty factors that can be related to the variation of behavior in a population. This can be achieved through statistical simulations.
- » Other management control measures are found to limit the use of effect for space heating, instead of limiting the effect for space heating itself.
- » The passive house concept can in the future be improved by employing research on the interaction between man and technology in order to improve health, performance and sustainability.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	16
1.1	SYFTE OCH MÅL	17
1.2	MÅLGRUPP	17
1.3	PROBLEMSTÄLLNING.....	17
1.4	STÅNDPUNKT	17
1.5	BAKGRUND TILL ÄMNESVAL	17
1.6	BEGRÄNSNINGAR	18
1.7	METOD	18
2	DEFINITIONER	20
2.1	ROBUSTHET OCH RESILIENS	20
2.2	RISK	21
2.3	LIVSLÄNGD.....	21
2.4	OVÄNTAT UNDERHÅLL	21
3	ENERGIEFFEKTIVT BYGGANDE	22
3.1	EN INTRODUKTION TILL PASSIVHUSET	22
3.2	KRAV PÅ PASSIVHUS.....	25
4	RISKANALYSMETODER	27
4.1	WHAT IF-ANALYS.....	27
4.2	FELTRÄDSANALYS.....	27
5	SYSTEM	31
5.1	ETT TEKNISKT SYSTEM	31
5.2	BYGGNADEN SOM SYSTEM.....	33
6	FELTRÄDSANALYS	36
6.1	FELTRÄD FÖR OLIKA SCENARIER	36
6.2	BEGRÄNSNINGAR FÖR FELTRÄDSANALYS	36
6.3	UNDERLAG FÖR FELTRÄDSANALYS	37
7	RESULTAT AV FELTRÄDSANALYS	38
7.1	TOPPHÄNDELSE: ENERGIANVÄNDNING ÖVERSTIGER FEBYS KRAV.....	38
7.2	TOPPHÄNDELSE: BRUKAREN UPPLEVER OACCEPTABLA KOMFORTPROBLEM	43
8	RESULTAT AV WHAT IF-ANALYS	47
8.1	VAD HÄNDER OM BRUKAREN INTE KAN ANPASSA INOMHUSTEMPERATUREN TILL DEN ÖNSKADE?	48
8.2	VAD HÄNDER OM ANTALET INDIVIDER OCH DE VÄRMEGIVANDE AKTIVITETERNA I HUSET AVVIKER FRÅN DET DIMENSIONERANDE?	49
8.3	VAD HÄNDER OM DET BLIR EN LÅNG OCH KALL VINTER?.....	51
8.4	VAD HÄNDER OM VÄRMEVÄXLARENS VERKNINGSGRAD UNDERSTIGER DEN FÖRVÄNTADE?	52
8.5	VAD HÄNDER OM BRUKAREN VILL GÖRA YTTERLIGARE INSTALLATIONER, TILL EXEMPEL KAMIN ELLER GOLVVÄRME?.....	52
8.6	VAD HÄNDER OM TÄTSKIKTET PUNKTERAS?.....	54
8.7	VAD HÄNDER OM FTX-AGGREGATET SLUTAR ATT FUNGERA?	56
8.8	VAD HÄNDER OM BRUKAREN VÄLJER SÄMRE FÖNSTER ELLER DÖRRAR VID RENOVERING, PÅ GRUND AV EKONOMISKA SKÅL?	57

8.9	YTTRELLIGARE FRÅGOR FÖR FRAMTIDEN	58
8.10	FLER FAKTORER SOM KAN TÄNKAS INTRÄFFA SAMTIDIGT	59
8.11	DISKUSSION AV FRÅGOR AV ANNAN KARAKTÄR	59
9	AVSLUTNING	63
9.1	ÅTERKOPPLING TILL PROBLEMSTÄLLNING	63
9.2	SVAR PÅ HYPOTESER	64
9.3	REDUNDANS, RESILIENS OCH ROBUSTHET	65
9.4	AVSLUTANDE DISKUSSION	66
9.5	REKOMMENDATIONER FÖR FRAMTIDA ARBETE	67
10	LITTERATURFÖRTECKNING.....	70
	BILAGA A – FELTRÄD FÖR SCENARIO DÄR ENERGIFÖRBRUKNING ÖVERSTIGER DE I KRAVSPECIFIKATIONEN.....	73
	BILAGA B – FELTRÄD FÖR HÖG ENERGIFÖRBRUKNING OCH DE KLIMATSTYRANDE SYSTEMEN.....	74
	BILAGA C – FELTRÄD FÖR HÖG ENERGIFÖRBRUKNING OCH DE BETJÄNANDE SYSTEMEN	77
	BILAGA D – FELTRÄD FÖR SCENARIO ATT BRUKAREN UPPLEVER OACCEPTABLA KOMFORTPROBLEM	79
	BILAGA E – FELTRÄD FÖR KOMFORT AVSEENDE TEMPERATUR.....	80
	BILAGA F – FELTRÄD FÖR KOMFORTPROBLEM AVSEENDE STRÅLNING, BULLER OCH BETEENDE.....	83
	BILAGA G – SAMMANSTÄLLDA FRÅGOR I WHAT IF-ANALYS SOM BEDÖMS KUNNA LEDA TILL FÖR HÖG ENERGIFÖRBRUKNING	85
	BILAGA H – SAMMANSTÄLLDA FRÅGOR I WHAT IF-ANALYS SOM BEDÖMS GE KOMFORTPROBLEM	90
	BILAGA I – SAMMANSTÄLLDA FRÅGOR I WHAT IF-ANALYS AVSEENDE KONSTRUKTION, ANVÄNDANDE OCH HÅLLBARHET	94

1 Inledning

Strävan efter att konstruera energieffektiva byggnader är inget nytt fenomen. Allt sedan 1970-80-talet har det i Sverige i kölvattnet av debatten om så kallade sjuka hus, genomförts en rad studier kring hållbart byggande, sund inomhusmiljö och energieffektivitet. I början av 1990-talet uppfördes det första så kallade passivhuset i sydvästra Tyskland, vilket kan beskrivas som startskottet för konceptet. Grundtanken är att uppföra en välisolerad och lufttät byggnad i vilken de huvudsakliga värmekällorna utgörs av människor och spillvärme från normala hushållsaktiviteter. År 2001 byggdes de första svenska passivhusen i Lindås. Tack vare en ökande efterfrågan av olika former av lågenergibostäder, har passivhuskonceptet fått fäste i Sverige.

Passivhuskonceptet har de senaste 10 åren fått stort medialt intresse och i takt med det ökade intresset hos konsumenterna har allt fler konsult- och byggföretag börjat projektera och konstruera passivhus. För att nå EUs höga energikrav avseende nybyggnation från och med år 2020 är alla aktörer i branschen mer eller mindre tvungna att hitta ett arbetsätt för att bygga energisnålt. De ekonomiska drivkrafterna för att utveckla energieffektivt byggande är mycket starka. I avseendet att hitta tekniker för industriellt byggande i kombination med god energiprestanda, finns tydliga ekonomiska incitament.

Tyvärr går inte alltid ekonomiska drivkrafter hand i hand med den största samhällsnyttan. Jämförelsen kan tyckas vara orättvis, men att till exempel reglera skadorna i de enstegstätade fasaderna har kostat byggföretagen mångmiljonbelopp, samtidigt som det orsakat onödiga besvär för ett stort antal husägare. Ett annat olyckligt och välomskrivet exempel är renoveringen av det nästan nybyggda Moderna museet i Stockholm, som kostade närmare 200 miljoner på grund av fuktskador. Därmed inte sagt att ett energieffektivt byggande är dåligt, eller att det kommer orsaka problem i framtiden. Men när efterfrågan får styra och de ekonomiska drivkrafterna blir stora finns risk för att kvalitet, hållbarhet och hälsa glöms bort. Av denna anledning har denna rapport har tillkommit och för att resonera bland annat om:

- » Hur vet vi att det som byggs idag inte har skador imorgon?
- » Hur säkerställs att de energieffektiva byggnader som byggs idag, är hållbara under en rimlig teknisk livslängd?
- » Hur mycket kan energiförbrukningen sänkas utan att det inskränker på brukarens hälsa och normala beteende i sin bostad?
- » Hur känslig är en extremt energieffektiv byggnad vid normal användning?
- » Kräver passivhuset lika felfritt boende som det kräver felfritt byggande?

1.1 Syfte och mål

Denna rapport syftar till att utreda vilka risker som finns med energieffektiva byggnader och att diskutera robustheten i passivhuskonceptet. Sett ur ett brukarperspektiv utreds vilka faktorer som kan tänkas påverka passivhusets energiprestanda, samt hur olika komfortproblem kan tänkas uppstå. Vidare syftar rapporten till att övergripligt diskutera hur känsligt ett passivhus är för normalt mänskligt beteende, normalt slitage och vardagliga problem.

Målet är att analysera hur robust ett passivhus är, samt att skapa en kunskapsöversikt som sammanställer och diskuterar frågeställningar som påverkar byggnadens prestanda genom hela dess livslängd.

1.2 Målgrupp

Denna rapport är skriven för personer som har intresse av energieffektivt byggande, men riktar sig främst till dem som arbetar med projektering, konstruktion, husbyggnadsteknik, byggfysik, och energieffektivt byggande.

1.3 Problemställning

Vilka risker finns med framtidens energieffektiva byggnader?

Övergripande delfrågor:

- » Vilka faktorer kan leda till att energianvändningen överstiger de som är angivna i FEBYs kravspecifikation¹?
- » Vilka faktorer kan leda till att brukaren upplever oacceptabla komfortproblem?
- » Kan byggnadens prestanda säkerställas genom hela dess livslängd?

1.4 Ståndpunkt

Denna rapport utreder risker med energieffektiva bostäder. Avsikten är att analysera passivhuskonceptets robusthet ur aspekten "vad är bäst för samhället i stort". Här kan flera aspekter vävas in, så som folkhälsa och samhällsekonomi.

1.5 Bakgrund till ämnesval

Denna rapport har tillkommit med bakgrund av att konsultföretaget Tyréns AB och Avdelningen för Brand, Risk och Akustik i Region Syd ser ett behov av att öka kompetensen inom området

¹ Forum för Energieffektiva Byggnader (FEBY) definierar vilka krav som måste uppfyllas för benämningen passivhus. Dessa presenteras närmare i avsnitt 3.2.

riskhantering och energieffektivt byggande. Personal ur Tyréns AB bidrar med idéer för problemformulering, kompetens och kontakter men ansvarar inte för handledning och granskning. För frågeställning, hypoteser, resultat och rapportens innehåll i stort ansvarar författaren.

1.6 Begränsningar

Rapporten syftar till att översiktligt utreda robustheten i ett koncept, vilket inte ger utrymme för att diskutera detaljlösningar. Ett passivhus kräver emellertid hög precision och ett näst intill felfritt byggande, varför det är nödvändigt att i rapporten i vissa avseenden diskutera funktionen i vissa detaljer. Detta innebär att viss information förbises och att nödvändiga systemdelar i vissa avseenden beskrivs mer schematiskt.

Analysen genomförs till största del kvalitativt, vilket innebär att risker, sannolikheter och konsekvenser, kommer att beskrivas med ord och inte med siffror. Då rapporten syftar till att utreda problem över en stor bredd och inte en specifik byggnad, kan konsekvenser, problem och sannolikheter endast beskrivas översiktligt. I rapporten beskrivs konsekvenser till exempel som *problem med drag, för låg temperatur, förhöjd fukthalt* eller *ökad energiförbrukning*. För att kunna beskriva risker eller enskilda problemområden med högre detaljupplösning krävs en mer omfattande analys, vilket härmed lämnas till framtiden.

1.7 Metod

Vid framtagning av denna rapport har en riskanalytisk ansats använts för att analysera robustheten i passivhuskonceptet. Två olika riskanalytiska metoder används för att identifiera och diskutera faktorer som kan påverka ett passivhus under dess livslängd. Dessa presenteras närmare i kapitel 4.

Rapporten är deskriptiv så till vida att den utgår ifrån en bred problemställning och endast översiktligt diskuterar risker med ett koncept. Vidare är den prediktiv på så sätt att den syftar till att redogöra för problem som kan tänkas uppstå i framtiden. Analysen är genomgående kvalitativ, men om möjligt kvantitativa mått för att stärka argument och diskutera såväl sannolikhet som konsekvens. Där kvantitativa mått används finns en källhänvisning till dess ursprung samt att dess relevans och tillämpning diskuteras (Ejvegård, 2003).

1.7.1 Hypoteser

Rapporten utgår från följande hypoteser:

- » *Ett passivhus ställer krav på nästintill felfritt byggande då det uppförs, vilket även ställer krav på nästintill felfritt brukande.*
- » *Så som ett passivhus utformas idag kan komfort och energieffektivitet under dess livslängd inte garanteras då det nyttjas av en brukare som motsvarar ett tvärsnitt av befolkningen.*
- » *Ett passivhus kan inte betraktas som robust.*

Dessa antaganden falsifieras eller verifieras genom en avslutande diskussion i avsnitt 9.2.

1.7.2 Arbetsgång

Framtagningen av denna rapport följer följande arbetsgång:

- » Inledningsvis genomförs en litteraturstudie där till tillgängliga vetenskapliga publikationer avseende passivhusbyggande studeras. Litteraturen innefattar bland annat tekniska licentiatavhandlingar, examensarbeten, teknik- och kriteriedokument för passivhus samt etablerad litteratur för energieffektivt byggande och konstruktionsteknik i allmänhet.
- » Med kunskap från litteraturstudien definieras en avgränsning till att studera en modell av ett passivhus, där byggnaden betraktas som ett sociotekniskt system.
- » För att kunna genomföra analysen definieras hur begreppet risk används i denna rapport.
- » Därefter genomförs en felträdsanalys med avsikt att utreda beroendet mellan systemets olika delar. Felträdsanalysen ger en logisk översikt över systemet, med en möjlighet att studera vilka faktorer som kan leda till oönskade händelser samt att dess resultat kan användas för att identifiera risker.
- » Felträdsanalysen används för att identifiera vilka händelser och faktorer som kan leda till att brukaren upplever oacceptabla komfortproblem, samt vad som kan leda till att energiförbrukningen överstiger passivhuskonceptets rekommendationer.
- » Resultatet av felträdsanalysen används som grund för what if-analysen, i vilken riskkällorna närmare identifieras och konsekvenserna av händelserna bedöms. I denna analys ställs frågor av karaktären *vad händer om?* varav ett urval besvaras med en konsekvensbeskrivning samt en diskussion om bakomliggande orsaker. Resultatet av analysen är diskuterat med två byggnadsfysiker vid Lunds tekniska högskola, för att sortera bort felaktiga konsekvensbeskrivningar.
- » Avslutningsvis diskuteras problemställning och uppställda hypoteser och slutligen diskuteras det samlade resultatet form av termer av resiliens och robusthet, det vill säga förmåga att hantera störningar och stå emot yttre påfrestning.

2 Definitioner

2.1 Robusthet och resiliens

Resiliens är ett begrepp som syftar till att beskriva ett systems förmåga att motstå störningar, samt att inom en acceptabel tid och till en rimlig kostnad återhämta sig till sitt ursprungliga tillstånd (Haimes, 2009), eller till ett annat stabilt läge som tillfredsställer den önskade funktionen (ÖCB, 2000). Jämförelser kan till exempel göras med ett ekosystem och en sjös återhämtning efter försurning, eller ett samhälle efter ett större trauma. Ett flexibelt system tillfredsställer den önskade funktionen på flera sätt.

Både begreppen robusthet och sårbarhet används för att beskriva ett systems tillstånd och kan sägas vara två sidor av samma mynt. Haimes (2009) skriver att begreppet sårbarhet bör användas för att identifiera systemets skyddsmekanismer och Hallin et al (2004) dess förmåga att stå emot påfrestning, till följd av ett hot. Resiliens beskriver hur snabb och hur kostsam återhämtningen är (Haimes, 2009).

En ytterligare faktor att väga in i resonemanget om robusthet är begreppet redundans, som i detta sammanhang enklast kan beskrivas med överskott eller som extra resurser (ÖCB, 2000). Ett redundant system som hushåller med samhällets resurser, bidrar således till dess robusthet.

Redundans kan delas in i aktiv och passiv redundans. Aktiv redundans kan beskrivas med två av varandra aktiva och oberoende säkerhetssystem som båda är i funktion över tiden. Passiv redundans förutsätter istället att det finns ett reservsystem som står standby. Om system nummer ett slutar att fungera kommer system nummer två lösa dess uppgift. Robusthet förutsätter olika grad av resiliens och redundans, beroende av systemets karaktär och vilka uppgifter det förväntas lösa. Ett system med livsavgörande funktioner har troligtvis hög redundans. I ett robust system finns en god balans mellan resiliens och redundans, varför det hanterar både yttre och inre påfrestningar samt att det återhämtar sig utan alltför stora problem. Robusthet är en godtycklig, komplex storhet och för att göra den kvantifierbar måste olika indikatorer definieras (ÖCB, 2000).

Att dimensionera ett system för framtiden är förknippat med stora osäkerheter. Såväl tekniska sociala faktorer förändras över tiden, liksom hotbilden och de faktorer som påverkar systemets möjligheter att nå sina mål. Genom att dimensionera robusta system ökar förmågan att hantera såväl kända som okända hot.

2.2 Risk

Begreppet risk har många definitioner och det finns ingen allmänt accepterad definition (Renn, 1998). Inom teknisk riskhantering är emellertid sammanvägningen av sannolikhet och konsekvens i det närmaste vedertagen, vilket ger ett kvantitativt mått (Kaplan, 1997). I denna rapport används begreppet risk i betydelsen sannolikhet att ett resultat inte möter förväntningarna (O'Donnell, 2005), vilket kan vara svårare att kvantifiera, men användbart för att mäta måluppfyllelse. Att öka ett systems robusthet innebär fördelar för riskhanteringen, då ett robust system i sig självt kan sägas vara riskreducerande.

2.3 Livslängd

Livslängd kan definieras enligt följande (Bättre koll på underhåll, 2003):

- » Med *teknisk livslängd* avses den tid under vilken byggnad fungerar rent tekniskt.
- » Med *funktionell livslängd* avses den tid under vilken byggnaden är ändamålsenlig. Ändring i användning kan motivera att en byggnadsdel byts ut innan dess tekniska livslängd uppnåtts. En snarlik definition är *brukstid*, med vilken avses den tid under vilken byggnaden är ändamålsenlig utan andra åtgärder än normalt underhåll, samt åtgärder som främjar rationell och ekonomisk drift.
- » Med *ekonomisk livslängd* avses den tid när byggnaden är lönsam.

Det är i första hand den funktionella livslängden och den tid byggnaden fyller sitt ändamål som avgör dess ekonomiska livslängd samt avskrivningstid. Den totala livslängden påverkas av klimat, brukare och skötsel, samt i viss mån av estetiska och ekonomiska begränsningar (Bättre koll på underhåll, 2003). Ur en förvaltningsaspekt av till exempel ett flerbostadshus är i regel den ekonomiska livslängden mest intressant. För den enskilda husägaren är troligtvis den tekniska livslängden mer relevant. Boverkets konstruktionsregler definierar livslängd för byggnadens stomme avseende beständighet till minst 50 år för delar som kan inspekteras och underhållas (Bättre koll på underhåll, 2003).

2.4 Öväntat underhåll

I denna rapport diskuteras åtgärder och kostnader för underhåll som överstiger det som kan betraktas som normalt underhåll. I rapporten benämns detta *oväntat underhåll* och hit räknas till exempel åtgärder som normalt inte ska behövas vidtas under en byggnads livslängd, eller åtgärder som orsakas av brister i konstruktion eller material (Bättre koll på underhåll, 2003).

I plan- och bygglagen (PBL) och lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk (BVL) regleras krav på underhåll avseende inre delar, så att dess tekniska egenskaper bibehålls. Inre delar ska uppfylla till exempel krav på bärförmåga, brand, hygien och hälsa samt energihushållning. Några absoluta värden eller krav på varsamhet av underhåll regleras inte. Däremot gäller BVL under förutsättning av normalt underhåll av byggnaden under en rimlig ekonomisk livslängd, för att begränsa kostnader för reparation, underhåll och drift (Bättre koll på underhåll, 2003).

3 Energieffektivt byggande

De ökande kraven på en minskad energianvändning världen över påverkar alla sektorer. Den svenska energiförsörjningen ska vara effektiv och hållbar över tiden, vilket är en princip som fastslogs av regeringen år 2002 (Prop 2001/02:143, 2001). I Sverige och även motsvarande inom EU, står byggnader för cirka 40 % av den totala energiförbrukningen. Enligt nu gällande EU-direktiv ska alla nya byggnader som uppförs efter år 2020 uppfylla krav på energianvändning som ligger väldigt nära noll och där offentliga byggnader förväntas nå detta mål redan år 2018 (Europeiska rådet, 2010; Boqvist 2010).

När det talas om energieffektiva byggnader refereras ofta till så kallade passivhus. Benämningen passivhus är emellertid ett begrepp som enbart får användas om byggnader som uppfyller specifika krav enligt Forum för Energieffektiva Byggnader, FEBY. Detta forum bildades 2007 av IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Aton Teknikkonsult AB, Lunds Tekniska Högskola och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB (FEBY, 2010). Kravspecifikationen för passivhus har tillkommit för att kvalitetssäkra, skydda, kommunicera och marknadsföra passivhus som byggkoncept (FEBY, 2009a). Passivhuskonceptet kan betraktas som en frivillig standard, som syftar till att uppnå hög inomhuskomfort till låga byggnadskostnader med minimerad tillförd effekt för uppvärmning. EU ställer inte krav på att de energieffektiva husen ska vara passivhus.

3.1 *En introduktion till passivhuset*

För att klara de höga kraven på energiförbrukning och ändå uppnå god komfort ställs en rad krav på utförandet. I mellersta Europa, främst Tyskland, där konceptet växte fram under 1990-talet har det fram till idag byggts cirka 4000 bostäder med passivhusteknik (Boqvist, 2010). I Sverige har det förts diskussioner sedan 1970-80-talet om energieffektivt och hållbart byggande, men det var inte förrän år 2001 som det första svenska passivhuset uppfördes i Lindås, söder om Göteborg (Eek & Olsson, 1996; Passivhuscentrum, 2010).

Ett passivhus syftar till att minimera behovet av tillförd effekt och energi för uppvärmning, men ska ändå säkerställa god termisk komfort året runt. Ett typiskt passivhus utförs med ett välisolerat och lufttätt klimatskal där den huvudsakliga uppvärmningskällan utgörs av energi från den spillvärme som de boende och dess aktiviteter skapar. I och med att huset är byggt för att minimera värmeförlusterna, kan stor del av energin tas till vara, varpå behovet för uppvärmning sjunker. I normalfallet är byggnadens ventilationssystem nästan uteslutande helt mekaniskt, vilket är en nödvändighet i och med byggnadens lufttäta konstruktion. Den vanligaste lösningen i Sverige är

ett från- och tilluftssystem med värmeväxlare, ett så kallat FTX-system. Luftvärmeväxlaren, som bör ha en hög verkningsgrad, tar tillvara på luftens spillvärme genom att värma den friska tilluften. I anslutning till FTX-aggregatet finns i regel ett värmebatteri monterat i tilluftskanalen som används för kompletterande uppvärmning under den kalla årstiden, då energin från den interna spillvärmens inte räcker till (Boqvist, 2010).

För passivhuset är solen en viktig energikälla. Genom att noggrant planera byggnadens utförande tas solenergin tillvara för uppvärmning under den kalla årstiden. Fönstrens placering och storlek spelar en viktig roll för inomhusklimatet under sommarhalvåret, då solen är stark och bidrar till oönskad uppvärmning. Samspelet mellan solskydd, fönsterarea och placering är viktig för att få bra balans mellan sommar och vinter. Med byggnadens goda isolering innebär det att det finns risk för övertemperaturer på grund av solen under den varma årstiden, om inte fönsterytorna är väl avvägda och skyddade mot direkt instrålning. Det är även vanligt att solenergi tas tillvara för uppvärmning av tappvarmvatten. Med hjälp av ett vätskeburet system av solfångare kan varmvatten genereras, vilket tillfälligt då lagras i en isolerad ackumulatortank med stor volym. Denna utgör en typ av energireserv, mot vilken tappvattnet värmes. När solenergin inte räcker bör det finnas ett system för kompletterande uppvärmning, som kan utgöras av till exempel en värmepatron som värmer vattnet med el eller fjärrvärme (Janson, 2008).

Ett passivhus ska inte ses som en energi- eller byggstandard, utan snarare som ett koncept för minskad energiförbrukning och med bibehållen komfort och standard. Att uppföra ett passivhus kräver emellertid hög precision vid såväl planering som byggande, för att minimera uppkomst av köldbryggor och läckage som i sin tur leder till energiförluster och komfortproblem (Boqvist, 2010).

3.1.1 Tekniska lösningar för energieffektivt byggande

För att uppfylla de nu gällande EU-direktiven avseende energianvändning, krävs att det vidtas åtgärder både i befintliga och i nybyggda hus. Oavsett om energibesparingsåtgärderna vidtas i redan byggda hus eller i utformning av nya, så måste husets användbarhet och hållbarhet alltid beaktas. För att en åtgärd eller lösning ska kunna betraktas som energieffektiv måste den vara rimligt resurskrävande och stå i proportion till hur mycket energi som sparas (Abel & Elmroth, 2008).

För att uppnå energieffektivitet gäller att följande två kriterier skall vara uppfyllda:

- » "Tekniska lösningar eller åtgärder för minskning av energibehov får inte försämra husets funktion, inomhusmiljö eller tekniska kvalitet."
- » "Resursförbrukningen för tekniska lösningar eller för åtgärder som minskar behovet av energi, måste balanseras av den totala energibesparingen."

(Abel & Elmroth, 2008, s. 193)

Detta innebär att vidtagna åtgärder inte kan betraktas som energieffektiva om de gör avkall på byggnadens funktion, driftsäkerhet och användbarhet. En mycket resurskrävande teknisk lösning

bör inte betraktas som energieffektiv som den inte är proportionell mot den sparade mängden energi. Vidare får inte heller energibesparingarna innebära att den boende måste göra för stora uppoffringar och ändrat beteende, då det riskerar att skapa missnöje. En sådan lösning kan inte betraktas som robust.

3.2 Krav på passivhus

Kraven som ställs på passivhus i Sverige skiljer sig något från de tyska, dels på grund av klimat-skillnader samt att de är anpassade efter byggregler och i viss mån kulturella aspekter. År 2007 presenterade FEBY den första kravspecifikationen för det svenska passivhuset, ett dokument som reviderats ett antal gånger sedan dess. För att ett hus ska få kallas passivhus i Sverige måste kravspecifikationen vara uppfylld. Kravspecifikationen är inte detaljstyrande avseende teknik och utformning, men ställer däremot en rad absoluta krav avseende till exempel täthet och u-värden för klimatskalet. Det ställs till exempel inte krav på luftburen uppvärmning, även om det är en vanlig lösning då det smidigt kan kombineras med husets ordinarie ventilationssystem. Kraven är justerade mot husets geografiska placering i Sverige, med hänsyn till bland annat utomhustemperatur och antal soltimmar och de skall ses till ett komplement till Boverkets byggregler, BBR 16 (FEBY, 2009a).

3.2.1 Energieffektiviseringstrappan

Uppförandet av ett passivhus bör ur byggarens perspektiv utföras så att byggnadens prestanda optimeras, för att fungera optimalt ur ett energisystemperspektiv. Konstruktionen ska således vara utförd så att den begränsar användandet av köpt energi. Den boende i ett passivhus har ett ansvar att optimera användandet för att minimera energibehovet och hitta ett beteende som lämpar sig för ändamålet. Det är även önskvärt enligt FEBY att den boende väljer en miljövänlig energileverantör (FEBY, 2009a).

3.2.2 Effektkrav- och rekommendation för energiförbrukning

Följande effektkrav och rekommendationer för energiförbrukning är styrande för en dimensionerande vinterutomhustemperatur, DUT_{20} , enligt svensk standard samt en inomhustemperatur om 20°C. Solenergi räknas inte in i tillskottsvärmekravet.

- » Effektkrav för uppvärmning för södra klimatzonen: $P_{max} = 10 \text{ W/m}^2$
- » Effektkrav för uppvärmning för norra klimatzonen: $P_{max} = 14 \text{ W/m}^2$
- » Effektkrav för uppvärmning av fristående hus < 200 m² för södra klimatzonen: $P_{max} = 12 \text{ W/m}^2$
- » Effektkrav för uppvärmning av fristående hus < 200 m² för norra klimatzonen: $P_{max} = 16 \text{ W/m}^2$
- » Tillskottsvärme från människor, aktiviteter och hushållsapparater ska inte överstiga 4 W/m²

För till exempel en lägenhet om 90 m² i södra klimatzonen får inte installationer för uppvärmning överstiga 900 W, vilket ungefär motsvarar effekten av en normal hårtork.

Behovet av köpt energi innefattar uppvärmning, produktion av tappvarmvatten, fläktar och pumpar, men inte hushållsel. Det finns än idag inga specifika krav avseende energiförbrukning efter-

som det saknas en nationell överenskommelse av vad som ska betraktas som hushållsel. Dock finns en rekommendation att köpt energi (exklusive hushållsel) i södra klimatzonen understiger 60 kWh/m² för uppvärmda utrymmen och motsvarande 68 kWh/m² för den norra.

3.2.3 Konstruktion och mätning

- » Luftläckage genom klimatskalet skall inte överstiga 0,3 l/s·m² vid ± 50 Pa.
- » För fönster och glaspartier skall det genomsnittliga u-värdet vara högst 0,9 W/m²·K.
- » Byggnadens energiförbrukning skall kunna verifieras genom mätningar av hushållsel, fastighetsel och värmeenergi var för sig.

3.2.4 Innemiljö

- » Ljud från ventilationssystem skall klara minst ljudklass B i sovrum.
- » Tilluftstemperatur när tilluftssystemet används som värmebärare skall uppgå till högst 52°C.

4 Riskanalysmetoder

4.1 *What If-analys*

En what if-analys är en kvalitativ riskanalysmetod som syftar till att identifiera riskkällor och värdera konsekvenserna i systemet. Metoden kräver god insikt i systemet som ska analyseras och är effektiv trots sin enkelhet. Analysen genomförs genom att ett helt eller delar av ett system väljs ut och för varje del ställs ett antal frågor av karaktären *vad händer om?* Frågorna delas in efter karaktär och riskkällor besvaras/utvecklas med en diskussion om konsekvens samt vilka åtgärder som behövs för att risken ska reduceras (Kemikontoret, 1987). Om det är önskvärt kan sannolikhet och konsekvens rangordnas, vilket gör att resultatet kan åskådliggöras i en riskmatris. Det slutliga resultatet av analysen utgörs av en sammanställning där tänkbara skadehändelser och konsekvenser sammanställs tillsammans med åtgärdsförslag (Nystedt, 2000). What if-metodens styrka ligger i dess enkelhet och att den går att tillämpa på många olika system (Kemikontoret, 1987).

4.2 *Felträdsanalys*

Felträdsanalys är en riskanalysmetod för att både kvalitativt och/eller kvantitativt bedöma sannolikhet för en given händelse eller ett tillstånd. Den används för att bygga upp en struktur och analysera vilka ingående faktorer som kan leda till en så kallad topphändelse. Ofta är topphändelsen en oönskad skadehändelse eller en del av ett skadeförlopp. Själva felträdet byggs upp som en grafisk modell med en struktur enligt vissa regler. Resultatet blir en logisk modell som anger vilka händelser eller kombination av faktorer som kan leda till topphändelsen. Med god kännedom om systemets ingående delar och till exempel felfrekvens för en teknisk installation, kan en numerisk lösning till felträdet beräknas. Sannolikheten för topphändelsen kan användas för att till exempel värdera olika alternativa säkerhetslösningar (Kemikontoret, 1987).

Analysen är enkel och tydlig, vilket är felträdets styrka. Genom att förloppet bryts ner till enskilda faktorer och delmoment blir det lätt att överblicka. Metoden medger även att mänskligt beteende, till exempel en maskinoperatörs agerande, kan vägas in i analysen. En viktig del av lösningen ligger i att analysera vilka kombinationer (cut sets) av faktorer och händelser som utlöser själva topphändelsen. Med kunskap om systemets uppbyggnad och vad som kan utlösa topphändelsen, kan riskreducerande åtgärder vidtas på bästa sätt (Kemikontoret, 1987).

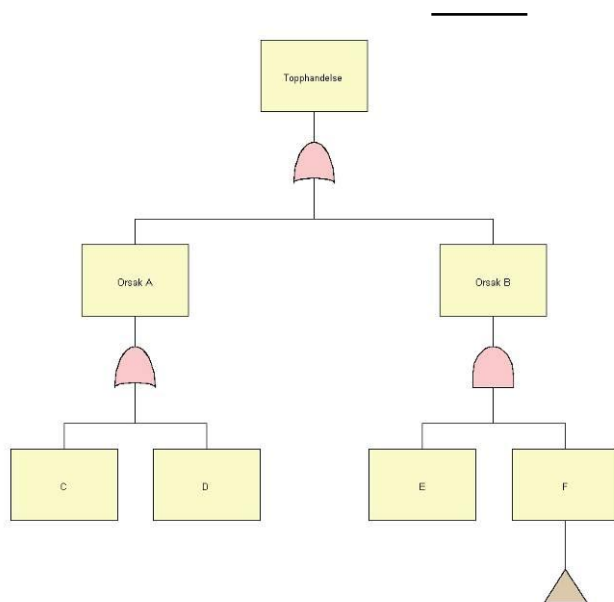
En utlösande händelse (benämns bashändelse) *kan* leda till den oönskade topphändelsen, men ofta ligger svårigheten i att bedöma vilka mellanliggande händelser som *också* måste inträffa för att så skall ske. Det minsta antalet kombinationer av bashändelser som leder till topphändelsen

benämns minimal cut sets (MCS). Genom att bedöma antalet kombinationer av händelser som leder till topphändelsen, kan risken även bedömas kvalitativt.

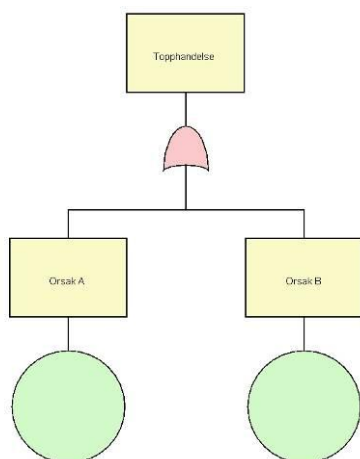
Då risken bedöms bör följande beaktas (Nystedt, 2000):

- » Ju färre bashändelser som ingår i ett minimal cut set, desto större är sannolikheten för topphändelsen.
- » Sannolikheten för topphändelsen beror på bashändelsens karaktär och bör betraktas som störst för mänskligt felhandlande, därefter fel i en aktiv komponent (till exempel fläkt eller pump) och minst för ett passivt system som till exempel en barriär eller kyltank.

När felträdet konstrueras binds händelserna samman med så kallade grindar med olika betydelser. En *och-grind* innebär att två eller fler händelser måste inträffa för att ovanliggande händelse ska kunna inträffa. En *eller-grind* innebär att en av händelserna räcker för att utlösa ovanstående händelse. Ett exempel på logiken redovisas i Figur 1 nedan.



Figur 1 - Exempel på felträd. För att topphändelsen ska inträffa måste "Orsak A" eller "Orsak B" ske. Orsak A inträffar då antingen C eller D sker. Orsak B inträffar då både E och F sker. Orsak A sammanbinds av en eller-grind och orsak B av en och-grind. Triangeln under F betyder att det finns en länk till ett annat felträd.



När bashändelsen nåtts märks den i normalfallet ut med en cirkel, enligt Figur 2, vilket visar att inga fler underliggande orsaker kan påverka topphändelsen, alternativt om dess bidrag bedöms som försumbart. De felträd som redovisas i denna rapport saknar denna cirkel, av skälet att den tar för mycket utrymme. I samtliga felträd som följer i rapporten känns en bashändelse igen då den inte är kopplad till en grind och/eller länk till annat träd.

Figur 2 – Grön cirkel visar exempel på hur bashändelse normalt utritas, vilket inte tillämpas i denna rapport.

4.2.1 Arbetsgång för upprättande av felträd

Vid upprättande av ett felträd följs en arbetsgång enligt (Nystedt, 2000):

1. Fastställ tophändelse och vilket tillstånd som ska analyseras
2. Definiera systemets gränser.
3. Upprätta ett felträd utifrån tophändelsen och spåra bakomliggande orsaker till denna.
4. Sammanbind händelser med en och-grind alternativt en eller-grind.
5. Avbryt när en bashändelse nåtts, alternativt då händelsens bidrag bedöms vara försumbart.
6. Analysera felträdet kvalitativt och försök reducera detta till enbart de händelser som är nödvändiga och tillräckliga för att utlösa topphändelsen.
7. Om underlag och ambition finns kan trädet analyseras kvantitativt.
8. Diskutera systemförändringar för att eliminera topphändelsen eller reducera sannolikheten för att den inträffar.
9. Dokumentera resultatet.

4.2.2 Felträd och robusthet

Ett system kan vara uppbyggt av olika tekniska lösningar, vars funktion kan vara såväl aktiv som passiv. En händelse kan vara beroende av människans agerande, men även brist på agerande. En tophändelse kan vara något som ger akuta konsekvenser, som till exempel en brand, men även ett resultat av långt gående krypande händelser som till exempel fuktrelaterade skador. Då ett system inte är känsligt för störningar i enskilda komponenter, eller då det kan upprätthålla sin funktion trots mänskligt felhandlande, kan det sägas vara robust. Att sträva efter denna typ av robusthet är inte en självklarhet för alla system, då det rentav inte är en nödvändighet. Att till

exempel en personbil har ett redundant system av två av varandra oberoende bromskretsar för att säkerställa bromsverkan känns självklart. Däremot har förmodligen få individer en extra personbil hemma för att säkerställa sin transport till och från bostaden, om en skulle gå sönder.

5 System

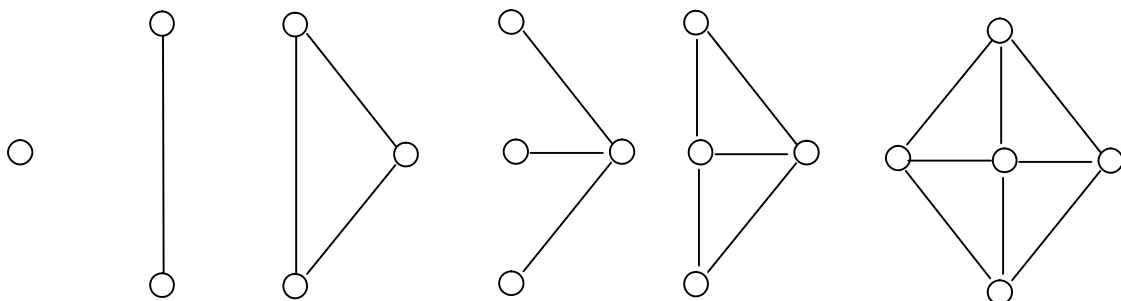
5.1 Ett tekniskt system

En byggnad kan ur en teknisk synvinkel beskrivas som ett system, där olika byggnadsdelar och komponenter bidrar till dess funktion. Vidare kan husets funktion beskrivas som ett nätverk med länkar och noder, där funktionen kan vara mer eller mindre beroende av nätverkets alla delar (ÖCB, 2000). För en analys av ett systems robusthet är det viktigt att definiera systemet, samt vilken funktion de ingående delarna har. Det är även relevant att definiera systemets målbild då allt fungerar, för att kunna diskutera avvikelser, problem och resiliens.

Ett system, i detta fall en byggnad, kan dock inte enbart betraktas utifrån dess tekniska beståndsdelar. Enligt den amerikanska teknikhistorikern Tomas Hughes måste de sociotekniska aspekterna även innefattas när systemet analyseras. Det sociotekniska systemet innefattar organisationer och personer som utvecklar, driver och använder dem. Ofta är det juridiska ramar och ekonomiska motiv som styr, varvid även dessa kan tillåtas att ingå i systemet (ÖCB, 2000).

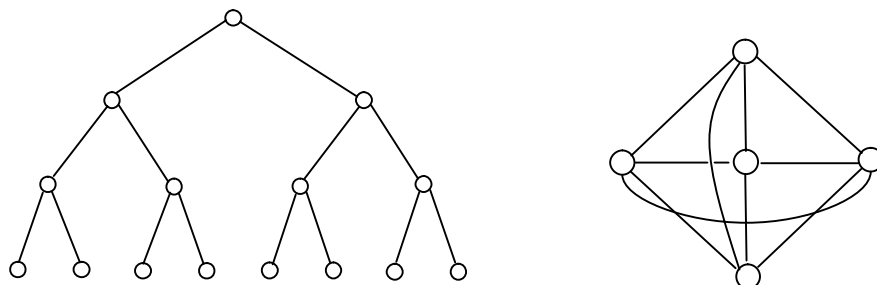
5.1.1 Systemkomplexitet och riskhantering

Ett mått på användbarheten för ett system eller ett koncept, kan vara att diskutera dess komplexitet. Ett allmänt och ändå exakt mått på komplexitet finns inte, men nedan anges några exempel. Om ett system kan beskrivas som en kombination av noder och länkar, kan dess grad av komplexitet beskrivas relativt enkelt, vilket redovisas i Figur 3. Här ökar graden av komplexitet linjärt med antalet länkar och långsammare med ökat antal noder.



Figur 3 – Exempel på nod-länk-system i ökande komplexitetsordning (efter Wulff, 1990).

Med hjälp av nod-länk-system kan begreppen storlek och komplexitet tydliggöras, vilket åskådliggörs i Figur 4 nedan. Ett sätt att mäta robusthet på kan vara att identifiera den (oförutsedda) växelverkan som kan uppstå mellan systemets olika delar, och studera hur väl det fungerar (Wulff, 1990).



Figur 4 – Exempel på ett större, ej komplext system och ett mindre, komplext system (efter Wulff, 1990)

I det sammanhang som denna rapport avhandlar, har komplexitet som exakt mått ingen större användning, men kan användas som tankemodell när robustheten i ett system diskuteras. I verkligheten inverkar betydligt fler faktorer, däribland tid, ekonomi, information och orsaker till mänskligt felhandlande. Att på ett objektivt sätt uttrycka komplexitet med alla dessa faktorer, blir nu mycket svårt.

5.1.2 Vad innebär komplexitet för risken?

Med ökande komplexitet ökar antalet kombinationer på vilket sätt en oönskad händelse kan inträffa, varpå det blir svårare att överblicka och ha kontroll över systemet. Konsekvenserna varierar beroende på hur systemet är uppbyggt och vilka marginaler som finns, det vill säga hur robust systemet är.

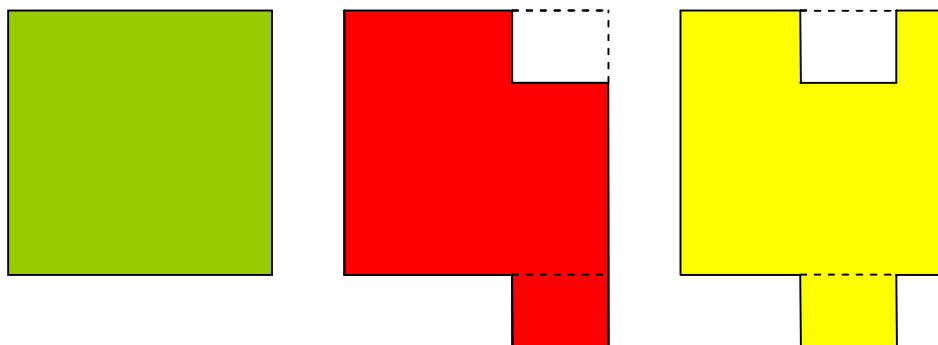
Begreppet komplexitet kan ges en subjektiv dimension om ordet oförutsägbarhet används istället, vilket kan vara användbart vid en robusthetsbedömning. En stor del av riskhantering innebär en bedömning av de osäkerhetsfaktorer som kan relateras till systemet som ska studeras, där oförutsägbarhet tveklöst kan betraktas som en sådan. Det säger sig självt att oförutsägbarhet är svårt att uppskatta, men med ökad kunskap hos individerna kopplat till systemet, går det definitivt att förebygga (Wulf, 1990).

5.1.3 Vad innebär komplexitet för ett passivhus?

Om komplexiteten blir för stor för till exempel en husägare, ökar sannolikheten för att denne inte maktar med att hantera de krav på användande som huset ställer. Här bör beaktas att komplexitet avseende en viss boendeform kanske inte är ett problem för en majoritet, men sett ur ett samhällsperspektiv bör även problem i en minoritet av bostadsbeståndet att beaktas. Om något upplevs som för komplext om ens för 5 % av befolkningen finns risk för att detta kan vålla stora problem för samhället att hantera. Om en liten del inte sköter sin bostad så som det kräver, kan detta medföra konstruktions- och innemiljörelaterade skador som kan leda till samhällsekonomiska problem. Alla boendeformer bör utformas så att de är robusta och kan hantera en viss grad

av slarv, okunskap eller ointresse. Om robusthet inte uppnås står samhället under risk att få hantera kostnader för att reparera skador i byggnadsbeståndet och/eller problem relaterat till hälsa.

Så som diskuterades i avsnittet 3.1.1 om tekniska lösningar för energieffektivt byggande, kan ett byggkoncept inte betraktas som energieffektivt om inte lösningarna står i proportion till de resurser som boendet kräver. Så som passivhus utformas idag finns en hög grad av medvetenhet bland utvecklarna om att en stor del av svårigheterna ligger i att hitta enkla lösningar och minska boendeformens komplexitet. Ett enkelt och tydligt exempel avseende begreppet komplexitet och husets utformning visas i Figur 5 nedan, där effekten av hur byggnadens omslutande area förändras, trots att golvyta är konstant. Större omslutande area innebär ökade värmeförluster, vilket kompenseras med ökad grad av isolering.



Figur 5 – Med byggnadens form ökar den totala omslutande arean, trots att golvarean är konstant. När omslutande area ökar med 10 % (mitten) ökar behovet av extra isolering med cirka 2 cm och då den ökar 20 % (höger) ökar behovet av extra isolering med cirka 4 cm (Tyréns AB, 2010).

I begreppet komplexitet kan aspekten beteende vävas in, då byggnaden bör kunna betraktas som komplex om den ställer krav på till exempel ändrade levnadsmönster. Om en brukare flyttar från ett konventionellt boende av till exempel typ 70-talsvilla till ett passivhus och i för stor utsträckning måste ändra sina levnadsvanor, bör det nya boendet betraktas som komplext. Om passivhuset inte medger att den boende kan göra ingrepp i sin bostad, utan att riskera att det uppstår problem, bör det i en allra högsta grad betraktas som komplext. Detta trots att problemet kan baseras på ett fel i ett förhållandevis enkelt delsystem. Husets tätskikt kan till exempel betraktas på detta sätt, då det ur en konstruktionsaspekt har en enkel uppbyggnad men orsakar ett komplext problem om det skulle punkteras.

5.2 Byggnaden som system

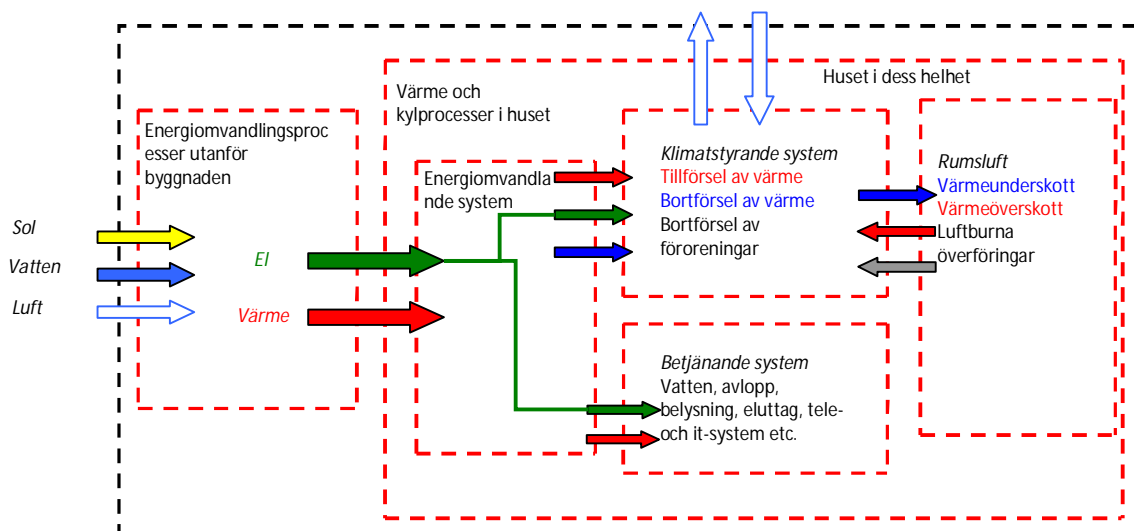
Att betrakta en enskild byggnad som ett system är relevant för att diskutera konstruktionens robusthet, identifiera svagheter och styrkor samt att klargöra hur de sociotekniska faktorerna påverkar en måluppfyllelse. Det är även relevant ur ett samhällsperspektiv, där det enskilda huset måste ses i ett större perspektiv. Den som önskar att uppföra en byggnad styrs av lagar, regler och rekommendationer av till exempel branschorganisationer, försäkringsbolag och inte minst av Boverket. Med vilken teknik och kvalitet det enskilda huset uppförs är i Sverige en i allra högsta grad relevant samhällsfråga där faktorer såsom energiförbrukning, säkerhet och hälsa är starkt reglerat.

Att bygga med kvalité for att minska hushållets energiförbrukning, säkerställa hög säkerhet och god hälsa for nyttjaren  r samhällsekonomiskt motiverat. Att bara uppfylla en del av dessa faktorer bidrar inte ett robusthet samhälle. Den enskilda byggnaden ingår i ett större system, där det ömsesidiga beroendet dem emellan alltid måste beaktas.

5.2.1 Definition av system for denna rapport

Denna analys syftar inte till att diskutera detaljlösningar for en specifik byggnad, utan avser att allmänt behandla en typkonstruktion av ett passivhus. Detta innebär att till exempel detaljinformation som skulle vara nödvändig for ett verkligt uppförande av ett passivhus i viss mån förbises. Vid planering och uppförande av ett passivhus krävs ett samspel av många aktörer och faktorer, samt noggranna beräkningar for att kunna uppfylla kraven. Då passivhuskriterierna inte detaljstyr hur den färdiga produkten ser ut, kan antalet kombinationer av olika tekniska lösningar i det närmsta uppgå till det oändliga.

For att kunna studera en byggnad och dess funktion måste ett system definieras. Systemgränserna anges for att tydliggöra vad som ska studeras, vilka storheter som definierar det och vad som påverkar detsamma. Gränserna sätts beroende på analysens syfte (Abel & Elmroth, 2008). Denna rapport syftar till att studera ett typiskt passivhus i sin helhet, varpå systemgränsen g r utanfor husets klimatskal. Då passivhuset i större utsträckning än ett konventionellt hus  r beroende av till exempel sol och mänsklig aktivitet, måste även energiomvandlingsprocesser och aktiviteter som sker i och utanfor huset tas med.



Figur 6 – En schematisk skiss av vilka tekniska system som avhandlas i denna rapport. Yttre streckade svarta strecket utg r systemets gräns (efter Abel & Elmroth, 2008). De sociotekniska systemen som berör byggnaden verkar övergripande i samtliga systemets delar, dock ej utritat.

I denna rapport omfattar systemet hela huset och vissa relevanta energiomvandlingsprocesser i anslutning till systemgränsen, vilka redovisas i Figur 6 ovan. Med systemet avses:

- » Konstruktion med klimatskal och tillhörande installationer.
- » Värmeutbyte med omgivningen genom värmetransmission och luftläckage.
- » Värme- och kylprocesser, inklusive ventilation och värmeväxling.
- » Energiomvandlingsprocesser utanför huset, till exempel solenergi.
- » Mänsklig närvaro och beteende.

5.2.2 Definition av målbild för rapportens system

Ett välfungerande system förutsätts fungera enligt FEBYs krav och med minimalt behov av tillförd effekt kunna uppnå god termisk komfort (FEBY, 2009a). Vidare skall systemet ge upphov till ett sunt inomhusklimat, präglat av en robust konstruktion som är hållbar för normalt användande under dess tekniska livslängd.

6 Felträdsanalys

6.1 Felträd för olika scenarier

Då resiliens bara kan mätas med avseende på ett specifikt hot (Haines, 2009), syftar denna analys till att identifiera vilka faktorer som påverkar passivhuset så pass att målen inte kan nås.

Kraven på Passivhus syftar till att minimera behovet av tillförd effekt och energi för uppvärmning i byggnader, så att erforderlig termisk komfort i byggnaden kan erhållas på ett rationellt sätt.

FEBY 2009a, s 2.

Nyckelorden i den övergripande målsättning ovan är effekt, energi och termisk komfort och i den tekniska kravspecifikationen finns en mer detaljerad specifikation om vilka värden som måste uppfyllas. Denna rapport avser bland annat att utifrån FEBYs målsättning diskutera vilka faktorer som under byggnadens livslängd kan påverka passivhusets måluppfyllelse utifrån nedanstående scenarier:

1. Energianvändningen överstiger de som är angivna som rekommendation i FEBYs kravspecifikation
2. Brukaren upplever oacceptabla komfortproblem

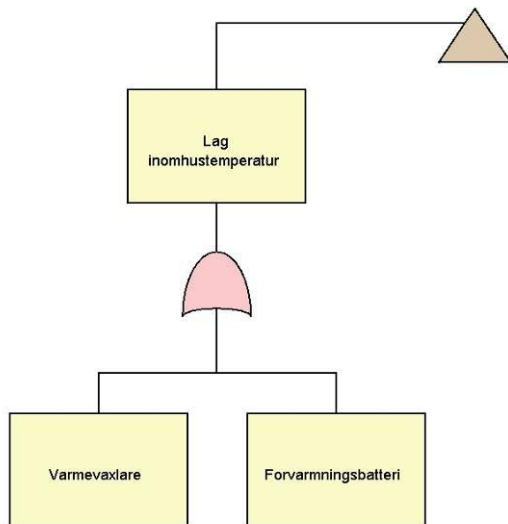
Som en del av ovanstående förs även en diskussion om de bashändelser som kan orsaka akuta eller smygande fel i konstruktion. Vidare diskuteras funktioner som leder till hälsorelaterade effekter för brukaren och/eller kostnader som överstiger de för normalt underhåll/bruk samt ned-satta användarmöjligheter. Denna diskussion utvecklas i what if-analysen i kapitel 8.

6.2 Begränsningar för felträdsanalys

Denna analys är en förenkling av verkligheten, vilket diskuteras i avsnitt 5.1 om det tekniska systemet. Den avser inte utreda detaljlösningar och av den anledningen har flera faktorer förbisetts. Dock avser den att utreda de huvuddrag som är produktspecifika för ett färdigbyggt passivhus. Analysen utgår således ifrån ett hypotetiskt färdigbyggt passivhus

Det datorprogram som använts för att konstruera felträden har vissa tekniska begränsningar. Det medger till exempel inte ÅÄÖ eller speciellt långa beskrivningar för varje händelse. Av denna anledning måste felträden läsas schematiskt där varje händelse (ruta) skall betraktas som *fel i* eller *problem med* [...] vilket redovisas i exempel i Figur 7 nedan.

Det kan inte uteslutas att flera bashändelser kan inträffa samtidigt, utan det kan tvärtom hållas för troligt. Kombination av flera faktorer utreds närmare i what if-analysen och efterföljande diskussion.



Figur 7 – Exempel på hur felträdet skall läsas: "Låg inomhustemperatur kan orsakas av fel i värmeväxlare eller fel i förvarmingsbatteri."

6.3 Underlag för felträdsanalys

De systemlösningar vilka analyseras i felträden som är specifika för passivhuset baseras på underlag från Passivhuscentrum (2010), Janson (2008), Boqvist (2010), Beckomberga passivhus (2009) Tyréns AB (2010) och Gross (2008). Den grundläggande uppställningen på felträdet avseende energiförbrukning baseras på en generell systemuppdelning enligt Abel och Elmroth (2008).

7 Resultat av felträdsanalys

I detta kapitel redovisas resultat av felträd för scenarierna *hög energiförbrukning* samt *komfortproblem*. Avsikten med denna analys är inte att söka ett numeriskt värde på risken, utan att skapa en översikt över vilka faktorer som kan påverka ett passivhus på ett sådant sätt att inte passivhuskonceptets kriterier uppfyllas. Resultatet blir en logisk sammanställning från oönskad topphändelse till den bashändelse som kan tänkas vara den grundläggande orsaken. Ur resultatet av felträdsanalysen finns det en möjlighet till att närmare studera de faktorer som har starkare koppling mot den oönskade händelsen. Det görs här genom att resultatet används som en grund för den what if-analys som redovisas i kapitel 8.

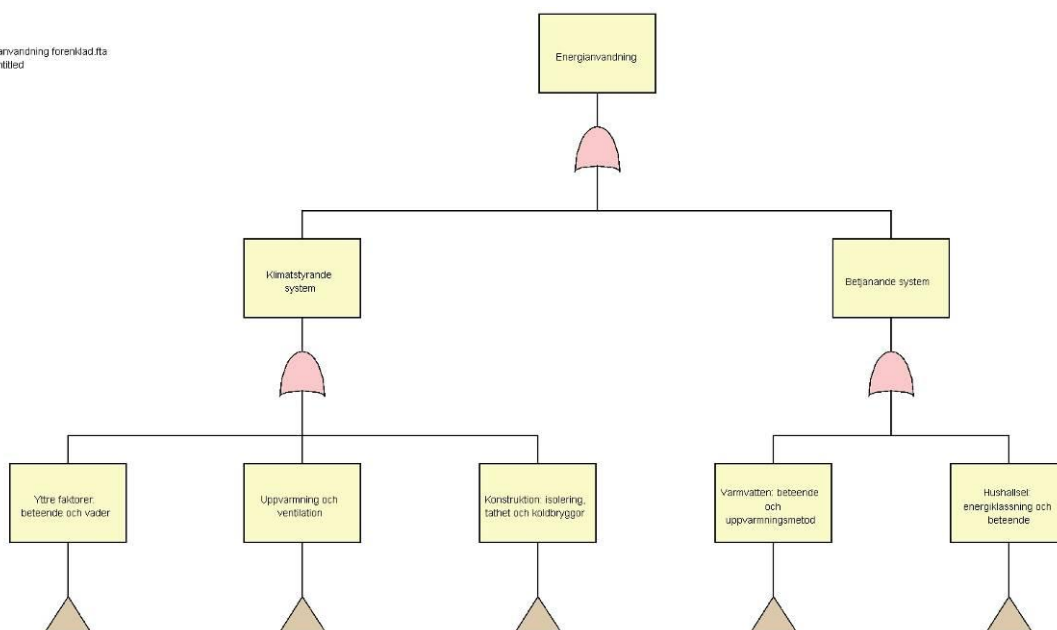
I de två olika felträden återkommer samma händelser i flera fall, av den enkla anledningen att en enskild bashändelse kan ge upphov till konsekvens inom flera olika områden. Otätheter i klimatskalet kan till exempel att orsaka energiförluster, sänkt inomhustemperatur, drag och risk för fukt i byggnadsdel.

I rapportens huvuddel redovisas endast förenklade träd, då det rittekniskt är svårt att presentera ett fullständigt felträd. I detta kapitel kompletteras träden med tabeller med mellanliggande händelser och utlösande bashändelser. Kompletta träd ner till enskild bashändelse redovisas i bilaga A till F.

7.1 Topphändelse: Energianvändning överstiger FEBYs krav

För detta scenario utreds vilka faktorer som kan tänkas leda till att energianvändningen för ett passivhus överstiger de som är rekommenderade i FEBYs kravspecifikation. Effektkravet för uppvärmning kan i vissa hänseenden vara mer relevant att studera eftersom det är ett absolut krav, men sett ur brukarens perspektiv bör den totala energiförbrukningen betraktas som mer intressant. Prestandan för ett passivhus ska optimeras ur ett energiperspektiv när det konstrueras, så att brukaren i sin tur kan optimera driften. Vad innebär detta för användaren och vilken grad av medvetenhet avseende energiförbrukning måste denne ha, vid normalt bruk? Den grundläggande uppställningen redovisas i Figur 8 nedan.

Med det klimatstyrande systemet avses installationer och funktioner vars huvudsakliga uppgift är att svara för inomhusklimat, till exempel ventilations- och värmesystem. De betjänande systemen är kopplade till verksamheten och här avses bland annat system för vatten, avlopp, el-, tele- och datanät (Abel & Elmroth, 2008). Då passivhuset studeras som system får denna indelning en något annan innebörd eftersom även de betjänande systemen betraktas som värmekällor och således även som klimatstyrande.



Figur 8 – Felträd för topphändelse att energianvändningen överstiger FEBYs krav.

7.1.1 Resultat energianvändning

Med bakgrund av hur resultatet av en felträdsanalys ska bedömas enligt avsnittet felträdsanalys i avsnitt 4.2 ovan, listas nedan de faktorer som har störst bidrag till risk för topphändelsen:

- 1 *Bråkarens beteende, (utan inbördes rangordning):*
 - » Val av inomhustemperatur
 - » Inverkan på konstruktion som påverkar byggnadens täthet
 - » Användandegrad av luftvärmningsbatteri
 - » Användandegrad av externa element och värmare
 - » Förbrukning av varmvatten och hushållsel
 - » Användandegrad av till exempel handdukstork, golvvärme
- 2 *Tekniskt, (utan inbördes rangordning):*
 - » Värmeväxlarens verkningsgrad
 - » Ventilationssystemets injustering, luftomsättning
 - » Uppvärmningsmetod för tappvarmvatten, solfångarnas faktiska verkningsgrad/tillförlitlighet
 - » Utformning av system för tappvarmvatten, till exempel styrsystem och blandare/munstycken.
 - » Energiklassning av hushållsapparater och hemelektronik
- 3 *Konstruktionsrelaterat, (utan inbördes rangordning):*
 - » Otätheter i väggens tätskikt
 - » Otätheter kring infästningar av till exempel dörr och fönster
 - » Otillräcklig isolering
 - » Köldbryggor
 - » Byggnadens placering och orientering

Samtliga av ovanstående faktorer kan enskilt i någon grad bidra till topphändelsen, men bidraget varierar stort. Störst sannolikhet för topphändelse infaller när två eller flera händelser sker samtidigt, då till exempel ett visst mänskligt beteende kombineras med problem i teknisk utrustning eller konstruktion. Vidare bör det betraktas som sannolikt att brukarens beteende kan komma att påverka såväl teknisk utrustning som byggnadens konstruktion, vilket kan orsaka stor konsekvens avseende energiförbrukning.

En ytterst relevant faktor som inte passar in i någon av ovanstående kategorier är de klimatrelaterade, där framförallt utomhustemperatur och energiförbrukning korrelerar väldigt väl.

I tabeller 1 och 2 nedan redovisas en sammanställning av felträdsanalysen. Resultatet utgörs av tabeller av samtliga mellanliggande händelser och bashändelser som inom analysens begränsning bedöms kunna påverka huset så att energiförbrukning överstiger kraven. Hur mycket de olika bashändelserna i felträdet bidrar till att energiförbrukningen blir för hög, varierar stort. Att närmare ta reda på hur stort bidrag en händelse utgör för risken görs inte denna rapport, eftersom det kräver att ett specifikt fall studeras med omfattande beräkningar som följd. Resultatet av felträdsanalysen blir istället en sammanställning av identifierade riskkällor som kan påverka energiförbrukningen negativt. Faktorernas inverkan på resultatet analyseras närmare i what if-analysen.

Energianvändning - Betjänande system

Mellanliggande händelser		Bashändelse, beror av:
Varmvatten	Beteende Tekniskt	<ul style="list-style-type: none"> » Brukarvanor tappvarmvatten » Solfångare, täckningsgrad för låg » Solfångare, otillräcklig yta » Kompletterande uppvärmning, fjärrvärme eller el » Blandare, styrsystem, spolmunstycken
Hushållsel	Beteende Tekniskt, energiklass m.m.	<ul style="list-style-type: none"> » Brukarvanor, hushållsel » Belysning » Kommunikation/IT » Hushållsapparater och övrig hemelektronik

Tabell 1 – Sammanställning felträdet bashändelser avseende klimatstyrande system som kan leda till att energiförbrukningen överstiger kraven.

Energianvändning - Klimatstyrande system

Mellanliggande händelser

Bashändelse, beror av:

Yttre faktorer	Beteende	<ul style="list-style-type: none"> » Inomhustemperatur > 20°C » Antal individer i hushållet avviker från de dimensionerande » Värmeavgivande aktiviteter avviker från de dimensionerande
	Väder	<ul style="list-style-type: none"> » Låga utomhustemperaturer » Brist på solinstrålning, skuggning
Uppvärmning och ventilation	FTX	<ul style="list-style-type: none"> » Värmeväxlare trasig/dålig verkningsgrad » Förvärmningsbatteri trasigt/ används fel » Fläktar trasiga/ används fel » Filter byts ej med rätt intervall » Handdukstork, för hög effekt eller ej timerstyrd » Golvvärme, för hög effekt, för stor yta eller ej timerstyrd » Extra värmare eller element används, utöver ordinarie installationer²
	Övrig uppvärmning	
Konstruktion	Isolering	<ul style="list-style-type: none"> » Felisolerat klimatskal vägg/tak/golv » Fönster, för högt u-värde » Dörr, för högt u-värde
	Tätthet	<ul style="list-style-type: none"> » Läckage kring infästningar, dörr/fönster etc » Tätskiktet punkteras av brukare » Tätskiktet är uttjänt pga ålder » Tätskiktets skarvar är otäta
	Köldbryggor	<ul style="list-style-type: none"> » Konstruerad köldbrygga » Fukt i byggnadsdel
	Placering och orientering	<ul style="list-style-type: none"> » Husets placering och orientering relaterat till skuggning/sol

Tabell 2 – Sammanställning felträdes bashändelser avseende klimatstyrande system som kan leda till att energiförbrukningen överstiger kraven.

7.1.2 Resultatdiskussion energiförbrukning

Resultatet visar att energieffektiviseringstrappan enligt avsnitt 3.2.1 (FEBY, 2009a) i stort är uppfylld, vilken säger att byggnadens prestanda ska optimeras så att brukaren kan optimera driften. Denna ambition bör betraktas som både rimlig och rättvis, då ingen annan än brukaren kan ta ansvar för hushållets energiförbrukning. Vidare bör detta resultat ses som en viss bekräftelse på att modellen av ett passivhus, så som det definieras i rapporten, relativt gott speglar ett verkligt passivhus.

Vad som inte framgår ur detta resultat, är vilket beteende som kan förväntas av en brukare av ett passivhus. Inomhustemperatur är en parameter som är lätt att mäta och följa som brukare. Men brukarbeteende kan i boendesammanhang innefatta fler faktorer än så och det kan inte hållas för osannolikt att ett felaktigt agerande kan orsaka skador i konstruktion eller installation som leder till en energiförbrukning som överstiger rekommendationerna i kravspecifikationen. Allra minst

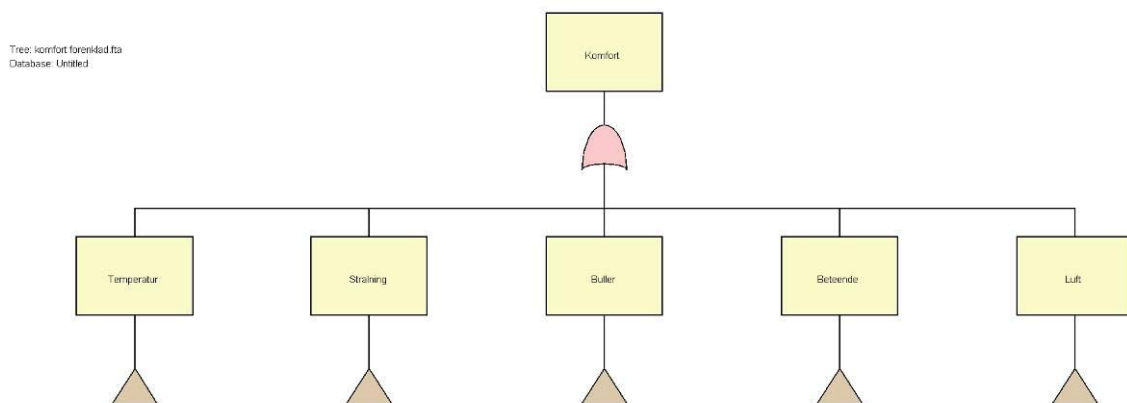
² Kommer i praktiken att belasta hushållsel, även om effekten direkt avgår till uppvärmning

bidrag ur riskhänseende står de konstruktionsrelaterade faktorerna för, av den anledningen att de är att betrakta som passiva komponenter.

7.2 Topphändelse: Brukaren upplever oacceptabla komfortproblem

För detta scenario utreds vilka faktorer som kan tänkas leda till att brukaren upplever oacceptabla komfortproblem. Grundindelningen baseras på en uppdelning av problem med komfort avseende temperatur, strålning, drag, beteende och luftkvalitet, vilket redovisas i det förenklade felträdet i Figur 9 nedan. En svårighet med att mäta komfortproblem är att det i grund och botten är subjektivt. Spridningen mellan olika individers upplevda obehag är stor, varpå det som en individ upplever som behagligt kan en annan uppleva som dess motsats. Boverkets byggregler ställer absoluta krav på nybyggnation avseende till exempel hygieniska luftflöden och temperaturintervall och självklart omfattas passivhusen även av dessa.

Argumentet för att mäta komfortproblem kan härledas till resonemanget i avsnitt 3.1.1 ovan, om vilka tekniska lösningar för minskad energiåtgång som kan vara motiverade. En lösning som innebär att brukaren upplever sitt boende som komplext, kan det inte betraktas som energieffektivt. En byggnad bör inte heller kunna betraktas som robust om den inte är anpassad för att passa en större population. Självklart måste det på marknaden få finnas nischade boendeformer som inte passar alla individer, men i takt med att det energieffektiva byggandet ökar måste det säkerställas att inte delar av befolkningen utesluts.



Figur 9 – Felträd för topphändelse att brukaren upplever oacceptabla komfortproblem.

7.2.1 Resultat komfortproblem

Med bakgrund av hur resultatet av en felträdsanalys ska bedömas enligt avsnitt 4.2 ovan, listas nedan de faktorer som har störst bidrag till risk för topphändelsen: —

1 Brukarens beteende, (utan inbördes rangordning):

- » Individens önskade komforttemperatur
- » Inverkan på konstruktion som påverkar byggnadens täthet
- » Hur rörliga skydd mot solinstrålning används
- » Antalet boende i hushållet
- » Värmeavgivande aktiviteter
- » Underhåll

2 *Tekniskt, (utan inbördes rangordning):*

- » Drag från ventilation
- » Temperatur i tilluftskanal
- » Luftomsättning
- » Bypassfunktion
- » Klimatstyrning, temperaturdifferenser
- » Buller från FTX-aggregat, kanaler och don

3 *Konstruktionsrelaterat, (utan inbördes rangordning):*

- » Fönsters placering, storlek och u-värde
- » Otätheter i väggens tätskikt och kring infästningar av till exempel dörr och fönster
- » Otillräcklig isolering
- » Köldbryggor
- » Byggnadens placering och orientering

I tabellerna 3 till 6 nedan redovisas en sammanställning av felträdsanalysen, där resultatet utgörs av tabeller av mellanliggande händelser och bashändelser som bedöms kunna orsaka oacceptabla komfortproblem. Resultatet av felträdsanalysen utgörs av en sammanställning av identifierade riskkällor som kan påverka bostadens komfort. Hur de olika händelserna påverkar komforten analyseras närmare i what if-analysen i 8.

—

Komfortproblem - Inomhustemperatur för hög

Mellanliggande händelser		Bashändelse, beror av:
Konstruktion	Isolering	<ul style="list-style-type: none"> » Fönster, placering » Fönster, storlek » Fönster, u-värde » Dörr, u-värde » Klimatskal vägg/tak/golv
	Skydd mot solinstrålning	<ul style="list-style-type: none"> » Saknas, finns ej i tillräcklig utsträckning » Felmonterat » Används fel
	Fönsterytor	<ul style="list-style-type: none"> » Placering, riktning » Storlek » U-värde
Installation	Ventilationssystem	<ul style="list-style-type: none"> » Luftomsättning » Bypassfunktion
Yttre faktorer		<ul style="list-style-type: none"> » Solinstrålning » Utomhustemperatur » Beteende, val av inomhustemperatur » Antal individer och värmeavgivande aktiviteter

Tabell 3 – Sammanställning felträdet bashändelser avseende för komfort, som kan leda för hög inomhustemperatur.

Komfortproblem - Inomhustemperatur för låg

Mellanliggande händelser

Bashändelse, beror av:

Konstruktion	Isolering	» Fönster, placering » Fönster, storlek » Fönster, för högt u-värde » Dörr, för högt u-värde » Felisolerat klimatskal vägg/tak/golv » Läckage kring infästningar, dörr/fönster » Tätskiktet punkteras av brukare » Tätskiktet är uttjänt p.g.a. ålder » Tätskiktets går sönder p.g.a. sättningar, rörelser i konstruktionen » Tätskiktets skarvar är otäta
	Täthet	» Konstruerad köldbrygga » Geometrisk köldbrygga » Fukt i byggnadsdel
	Köldbryggor	
Installation	Ventilationssystem	» Luftomsättning » Bypassfunktion
Yttre faktorer		» Solinstrålning tas ej till vara på rätt sätt, skuggning » Utomhustemperatur » Beteende t.ex. vädring » Antal individer avviker från det dimensionerande » Värmegivande aktiviteter avviker från det dimensionerande
Temperaturdifferens		» Klimatstyrning » Konstruktion » Beteende, hur rummen används

Tabell 4 – Sammanställning felträdes bashändelser avseende för komfort, som kan leda för låg inomhustemperatur.

Komfortproblem - Inomhusluft

Mellanliggande händelser

Bashändelse, beror av:

Luftkvalitet	Fukthalt	» Överproduktion av vattenånga, människor » Överproduktion av vattenånga, hushållsmaskiner » Luftomsättning för låg » FTX-aggregatet torkar luften » Uteluftens halt av förorening » Verksamheten alstrar föroreningar » Byggnadsmaterial och inredning avger emissioner » Luftomsättning
	Halt av föroreningar	
Drag		» Ventilationssystemets utformning » Otätheter i fasad och vid infästningar
Doft		» Temperatur i kanalerna för hög, damm pyroliserar » Mögel i konstruktion » Värmeväxlaren blandar förorenad och frisk luft

Tabell 5 – Sammanställning av felträd och de bashändelser avseende betjänande system som kan leda till luftrelaterade komfortproblem.

Komfortproblem – Strålning, buller och beteende

Mellanliggande händelser		Bashändelse, beror av:
Strålning	Varmstrålning	<ul style="list-style-type: none"> » Egenskaper fönster » Storlek fönster » Placering fönster
	Kallstrålning	<ul style="list-style-type: none"> » Egenskaper fönster » Storlek fönster » Placering fönster » Köldbryggor » Isolering vägg
Buller	Externt buller	<ul style="list-style-type: none"> » Ljud från omgivning, gata, trapphus, grannar etc.
	Internt buller	<ul style="list-style-type: none"> » Ventilationssystemets utformning » Placering av FTX-aggregat » Ljudklass FTX-aggregat » Ljud från ledningar och rör
Beteende		<ul style="list-style-type: none"> » Underhåll och skötsel upplevs besvärande » Tillgänglig teknik används rätt

Tabell 6 – Sammanställning av felträdd och de bashändelser avseende betjänande system som kan leda till luftrelaterade komfortproblem.

7.2.2 Resultatdiskussion komfortproblem

Olika komfortrelaterade risker medför en stor bredd avseende konsekvens, vilken kan variera från lindriga sådana som till exempel kalla golv, till betydligt allvarigare så som astmatiska sjukdomar eller hudbesvär. Vissa risker bör således betraktas som acceptabla, då nyttan följaktligen överstiger kostnaden för insatsen. Vad gäller exempel kalla golv några dagar per år, kan tyckas att det bör vara en acceptabel konsekvens av att den totala energiförbrukningen i samhället sänks. I det fallet är problemet snabbt avhjälp genom att brukaren använder ett par tjockare strumpor, vilket är en beteendeförändring som inte kostar speciellt mycket. Däremot bör det råda mycket liten tolerans mot konsekvenser som inskränker på bostadens faktiska användbarhet, brukarens hälsa samt som orsakar sådana problem med konstruktionen, vars kostnad kan härledas till oväntat underhåll. I denna analys innefattas hälsorelaterade konsekvenser i begreppet komfort.

Jämfört med energiförbrukning är de komfortrelaterade problemen svårare att hantera, av flera anledningar. Dels av den anledning som har nämnts ovan, nämligen dess subjektiva natur, men även av den anledningen att det kan vara svårt att bli av med problemet om huset är felkonstruerat.

8 Resultat av what if-analys

I detta kapitel utgår analysen från de bashändelser och noder som identifierades i felträdsanalysen. Utifrån de faktorer som orsakar oönskade händelser, diskuteras frågeställningar och konsekvenser av en given händelse eller felfunktion.

Frågorna nedan är av karaktären *vad händer om?* Tanken med att utreda dessa frågor är att med en smula fantasi men ändå förhoppningsvis god verklighetsförankring utreda tänkbara scenarier som kan tänkas uppstå vid normalt användande av ett passivhus. Urvalet av frågor som utreds närmre i detta kapitel baseras dels på att de bedöms ha stor inverkan för passivhusets prestanda, dels för att deras karaktär lämpar sig för en diskussion.

Att motivera vissa frågor kan vara svårt och för vissa fall kanske rent av omöjligt. Mänsklig okunskap, ointresse eller en kombination av båda, kan leda till de mest otänkbara scenarierna men får för den sakens skull inte avskrivas. Även om ett hus är byggt felfritt så finns det alltid risk för att det kommer i händerna på en användare som inte sköter det på ett sådant sätt som det kan förväntas. Sett ur ett samhällsperspektiv bör detta betraktas som mycket troligt.

Det är såklart omöjligt att helt gardera sig mot till exempel bristande underhåll och att hantverkare utför ett dåligt jobb, men genom robusta konstruktioner kan riskerna minskas. Olika byggnader är olika känsliga inför olika typer av beteende och det är av denna anledning som analysen genomförs. Hur robust är ett passivhus inför ett normalt användande sett ur ett samhällsperspektiv? Flertalet av scenarierna nedan medför en relativt lindrig konsekvens när det står för sig själv. Dock får det inte hållas för osannolikt att flera av dessa kan inträffa samtidigt, vilket kan leda till ytterligare oönskade konsekvenser.

Ambitionen med detta kapitel är att besvara en del av alla de frågor som finns sammanfattade i bilaga G, H och I, samt att ge en översikt över problemen och belysa viktiga konsekvenser. Målet är att ge en konsekvensbeskrivning som är antingen teoretiskt förankrad eller som kan stärkas med genomförda boendeundersökningar. För att kvalitetssäkra konsekvensbeskrivningen i analysen har samtliga presenterade frågor redovisats och diskuterats med professor Jesper Arfvidsson (2010-05-31), Avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds tekniska högskola, varpå felaktiga antaganden sorterats bort. Diskussion om problemområden har även förts tillsammans med doktorand Hans Bagge (2010-06-08), vid samma avdelning.

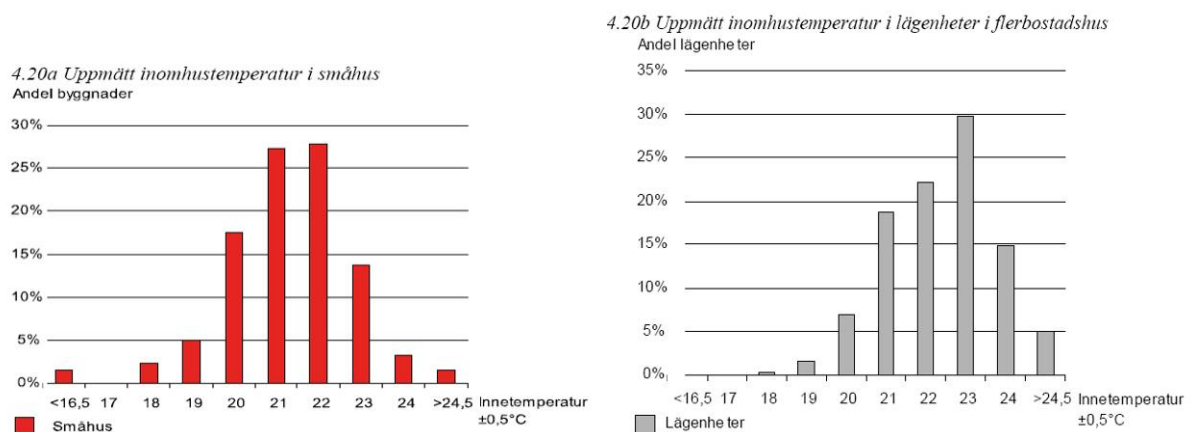
Det är möjligt att svaren angivna i detta kapitel inte stämmer överrens med vissas uppfattning om problemet. Oavsett vilket svaret är, så bör frågeställningarna betraktas som relevanta för ett fortsatt arbete för att utveckla passivhuset.

8.1 Vad händer om brukaren inte kan anpassa inomhustemperaturen till den önskade?

Att dimensionera för ett fixt värde på inomhustemperatur utan att ta hänsyn till naturliga variationer och individuella behov i en population är förenat med risker. Vilken komforttemperatur som individen föredrar varierar stort, beroende av en lång rad olika faktorer. Mätningar visar att medeltemperaturen för ett småhus är $21,2 \pm 0,2$ grader och för flerbostadshus $22,3 \pm 0,2$ grader, vilket redovisas i Figur 10 (Boverket, 2009). Undersökningar har visat att även om den termiska komforten i byggnaden är optimal enligt givna krav, och att det inte förekommer något störande drag, så kommer ca 5 % av individerna i en population att vara missnöjda. Av denna anledning anses individuell styrning av inomhusklimatet ha stort värde för den enskilde (Nilsson, 2000).

Resultat av två års mätningar i de första svenska passivhusen i Lindås gav ett medelvärde på $23,2^{\circ}\text{C}$ under uppvärmningssäsongen (Ruud & Lundin, 2004 citerad i Tegvald & Lundin, 2006). I en sammanställning av enkätsvar från de boende i passivhusen vid Oxtorget i Värnamo redovisas en uppmätt medeltemperatur i vardagsrummet om $22,6^{\circ}\text{C}$ under perioden maj-juli, med ett intervall mellan $18-25^{\circ}\text{C}$. Som svar på frågan vilken temperatur som var önskvärd för det aktuella rummet var spridningen större, mellan $18-27^{\circ}\text{C}$ med ett medel på $21,9^{\circ}\text{C}$. Det bör dock noteras att överlag uppger de boende att de är ganska till mycket nöjda med den aktuella temperaturen (Finnveden bostäder, ej daterat).

Generellt uppmäts lägst inomhustemperaturer i äldre småhus och flerbostadshus före 1940 (Boverket, 2009) och således kan viss temperaturspridning förklaras med byggnadens konstruktion och fysiska status, men detta kan troligtvis bara förklara en mycket liten del.



Figur 10 – Uppmätt inomhustemperatur för småhus och lägenhet (Boverket, 2009).

8.1.1 Konsekvenser

Passivhus dimensioneras i regel för en specifik inomhustemperatur (FEBY, 2009a), vilket innebär att konceptet inte tar hänsyn till den naturliga variationen i önskad komforttemperatur som finns i en population. Det finns således risk för att konceptet utesluter ett större antal människor och att boende i passivhus kan komma att uppleva stora komfortproblem om de inte ges möjlighet att

reglera temperaturen som de själva önskar. Då det uppstår brister i det termiska klimatet kan det leda till obehag, missnöje, nedsatt prestationsförmåga och produktivitet. Vidare visar undersökningar genomförda med boende i passivhus i Glumslöv (Landskrona), Frillesås (Kungsbacka) och Oxtorget (Värnamo) att 11-67% tycker att deras bostad är för kall vintertid och 11-56% upplever den som för varm sommartid (Lüddeckens & Samuelsson, 2009). Genomförda studier visar även att det finns en tendens till att i välisolerade byggnader väljer de boende en högre inomhustemperatur än i sitt tidigare boende (Janson, 2008).

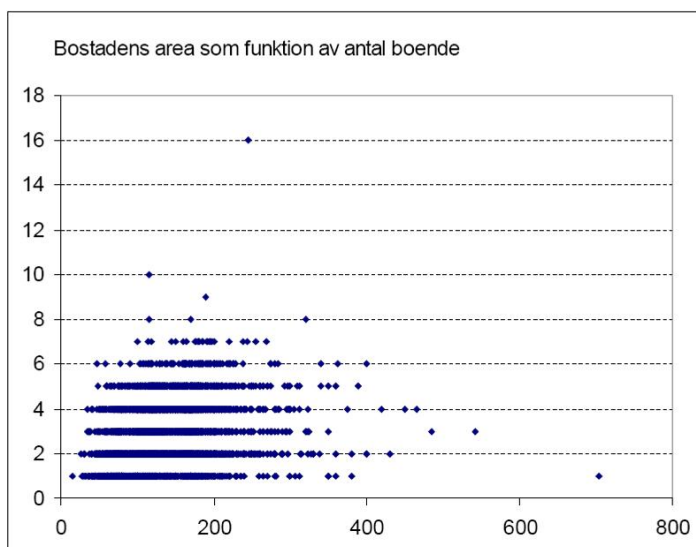
En dimensionering mot en specifik inomhustemperatur kan innebära att byggnaden med ordinarie installationer, inte medger att ens hålla denna temperatur, till exempel vid längre tid av kyla. Det finns flera exempel där de boende tvingas vidta åtgärder för att höja inomhustemperaturen. Förutom att köpa fristående element, vittnar boende från tre passivhusområden om ändrat beteende och ett onaturligt användande av hushållsapparater och hemelektronik för att få upp temperaturen (Lüddeckens & Samuelsson, 2009).

Ur ett energiperspektiv innebär en högre inomhustemperatur än den dimensionerande, att effektkravet för uppvärmning under uppvärmningssäsongen kan komma att överstigas. Genomförda energiberäkningar för passivhusen i Lindås visar att energiförbrukningen ökar med 3-5% per ökad grad i inomhustemperatur (Tegvald & Undén, 2006), vilket innebär att det finns risk för att FEBYs energikrav överstigs vid normalt användande.

- » Vad händer om den boende önskar en inomhustemperatur om 23°C en lång och kall vinter? Vilka blir konsekvenserna avseende energiförbrukning och hur säkerställs god termisk komfort?

8.2 *Vad händer om antalet individer och de värmegivande aktiviteterna i huset avviker från det dimensionerande?*

Energibalansen i ett passivhus är kraftigt beroende av spillvärme från brukarna och dess aktiviteter. Fler individer i hushållet innebär en minskning i uppvärmningsenergi, samtidigt som varmvattenenergibehovet ökar. Idag används det dimensionerande personantalet 41 m² bostadsarea/person (BOA/pers) vid projektering av passivhus, vilket tillämpas både för flerbostadshus och för småhus. Detta är ett oviktat genomsnitt och på FEBY används ett medelvärde, trots vissheten om att det finns en stor variation för den enskilda byggnaden. Korrigeringar görs således när den enskilda byggnaden följs upp (FEBY, 2009b). Som underlag för dimensionerande personantal används statistik från SCB från 2006, vilket till del redovisas i Figur 11 nedan. Trots att FEBY konstaterar att spridningen är extremt stor och att ett entydigt samband inte går att utläsa ur statistiken, används ett medelvärde.



Figur 11 – Bostadens area som funktion av antal boende, med antal boende på Y-axel och bostadsyta (m^2) på X-axeln. Statistik från 5000 småhus (FEBY, 2009b).

8.2.1 Konsekvenser

Att använda ett fixt värde för dimensionerande personantal behöver inte vara fel, eftersom det är ett riktvärde och då det med stor sannolikhet korrigeras för under projekteringen. Däremot är det relevant att ställa frågan vad som händer om antalet boende i byggnaden förändras. Att utgå från att persontätheten är konstant genom hela byggnadens livslängd är med stor sannolikhet ett felaktigt antagande, då hänsyn till variation måste tas även här. Familjekonstellationer förändras, barn föds, växer och flyttar hemifrån. Under en 25-årsperiod bör det betraktas som sannolikt att antalet personer i en medelstor villa varierar från två personer till fyra-fem, för att på sikt bli två på nytt. Vidare visar studier att trenden generellt går mot att antalet personer per hushåll minskar, vilket innebär att det totala antalet hushåll ökar. Även användningen av hushållsapparater ökar, där ett ökat antal hushåll leder till ett ökat totalantal av hushållsapparater, med längre drifttid och fler funktioner (Bagge, Hiller & Sjögren, 2005).

När det faktiska personantalet avviker från det dimensionerande, kommer det att få konsekvenser både avseende komfort och energiförbrukning. Ett minskat antal personer kommer leda till minskade inomhustemperaturer, medan ett ökat antal givetvis leder till motsatsen. Då spillvärme från de boende och deras aktiviteter är passivhusets främsta värmekälla måste även ett lågenergikoncept ta hänsyn till denna variation. Vidare bör det tas hänsyn till att det inom hushållets olika rum kommer att bedrivas olika verksamhet, där till exempel kök och tvättstuga kommer att generera avsevärt mycket mer spillvärme än ett sovrum. Risker för övertemperatur kopplad till värmegivande aktiviteter bör betraktas som lika stora som riskerna för undertemperaturer. Dock kan höga inomhustemperaturer vara svårare att reglera under den varma årstiden.

- » Kan en person bo själv i en 120 m^2 stor villa, klassad som passivhus och samtidigt nå både energi- och komfortkrav?

8.3 Vad händer om det blir en lång och kall vinter?

Vid dimensionering av effektbehov för ett passivhus utgår beräkningarna ifrån en dimensionerande utomhustemperatur (DUT) samt husets värmetröghet (termisk tidskonstant). Den dimensionerande utomhustemperaturen bygger på statistik enligt Svensk standard SS 024310 (FEBY, 2009a). För att beräkna DUT för en inomhustemperatur om 20°C studeras ett tidsintervall inom vilket inomhustemperaturen tillåts att sjunka 3°C (Tegvald & Undén, 2006). Även husets termiska tröghet, den så kallade tidskonstanten, tas med i beräkning för val av DUT. Avseende inomhustemperatur under april-september finns en rekommendation att temperaturen i ett passivhus inte bör överstiga 26°C under 10 % av tiden under denna period (FEBY, 2009a).

8.3.1 Konsekvenser

Det borde snarare vara relevant att ställa frågan vad som händer *när* istället för *om* det kommer att bli avvikelser i utomhustemperaturen. Hur säkerställer de boende i ett passivhus god termisk komfort under en längre period av extrem kyla? Måste kylan vara extrem eller räcker det med att temperaturen håller sig kring den dimensionerande, men att den gör det under en längre tid? Vad händer under en lång och varm sommar?

De värmeavgivande aktiviteterna i en bostad borde kunna antas vara samma under hela uppvärmningssäsongen, oavsett utomhustemperatur. Spillvärmens från hushållsaktiviteter kan således inte förväntas vara högre då temperaturen sjunker en period, varpå de tekniska installationerna förväntas möta behovet av uppvärmning. Men vad händer om den installerade effekten inte räcker till för att möta uppvärmningsbehovet? Effektkravet som FEBY angivit är entydigt (10-14 W/m²), varpå byggnadens tekniska förutsättningar för att möta låga temperaturer bör bedömas som dåliga, om inte de fasta installationernas effekt medger detta. Det föreligger risk för att de boende kommer att uppleva komfortproblem med lägre inomhustemperaturer än förväntat och att brukaren kommer att vidta irrationella åtgärder i form av ändrat beteende. Vidare så kommer låga utomhustemperaturer medföra att effektbehovet för uppvärmning riskerar att överskridas då ytterligare installationer av ytterligare värmare måste göras, även om den extra uppvärmningen i praktiken kommer att belasta hushållselen. Denna typ av agerande kommer att innebära att det faktiska effektbehovet blir svärmt.

På frågan om hur boende i passivhus påverkar inomhustemperaturen i enskilda rum svarar några utvalda (Lüddeckens & Samuelsson, 2009):

- » "Datorn på dygnet runt för att få värme."
- » "Trycka på gå bort-knappen."
- » "Sänka friskluftsintaget."
- » "Extravärme med separat fläkt."
- » "Har köpt fristående element, annars kan vi inte vistas i lägenheten."

Dessa fritextsvar bör tas för vad de är, det vill säga lösryckta svar i en liten enkätundersökning (53 stycken svar på 89 utskick). Trots detta bör de betraktas som intressanta, för om konceptet ska kunna betraktas som robust ur ett boendeperspektiv, bör det justeras till att tillfredsställa ett tvärsnitt av samhället.

8.4 *Vad händer om värmeväxlarens verkningsgrad understiger den förväntade?*

En mycket viktig funktion i passivhuset är dess förmåga att tillvarata den energi som finns i luften som ventileras ut ur byggnaden. Här spelar luftvärmewäxlaren en mycket stor roll och dess verkningsgrad bör uppgå till minst 80 %. Bland de tidiga svenska passivhusen, bland annat i Lindås, uppstod problem med att den faktiska verkningsgraden inte motsvarade den som tillverkaren angivit (Janson, 2008). En av lärdomarna som dragits av detta är det nu rekommenderas att de värmeväxlare som används för passivhus ska vara testade av en oberoende prövningsinstans, för att säkerställa att tillverkarens verkningsgrad verkligen uppfylls praktiskt.

8.4.1 Konsekvenser

Vid utomhustemperaturer under 0°C föreligger risk för att värmeväxlare fryser sönder på grund av frostbildning, framförallt om frånluften innehåller mycket fukt (Warfinge, 2007). Vanligtvis löses detta problem med en automatisk avfrostningsfunktion, vilket kan leda till en sänkning av verkningsgraden. Vid passivhusen i Lindås avfrostas värmeväxlaren en gång i timmen då tillufts temperatur sjunker under -2°C, vilket sänker dess verkningsgrad 3-8 %-enheter (Ruud & Lundin, 2004 citerad i Tegvald & Undén, 2006). Energiberäkningar genomförda av Tegvald och Undén (2006) visar för ett specifikt fall avseende husen i Lindås, att vid variation av värmeväxlarens verkningsgrad mellan 75 och 90 % påverkas den totala energiförbrukningen inte nämnvärt ($\pm 4\%$). Om värmeväxlaren däremot skulle tas bort helt ökar energiförbrukningen med runt 60 % för att klara uppvärmningen. Som enskild faktor har luftvärmewäxlarens verkningsgrad relativt liten inverkan på den totala energiförbrukningen, så länge den ligger nära de siffror som kan förväntas. Det faktum att en luftvärmewäxlarens verkningsgrad försämras med åldern³ bör dock beaktas, då även en liten höjning av det totala effektbehovet orsakar konsekvenser avseende energi och ekonomi, sett till byggnadens livslängd.

- » Vad händer om sänkt verkningsgrad samverkan med andra faktorer, såsom läckande klimatskal eller ett utbytt fönster med dåligt u-värde?

8.5 *Vad händer om brukaren vill göra ytterligare installationer, till exempel kamin eller golvvärme?*

I en tvärvetenskaplig studie av passivhusen i Lindås ställdes frågan till de boende, om det fanns något avseende uppvärmning och ventilation som de skulle vilja förändra om de fått bestämma

³ Tommy Wesslund, Wesslunds AB, föreläsning Certifierad passivhusexpert, Tyréns AB, Malmö 3 juni 2010.

sjelva. Ungefär hälften av de boende önskade sig en braskamin, både för trivsel och för uppvärmning. Ett flertal av de boende hade ställt frågan om det var möjligt att installera denna typ av värmekälla, men blivit nekade med hänvisning till att förlusterna skulle bli för stora då kaminen inte var i bruk (Boström et al, 2003). Folk i allmänhet är vana vid att ha en värmekälla i varje rum och som boende i ett passivhus kan luftburen värme kännas ovan (Janson, 2008). Att husets uppvärmning ska vara luftburen är förvisso inget krav för passivhuscertifieringen, men är ändå en vanlig lösning i Sverige idag.

Golvvärme är jämte handdukstork, en relativt vanlig förekommande extra värmekälla i badrum, som ofta upplevs som kalla. Hårda golv i form av klinkers eller golvkakel är en bidragande faktor, då ett kallt golv bidrar till att rummet känns kallt. Ett varmt golv kan således öka känslan av termisk komfort med en relativt lägre inomhustemperatur.

8.5.1 Konsekvenser

Med dagens dimensionering av passivhus finns det inga standardlösningar för braskamin eller öppen spis i passivhus. Svårigheten med detta är dubbelbottnat, då en installation av en kamin kan medföra både problem med för hög effekt och/eller ökade förluster genom rökkanalen. Om braskaminen installeras då huset projekteras finns möjlighet till att anpassa effekt för att matcha husets totala energibalans. Vidare är det möjligt till att använda dess effekt till att delvis till exempel bidra till uppvärmning av husets ackumulatortank för tappvarmvatten. För att inte för höga temperaturer ska uppstå i byggnaden måste braskaminens effekt vara låg, runt 1-3 kW och på marknaden idag finns idag ett mycket litet antal spisar som motsvarar den effekten (Janson, 2008). Vidare måste kaminen vara relativt tekniskt avancerad, jämfört en konventionell kamin. För att den inte ska avge för höga strålningsintensiteter kan den behöva vara vattenmantlad, ha en elektrisk fläkt som cirkulerar inomhusluften för uppvärmning, samt ett system som reglerar tilluft till elden och för bort förbränningsprodukter. Om kaminen till exempel eldas med pellets och förses med automatisk frammatning och tändanordning, bör även effektbehovet för denna funktion beaktas. Framförallt en automatisk tändanordning förbrukar mycket energi om den med korta intervaller måste tillföra energi för att tända kaminen (Tyréns AB, 2010).

Vilka konsekvenser kan tänkas uppstå om en enskild passivhusägare väljer att installera en öppen spis eller braskamin, eller till exempel vill lägga klinkers med golvvärme? Scenariot kanske förefaller osannolikt i ett fem år gammalt radhus eller en bostadsrätt, men är kanske desto mer troligt för ett fristående hus som är 15-20 år gammalt. Motivet för ett sådant scenario kan såklart diskuteras, men kan inte betraktas som osannolikt. Den enskilde individens spontanitet, drivkraft och/eller okunskap om sitt hus kan inte underskattas varpå det mycket väl kan tänkas uppstå. Resultatet av ett väl utfört arbete kan självklart resultera i något gott, det vill säga förhöjd termisk komfort och trivsel. Men om arbetet icke utförs fackmannamässigt, av en amatör eller hantverkare utan passivhuskunskap medför detta risker. Detta kan leda till för höga inomhustemperaturer, att kraven för effekt för uppvärmning överstigs samt att det finns risk för att husets täthet inte längre säkerställs. En ytterligare dimension vilken kan ställa till med problem avseende golvvärme, är den termiska trögheten. Även om en eventuell golvvärmes effekt faller inom kravet, bör det beaktas att ett hårt golv har en hög termisk tröghet. Om inte golvvärmes regleras noggrant

och medges att snabbt reagera på temperaturförändringar i byggnaden, finns risk för oönskad uppvärmning i och med att golvet kommer att fortsätta att bidra till uppvärmning en längre tid, trots att den är avstängd⁴.

Om inte husets ventilationssystem balanseras mot en öppen spis finns risk för att undertrycket i rummet leder till att rök och förbränningsprodukter sprids i rummet istället för att föras ut genom skorstenen (Janson, 2008). Vidare kan husets täthet innebära problem för tillförsel av frisk luft för förbränning till kaminen. I ett konventionellt hus förses en kamin delvis med frisk luft genom infiltration av luft genom fasaden. Ett passivhus medger inte denna typ av tillförsel av friskluft, varpå det i kan innebära att kaminen blir svår att elda i om inte andra åtgärder vidtas.

8.6 Vad händer om tätskiktet punkteras?

En av de enskilt viktigaste faktorerna som bidrar till passivhusets funktion, är dess lufttäta klimatskal. Då ett passivhus uppförs används som riktlinje att den maximala storleken på tätskiktens samtliga hål inte får överstiga ytan motsvarande snickarens två handflator. De vanligaste och viktigaste motiven till hög täthet är energibesparing, ökad komfort, ventilationskontroll och riskreducering avseende fuktskador. Energiförlusterna till följd av otäthet står i relation till hur ventilationssystemet är utformat i en byggnad och kan generellt sätt sägas öka proportionerligt med otätheten (Adalberth, 1998).

God lufttäthet i en byggnad kan uppnås på flera sätt och val av metod beror på vilken typ av konstruktion huset utgör. Puts på lättbetong, tegel eller betong kan skapa god lufttäthet i sig självt, men för en isolerad träregelkonstruktion måste ett speciellt tätskikt monteras. En vanligt förekommande metod för få god täthet är att montera ett lager UV- och åldersbeständig plastfolie på väggens varma sida (Adalberth, 1998). Var i väggen som tätskiktet placeras är viktigt, då det är känsligt och lätt kan punkteras.

8.6.1 Konsekvenser

För att ett hus ska få certifieras som passivhus måste dess täthet styrkas, vilket görs genom provtryckning varpå ett mått ges på det totala luftläckaget. Det finns flera goda exempel på passivhus som håller sin lufttäthet även efter en längre tid av användande, däribland det första tyska passivhuset som uppfördes i Darmstadt 1991 (Tyréns AB, 2010). Vid projektering av passivhus idag förespråkas att det täta skiktet ska monteras tillräckligt djupt (> 7 cm) för att det inte ska kunna skadas av brukaren när denne till exempel skruvar i väggarna, samt för att hantverkare ska ha utrymme för att dra installationer (Janson, 2008).

Att förutsätta att samtliga passivhus som byggts fram tills idag, samt de som kommer att byggas i framtiden kommer att hålla samma täthet som husen i Darmstadt kan vara vanskligt. För att husets täthet ska bestå genom hela dess livslängd krävs ett precisionsfyllt underhåll, vilket måste motsvara den kvalitet med vilket passivhuset uppfördes med från första början. Läckage i tätskik-

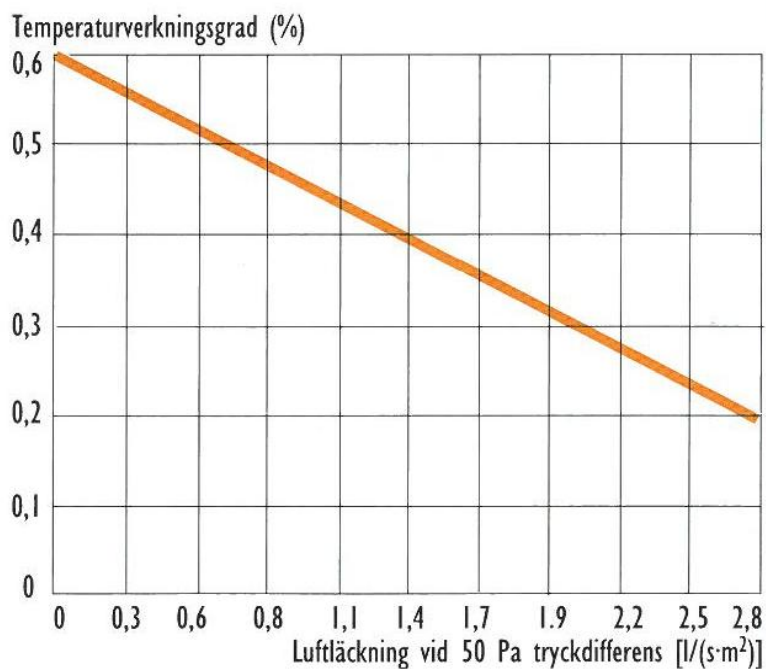
⁴ Andreas Behm Fredin, Tyréns AB, föreläsning Certifierad passivhusexpert, Tyréns AB, Malmö 3 juni 2010

tet kan uppstå av flera tänkbara anledningar. Om- och tillbyggnation, byte av fönster och/eller dörrar, draging av el- och vattenledningar kan med lätthet ge upphov till läckage om inte erforderlig tätning görs, vilket kräver både erfarenhet och kunskap. Vidare kan det vara relevant att fundera på hur tätskiktets funktion påverkas av interna rörelser i konstruktionen. I en byggnad med träregelkonstruktion kommer bärverk och reglar att röra sig beroende av variation i fukthalt och temperatur, vilket kan komma att påverka tätskiktet i dess infästning i konstruktionen. En ej genomtänkt lösning riskerar att leda till hål.

- » Vad händer med komfort och energiförbrukning om en brukare av ett passivhus byter till exempel en dörr och inte tätar infästningen så att täthetskravet uppfylls?

Ett punkterat tätskikt kan leda till konsekvenser inom flera olika områden:

- » Ett otätt klimatskal i en byggnad med ett FTX-system kommer leda till att värmeväxlaren tappar delar av sin funktion i och med att luft kommer läcka genom väggen (infiltrera) istället för att passera genom ventilationssystemet, där konsekvensen av detta kan ses i Figur 12 (Adalberth, 1998). Detta leder till ökade värmeförluster och minskade möjligheter till värmeåtervinning. Om husets är väldigt otätt kan ventilationssystemet få problem med att kontrollera ventilationen (Abel & Elmroth, 2008). För den boende finns risk både för försämrad komfort och ökade energikostnader.
- » Otätheter kan leda till drag från klimatskalet. Luftdrag är ett komfortproblem i sig, då redan mycket små lufthastigheter kan orsaka betydande värmeförluster för människokroppen (Hus & Hälsa, 2000). Om dragproblemen blir påtagliga kan det även få konsekvensen att brukaren kompenserar obehaget med att öka inomhustemperaturen, vilket leder till ökad energiförbrukning.
- » Ur fuktaspekten är luftläckage utifrån och in relativt ofarlig, då utomhusluften i regel är torrare än inomhusluften. Luftläckage inifrån och ut, så kallad exfiltration kan medföra betydligt större problem på grund av konvektion, då fuktig luft transporteras med en luftström. Då den fuktiga och varma inomhusluften möter en kallare yta i konstruktionen kan det uppstå områden med förhöjd relativ fuktighet, alternativt kondenserar vattnet i byggnadsdelen (Abel & Elmroth, 2008). En reva i ett tätskikt motsvarande 1 mm bred och 1 m lång kan orsaka fuktkonvektion motsvarande att 3-4 dl vatten hålls ut lokalt i konstruktionen varje dygn (Tyréns, 2010). Förhöjda fukthalter ökar bland annat risk för mögel och röta, vilket kan orsaka obehagliga dofter, öka nedbrytning av material samt att det kan bildas kemiska emissioner (Neovius, 1999). Detta kan i sin tur medföra komfort- och hälsorelaterade problem samt kostnader för reparation som kan härledas till oväntat underhåll.
- » Ett otätt byggnadsskal medger fuktdiffusion, vilket är vattenångans strävan efter att fördelas jämnt över till exempel en konstruktion, där ånghalten är olika på väggens olika sidor. Fuktransport genom diffusion är generellt avsevärt mindre än genom konvektion (Adalberth, 2008).



Figur 12 – En plattvärmeväxlares värmeåtervinningseffektivitet sjunker linjärt med en ökad otäthet i klimatskalet (Adalberth, 1998).

8.7 Vad händer om FTX-aggregatet slutar att fungera?

Den mekaniska från- och tilluftsventilationen med värmeåtervinning finns för att säkerställa god inomhustemperatur, ventilerar bort luftburna föroreningar och förse byggnaden med frisk luft. I en väldigt tät byggnad står detta system ensamt för en extremt viktig funktion. Komplexiteten i ett FTX-aggregat är inte så stor som det kan verka vid en första anblick. Men även om dess konstruktion är relativt enkel, så består det av rörliga delar som fläktar, samt mer passiva delar som filter och värmeväxlare. Dessa har en begränsad och varierad livslängd och kommer förr eller senare att behöva bytas, förmodligen flera gånger under byggnadens tekniska livslängd, vilket är ett argument för att detta är något som bör tas med i en fördjupad livscykelanalys (Blomsterberg, 2001). En ytterligare faktor att ta med i bedömningen är att FTX-aggregatet kommer att sluta fungera i händelse av strömavbrott, vilket kommer att påverka inomhusklimatet.

8.7.1 Konsekvenser

Om värme- och ventilationssystemet slutar att fungera kommer inomhusklimatet i ett passivhus att påverkas snabbt, oavsett om det slutar fungera på grund av slitage eller står still till följd av strömavbrott. Hur lång tid tar det att hitta en reparatör som kan avhjälpa problemet och hur långt strömavbrott kan tolereras utan att inomhusklimatet påverkar komforten? Att ge ett entydigt svar på dessa frågor beror förutom på byggnadens utformning på faktorer som årstid, möjlighet till vädring, alternativ uppvärmning, beteende och individens känslighet för klimatvariationer.

Temperaturmässigt är passivhuset bättre rustat för att hantera ett stopp i tillförd effekt för uppvärmning och tack vare husets termiska tröghet kommer det behålla värmen längre. Däremot kommer troligtvis alstringen av föroreningar i bostaden att vara ett större problem, då dessa inte förs bort som det är tänkt och inte ny frisk luft tillförs i den grad som huset är dimensionerat för. Självklart finns alltid möjligheten att vädra manuellt genom att öppna fönster och dörrar, men detta kan vara kritiskt under vinterhalvåret om det inte finns någon alternativ uppvärmningskälla.

8.8 *Vad händer om brukaren väljer sämre fönster eller dörrar vid renovering, på grund av ekonomiska skäl?*

Detta är inte en fråga som är specifik för ett passivhus, då dåligt skött underhåll är ett problem oavsett bostadstyp. Frågan kan emellertid få en annan betydelse för ett passivhus, där vissa byggnadsdelar och tekniska installationer är dyrare än i konventionella hus. Framförallt är dörrar och fönster med låga u-värden avsevärt dyrare, då efterfrågan fortfarande är relativt liten mot produkter som är mer passivhusspecifika. Till exempel är marknadspriset ungefär det dubbla för en ytterdörr med u-värde som uppfyller kravet (Janson, 2008).

8.8.1 Konsekvenser

Om det uppstår ett behov av att byta till exempel ett fönster eller en dörr, måste det kunna betraktas som sannolikt i en valsituation att en brukare av ekonomiska skäl väljer ett alternativ med sämre energiprestanda. Hur stor konsekvensen blir beror självklart på den nya delens energiprestanda, storlek och även hur väl arbetet utförs när det monteras. I passivhuset kommer konsekvensen av en enskild byggnadsdel procentuellt sett att bli större jämfört med ett konventionellt hus, eftersom det är så pass tätt och välisolerat. När u-värdet sänks och fönster och dörrar ges sämre isoleringsförmåga, ökar värmeförlusterna och således också effektbehovet för uppvärmning. Simuleringar visar att om samtliga fönster i en lägenhet i passivhusen i Lindås skulle bytas från u-värde 0,85 till 1,2 W/m²·K så ökar effektbehovet för uppvärmning med 9 %. Fönster utan lågenergiegenskaper har u-värde i storleksordningen 1,2 – 1,7 W/m², vilket kan ge en ökning runt 25 % i extrema fall (Tegvald & Undén, 2006).

Ovanstående resonemang kan även komma att orsaka konsekvenser avseende inomhusmiljön. Då ytor utförs med sämre isolerande egenskaper finns risk för att det uppstår en strålningsasymmetri i rummet, vilket innebär att ytor upplevs som olika behagliga. Från en sämre isolerad byggnadsdel uppstår då problem med kallstrålning, vilket kan innebära att vistelsezonen i rummet minskar. Människan tenderar till att känna obehag om temperaturdifferensen mellan olika ytor överstiger fyra grader (Tyréns AB, 2010).

Det är inte bara fönstret och dörrens termiska egenskaper som är relevanta, utan även hur de ska monteras. Att uppnå god lufttätethet vid infästningen mot ett fönster kan vara extra svårt, eftersom fönsterkarmen inte ligger i samma plan som plastfilmen (Abel & Elmroth, 2008). Om erfarenhet av detta saknas hos hantverkaren, alternativt om hemmafixaren väljer att göra det själv, finns risk för att det skapas otätheter med luftläckage och energiförluster som följd (Adalberth, 1998).

8.9 Ytterligare frågor för framtiden

Nedan ställs ytterligare frågor för framtida utredning.

- » Vad händer om framtidens hushållsapparater förbrukar så pass lite energi att minskningen i spillvärme blir markant?
- » Vad händer om brukaren gör ändringar i klimatskalet?
- » Vad händer om den tekniska utrustningens underhåll inte sköts enligt tillverkarens föreskrifter?
- » Vad händer om en byggnadsdel utförs med för högt u-värde?
- » Vad händer om det uppstår ett läckage i solcellsystemet?
- » Vad händer om brukarens varmvattenanvändning avviker från det dimensionerande?
- » Vad händer om brukaren använder ej energiklassade hushållsapparater och belysning?
- » Vad händer om rörliga jalousier eller dylikt för solskydd används fel?
- » Vad händer om ventilationssystemet är feldimensionerat?
- » Vad händer om ventilationssystemets bypassfunktion inte fungerar?
- » Vad händer om det uppstår köldbryggor
- » Vad händer om det uppstår stora temperaturskillnader mellan olika rum?
- » Vad händer om huset blir så välisolerat att de interna ljuden upplevs som störande?
- » Vad händer om förvärmningsbatteriet slutar fungera?
- » Vad händer om brukaren upplever att huset ställer för höga krav på precision och tekniskt kunnande?
- » Vad händer om inomhusluftens fukthalt blir för hög eller låg?
- » Vad händer om byggnadsmaterial ger upphov till ohälsosamma emissioner?
- » Vad händer om brukaren vill göra en tillbyggnad?
- » Vad händer om brukaren vill sätta in fler fönster?
- » Vad händer om 25, 50, 75 och 100 år?
- » Vad händer om den totala fönsterytan är feldimensionerad och/eller felorienterad?

8.10 Fler faktorer som kan tänkas inträffa samtidigt

För en vidare diskussion om robusthet i passivhuskonceptet är det relevant att ställa ytterligare frågor i kombination med dem ovan. Vad händer till exempel avseende komfort och energiförbrukning om den boende önskar en hög komforttemperatur i kombination med att:

- » Det uppstår en längre tid av kraftigt avvikande utomhustemperaturer?
- » Klimatskalet (till exempel dörr/vägg/golv) inte håller föreskriven isoleringsförmåga, efter renovering eller ombyggnation?
- » Det uppstår problem med täthet i tätskikt eller vid infästningar kring fönster och dörr?
- » FTX-aggregatets verkningsgrad är sämre än angivet av tillverkaren eller går sönder och orsakar driftstopp?
- » Antalet individer avviker från det dimensionerande antalet?

För ett fortsatt arbete kan resultatet av felträdsanalysen användas för att diskutera sannolikhet och konsekvenser av att två eller flera bashändelser inträffar samtidigt. När så sker, kommer risken för topphändelsen att öka.

8.11 Diskussion av frågor av annan karaktär

Ett passivhus kräver nästintill felfritt byggande, men vilka krav ställs på hur underhållet ska skötas? Vilken precision krävs här och hur ska den kunna uppnås utan att kritiska funktioner förstörs av okunskap, ointresse eller ekonomiska skäl? Vilken grad av normalt underhåll som behövs är beroende av faktorer som typ av konstruktion, ytskikt och fönster, men även klimat, brukare och skötsel. Konstruktionens olika delar har alla olika livslängd och hur lång den faktiskt blir varierar.

8.11.1 Hur många människor är inblandade i skötsel av ett hus under dess livslängd och hur säkerställs den kvalitet som krävs?

Vilka möjligheter har en enskild brukare att göra ingrepp och bedriva normalt underhåll av sitt passivhus? Att renovera sin bostad är i Sverige lite utav ett folknöje med starka traditioner, varpå det är ett rimligt antagande att brukaren kommer vilja fortsätta med detta även om bostaden är ett passivhus. Sett till hela byggnadens tekniska livslängd kommer totalt sett ett flertal individer vara inblandade i skötseln av huset. I dagsläget i Sverige byggs passivhus främst av hantverkare som handplockats för uppdraget och som genomgått kortare utbildning för att säkerställa kvalitet vid uppförandet. Det finns till och med exempel på projekt där hantverkare omplacerats, eftersom det visat sig att de inte klarat att uppfylla de krav på precision som passivhusbyggandet kräver (Janson, 2008). Hur ska då hemmafixaren att klara av att bedriva normalt underhåll, utan att riskera att husets funktion på något sätt förstörs? Oavsett vem som sköter underhållet, så kommer det krävas en hög grad av precision och medvetenhet för att inte förstöra husets täthet i vägg och vid infästningar.

Ett enkelt räkneexempel kan användas för att diskutera problematiken. Lek med tanken att 10 personer är inblandade i någon form av viktigt underhåll av en byggnad under dess tekniska livslängd. Även om det går att säkerställa att var och en av de personerna kommer att utföra ett felfritt arbete med 95 % sannolikhet, så är den totala sannolikheten att alla 10 personerna kommer att genomföra ett felfritt arbete, runt 60 %⁵. Därmed inte sagt med detta räkneexempel att varje fel som uppstår kommer få en kännbar konsekvens, men det visar på svårigheten i att säkerställa precision.

8.11.2 Kommer det att finnas passivhuscertifierade hantverkare i framtiden?

För att möta efterfrågan och samtidigt säkerställa att underhåll sköts på rätt sätt, är det troligt att det kommer att uppstå en efterfrågan av hantverkare som specialiserat sig mot att arbeta mot passivhus. Detta är ett bra steg i en riktning som medger att passivhusbrukaren kan säkerställa att underhållet av deras byggnad sköts på rätt sätt. Däremot kan det emellertid även öppna sig en marknad för oseriösa hantverkare som utger sig för att ha kompetens för att jobba med passivhus, utan att de för den sakens skull sitter på den kunskap som krävs. En entreprenör med bristande kunskaper om vilken precision som krävs vad gäller detaljarbete i passivhuset, riskerar att ställa till lika mycket skada som en oerfaren hemmfixare, vilket borde motivera en passivhuscertifiering av hantverkare. Frågan är vem som ska få utfärda ett sådant certifikat, hur en utbildning ska utformas och vem som ska ansvara för den. Så som passivhusen byggs idag är kraven från FEBY hårt ställda, och här ligger det ett ansvar på det forum som formulerar specifikationen, att också öppna upp och arbeta med en långsiktig plan även för hur underhållet ska skötas. För att passivhuskonceptet ska kunna betraktas som energieffektivt måste i sin tur resurserna som avgår för skötsel och underhåll stå i proportion till den totala energibesparingen (Abel & Elmroth, 2008). Här är kostnaderna för underhållet av passivhuset relevant, vilket bör räknas med i en fördjupad livscykelanalys. Än mer relevant blir det om en passivhuscertifierad hantverkare tar en högre taxa för sin specialinriktning, vilket det finns risk för om efterfrågan är stor.

8.11.3 Hur åldras tätskiktet?

Som diskuterats tidigare, så är passivhusets täthet en förutsättning för att uppnå god termisk komfort och att hushålla med energi. Men vad händer med tiden? Vilken livslängd har de så kallade åldersbeständiga plastfilmerna och vad innebär detta för passivhuset? Enligt Romild⁶ är åldersbeständig inget definierat begrepp, vilket innebär att det kan innebära allt från fem minuter till 50 år. Den så kallade P-märkningen av byggfilm eller luft- och ångspärr som SP tillhandahåller är testade för att vara beständiga i minst 50 år i dess tänkta användning. Denna typ av tester baseras på tekniker för påskyndat åldrande och tätskikten har således inte testats för hela den planerade livslängden i en konstruktion som är typisk för i vilken den förväntas lösa sin uppgift.

⁵ $0,95^{10}=0,598 \approx 60 \%$

⁶ Jörgen Romild, Polymerteknik, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 27 maj 2010.

Hur säkerställs tätskiktets åldersbeständighet genom husets tänkta livslängd? Vad händer om tätskiktet är uttjänt och inte kan säkerställa sin funktion innan husets tekniska livslängd är uppnådd? Går det att identifiera var läckagen finns och hur stort ingrepp krävs för att säkerställa tätheten på nytt? Om det uppstår läckage i byggnaden kommer det orsaka konsekvenser avseende komfort, ökad energiförbrukning och risk för fuktskador (Abel & Elmroth, 2008). Vad händer med ett plastbaserat tätskikt när den tekniska livslängden når sitt slut och vilka konsekvenser får detta för byggnaden? Har passivhuset då nått sin funktionella och tekniska livslängd?

8.11.4 Hur säkerställs en god kunskapsnivå för brukaren?

Vidare bör det i den långsiktiga planen avseende passivhusets framtid framgå någon typ av plan för utbildning och information till brukaren om vilken precision underhållet kräver och vilka faktorer som är mer känsliga än andra. I dagsläget så är det vanligt att nyinflyttade i passivhus, åtminstone flerbostadshus som ägs och förvaltas av en andra part, får information om de tekniska systemen och vilket beteende som förväntas för låg energiförbrukning. Dock pekar flera boendeundersökningar på att denna information är bristfällig (Boström et al. 2003; Lüddeckens & Samuelsson, 2009). Den information som åsyftas här avser beteende för att aktivt jobba med en sänkt energiförbrukning. Likväl som det bör åligga FEBY ett visst ansvar att skriva riktlinjer för hantverkare, bör det finnas information till hands för enskild brukare och förvaltare av ett privatägt passivhus för att möjliggöra att byggnaden sköts på rätt sätt. I en förlängning av detta resonemang kan det vara relevant att ställa frågan, om den typen av information ens ska behöva finnas i en robust boendeform.

8.11.5 Vilka krav ställs på dokumentation av ändringar som genomförs?

Under hela byggnadens livslängd kommer den att utsättas för underhåll och ändringar, enligt resonemangen ovan. Hur kommer passivhuscertifieringen påverkas av att det genomförs underhåll och eventuella ändringar i byggnadens uttryck? Vid byte av byggnadsdelar eller teknisk utrustning som är specifika för passivhuset, är det rimligt att anta att samma krav ställs på dessa som vid uppförandet, för att huset inte ska tappa sin funktion avseende energi och komfort. Då passivhuscertifieringen på många sätt är ett varumärke för att säkerställa kvalitet och komfort, finns risk för att byggnaden tappar marknadsvärde om inte dess funktion kan dokumenteras och säkerställas genom en rimlig teknisk och funktionell livslängd. Det säger sig självt att ägaren av byggnaden har ett stort ansvar för att upprätthålla byggnadens funktion och kunna visa det vid en eventuell försäljning. Hur ska den typen av dokumentation utformas och vad är det rimligt att den ska innehålla? Detta resonemang leder per automatik till nästa fråga.

8.11.6 Vilka krav ställs på säljare, köpare, mäklare och besiktningsman vid försäljning av ett passivhus?

Även om passivhusprojektörer och konstruktörer strävar efter att skapa enkla lösningar, så är denna typ av byggnader i större grad än en konventionell byggnad, beroende av vissa faktorer för att säkerställa dess funktion. Således kommer även ett enkelt passivhus i någon grad att vara mer komplext än ett konventionellt hus. Vad kommer detta att innebära vid köp och försäljning av passivhus? Vilken innebörd får begrepp som till exempel dolda fel och undersökningsplikt avse-

ende passivhus? Vilket ansvar för husets prestanda faller på säljaren inför säljstart för att kunna få kalla det passivhus? Vilken undersökningsplikt har köparen och vilket ansvar ligger på mäklare och besiktningsman? Om inte byggnadens funktion kan säkerställas och dessutom påvisas vid försäljning, är det rimligt att stor del av marknadsvärdet försvinner.

9 Avslutning

Slutsatser och svar på uppställda hypoteser i denna rapport utgörs av kvalitativa resonemang vilka baseras på resultatet från felträds- och what if-analys i avsnitt 7 och 8. Strävan är genomgående att styrka resonemang och konsekvensbeskrivningar med etablerad litteratur och vetenskapliga publikationer. Likaså är det författarens avsikt att genomgående i rapporten vara objektiv och enbart värdera konsekvens och sannolikhet ur aspekten vad som är bäst för samhället i stort. Detta avslutande kapitel är emellertid färgat av författarens åsikt, då den kvalitativa analysens måste värderas för att ge svar på frågeställningar och hypoteser.

9.1 Återkoppling till problemställning

Rapportens övergripande frågeställning är: *Vilka risker finns med framtidens energieffektiva byggande?* Något entydigt svar på denna fråga kan inte sammanfattas här. Svaret återfinns som ett utvecklat resonemang i resultatdelarna i kapitel 7 och 8, samt i avsnitt 9.2 nedan där uppställda hypoteser besvaras. Nedan redovisas sammanfattande svar på de övergripande delfrågorna.

9.1.1 Vilka faktorer kan leda till att energianvändningen överstiger de som är angivna i FEBYs kravspecifikation?

Analysen visar att energianvändningen är starkt kopplat till mänskligt beteende. De faktorer som inverkar mest är beteenderelaterade, där val av inomhustemperatur är en viktig parameter. Vidare är byggnadens lufttäta konstruktion en nyckelfunktion och om denna inte kan säkerställas, finns risk för att energiförbrukningen överstiger rekommendationerna. Ett utvecklat resonemang avseende problem med byggnadens täthet återfinns i avsnitt 8.6.

9.1.2 Vilka faktorer kan leda till att brukaren upplever oacceptabla komfortproblem?

Att byggnaden inte medger att upprätthålla brukarens önskade inomhustemperatur är troligtvis den största risken, vilket i värsta fall kan leda till ett utbrett missnöje. Om brukaren påverkar byggnadens lufttäta konstruktion så att läckage uppstår, ökar risken för problem med drag, temperaturreglering samt sannolikheten för att fuktrelaterade skador ska uppstå. Ett utvecklat resonemang avseende brukarens val komforttemperatur finns i avsnitt 8.1.

9.1.3 Kan byggnadens prestanda säkerställas genom hela dess livslängd?

Då ett passivhus inte har någon specificerad livslängd bör dess hållbarhet bedömas som hus i allmänhet, det vill säga minst 50 år. Det är ett faktum att det kvarstår många frågetecken kring håll-

barheten i passivhusets olika systemdelar, där byggnadens täthet troligtvis är den mest kritiska funktionen. Om inte passivhusets lufttäta konstruktion kan garanteras under byggnadens livslängd kan troligtvis inte heller dess energiprestanda säkerställas.

9.2 Svar på hypoteser

I avsnitt 1.7.1 formulerades tre hypoteser, vilka diskuteras och besvaras nedan.

- 9.2.1 Ett passivhus ställer krav på nästintill felfritt byggande då det uppförs, vilket även ställer krav på nästintill felfritt brukande
- » En del av passivhusets styrka ligger i dess höga grad av precision i detaljutförandet då det konstrueras. Om inte denna detaljsäkerhet kan säkerställas under brukstiden, kan emellertid inte heller dess prestanda garanteras. Sett ur ett samhällsperspektiv bör det betraktas som lika sannolikt att underhållet sköts felfritt, som att det missköts fullständigt, oavsett om det sköts av brukaren eller en fackman.
 - » Vid byte av till exempel värmeväxlare eller fönster krävs att de nya delarna har minst lika god prestanda som när huset var nytt. För att bibehålla byggnadens prestanda krävs precision, kunskap, engagemang samt god ekonomi, oavsett om brukaren väljer att göra ändringarna själv eller att anlita en fackman.
 - » För att brukaren ska kunna uppnå god komfort och klara effektkraven bör denne ha en hög grad av medvetenhet samt ett engagemang som inte kan förväntas av ett tvärsnitt av befolkningen.
 - » Författarens bedömning är att hypotesen kan verifieras.
- 9.2.2 Så som ett passivhus utformas idag kan komfort och energieffektivitet under dess livslängd inte garanteras då det nyttjas av en brukare som motsvarar ett tvärsnitt av befolkningen
- » I dagsläget finns ingen definierad teknisk livslängd för ett passivhus, vilket gör hypotesen svårbedömd.
 - » Om ett passivhus antas ha samma tekniska livslängd som ett hus byggt med konventionell teknik, kan det inte uteslutas att det under denna tid på grund av underhåll, ombyggnad eller en annan oförutsedd olycka, kan påverkas på ett sätt som förändrar prestandan negativt. Även om en huvuddel av befolkningen kan förväntas sköta sitt passivhus med hög precision, bör det beaktas att även motsatsen är minst lika sannolikt.
 - » Författarens bedömning är att hypotesen kan verifieras.
- 9.2.3 Ett passivhus kan inte betraktas som robust
- » Ur energiförbrukningsaspekten är ett passivhus känsligt för mänskligt beteende. Redan vid väldigt låg grad av okunskap eller ointresse hos brukaren finns risk för att energi-

förbrukningen överstiger dem angivna i FEBYs kravspecifikation. En lösning som kräver en hög grad medvetenhet och snabbt ger negativt utslag vid felhandlande, kan inte betraktas som robust. Detta bör gälla även då byggnaden följer riktlinjerna enligt energieffektiviseringsstrappan vilken redogörs för i avsnitt 3.2.1.

- » Byggnadens lufttäta konstruktion är troligtvis den enskilt viktigaste funktionen i ett passivhus, och det är även en av de känsligaste. Ett punkterat tätskikt riskerar att påverka både energiförbrukning och komfort, samtidigt som det kan ge fuktrelaterade konsekvenser för såväl byggnad som människa.
- » Avseende komfortrelaterade problem kvarstår i dagsläget flera frågor om hur passivhusets inomhusklimat kommer tas emot av en bred population. Så som passivhus dimensioneras idag tas liten hänsyn till den naturliga variation avseende behov för komfort som finns i en population.
- » Passivhuskonceptet ska inte ses som energistandard, utan som ett koncept för minskad energiförbrukning med bibehållen komfort. Trots detta är det författarens uppfattning att passivhusen alltmer ofta i media framställs som lösningen på problemen kring önskad energiförbrukning för europeiska hushåll. Om inte uppsatta energimål kan säkerställas för ett stort antal byggnader i en blandad population, samtidigt som byggnaden är användarvänlig och medger hög komfort, riskerar det att skapa stort missnöje.
- » Författarens bedömning är att hypotesen kan verifieras. Ett passivhus kan inte betraktas som robust.

9.3 *Redundans, resiliens och robusthet*

Passivhuskonceptet syftar till att konstruera byggnader med minskad energiförbrukning och med bibehållen komfort. Då strävan är att hushålla med resurser och skapa ett hållbart boende som minimera energiförbrukningen, kan det betraktas som ett redundant system som bidrar till samhällets robusthet. Som enskilt system bör ett passivhus antas ha relativt låg grad av redundans då det är starkt beroende av de enskilda delsystemen.

Begreppet resiliens beskriver ett systems förmåga att motstå störningar, samt att inom en given tid och till en acceptabel kostnad återhämta sig till normaltillståndet. Ett passivhus har troligtvis högre förmåga att motstå förändringar i till exempel utomhustemperatur än en konventionell byggnad, främst tack vare dess isoleringsförmåga, täthet och värmeåtervinnig. Resultat av felträdsanalysen ger emellertid en mer nyanserad bild, där passivhusets energieffektivitet och komfort uppvisar ett starkt beroende till flera funktioner. Vid fel i ett eller flera av systemets delar finns risk för att det uppstår skador i konstruktion samt att det skapar missnöje hos brukaren. Vidare är troligtvis kostnaden högre för att byta systemdelar i ett Passivhus, än i en konventionell byggnad.

För att uppnå robusthet krävs en god balans mellan resiliens och redundans. Så som ett passivhus utformas idag, bör inte konceptet kunna betraktas som robust. Bland de främsta anledningarna

till detta påstående, står dels argumentet avseende att byggnadens prestanda är kraftigt beroende av att det mänskliga agerandet är korrekt. Dels att det kvarstår många frågetecken kring dess hållbarhet och förmåga att leverera god komfort till en låg energikostnad, över en förväntad livslängd.

9.4 *Avslutande diskussion*

9.4.1 Förkunskaper

Författarens förkunskaper avseende konstruktion, installation, energiberäkningar och byggnadsfysik kan i visst hänseende ses som en brist. Detta är en av anledningarna till att analysen genomförts kvalitativt, och att delar som egentligen förtjänar en djupare granskning, endast diskuteras övergripande. I ett annat hänseende bör författarens bristande sakkunskaper vara en styrka, vilket ger en möjlighet att ifrågasätta metoder och dra slutsatser utan förutfattade meningar.

9.4.2 Använda analysmetoder

Rapportens problemställning är av en mycket allmän karaktär och som inte kan besvaras entydigt, vilket heller aldrig varit avsikten. Målet är att skapa en kunskapsöversikt och sammanställa och diskutera frågeställningar som påverkar passivhusets prestanda. För detta ändamål lämpar sig what if-analysmetoden väl, trots att detta användningsområde faller utanför det vad som kan betraktas som normalt.

Även felträdsanalysen används på ett sätt som avviker från det normala användningsområdet. Att konstruera så stora felträd som gjorts i denna rapport är egentligen inte rekommenderat, då omfattningen i sig självt gör resultatet svårt att tolka (Nystedt, 2000). Felträdsanalysen genomförs emellertid för att skapa en struktur och studera hur olika delar i systemet samspelar. Att skapa denna översikt är mer eller mindre en nödvändighet för att förstå systemets funktion.

9.4.3 Robusthetsbedömning

Analysen av passivhusets robusthet resulterar i ett kvalitativt resonemang och resultatet bör betraktas som en bedömning från författarens sida. Robusthet är en godtycklig storhet som kan definieras på flera sätt och genom att använda ett system med olika indikatorer, kan mätbarheten ökas. Detta kräver en definition av robusthet som är specificerad för systemet som ska analyseras, där dess leveransförmåga bedöms givet ett specifikt tillstånd (ÖCB, 2000) vilket tyvärr inte kunnat göras inom ramen för denna rapport.

9.5 Rekommendationer för framtida arbete

För att vidareutveckla passivhuskonceptets robusthet redovisas nedan rekommendationer för ett fortsatt arbete.

9.5.1 Hantering av osäkerheter och statistiska data vid projektering

En generell rekommendation är att utveckla metoder för att aktivt arbeta med osäkerheter vid projektering av passivhus. Vid till exempel energiberäkningar kan val av inomhustemperatur, bostadsarea/person och antal soltimmar beskrivas med statistiska fördelningar istället för medelvärden. På så sätt kan hänsyn tas till exempel till en naturlig variation eller felfrekvens och verkansgrad för teknisk utrustning. Genom statistiska datorsimuleringar med till exempel programvara som @Risk som baseras på Monte Carlo-metoden, kan sannolikheten för ett visst utfall bedömas, samtidigt som osäkerheterna i beräkningarnas indata beaktas (Palisade, 2002). En väl genomförd analys enligt denna metod skulle till exempel kunna svara på frågan om hur sannolikt det är att nå ett visst effektkrav för uppvärmning, givet en önskad inomhustemperatur.

9.5.2 Definiera passivhusets livslängd

För att ett fortsatt arbete med robusthet är det relevant att specificera vilken livslängd som huset konstrueras mot. Den planerade tekniska livslängden ska redogöra för vilken tid passivhuset kan förväntas leverera god komfort till låg energiförbrukning, samt vilka åtgärder som är nödvändiga för att bibehålla prestandan under denna tid. Vidare bör denna definition specificera krav avseende livslängd för systemets olika delar, så att underhåll och skötsel kan planeras därefter. Det är kanske till exempel inte är försvarbart med ett byte av ett FTX-system med sänkt verkningsgrad på grund av åldersslitage när byggnaden är 40 år gammal, om tätskiktets hållbarhet inte längre kan säkerställas.

Ur ett konsumentperspektiv är en definition av teknisk livslängd en viktig garantistämpel. Här finns för projektören en möjlighet att visa en plan för hur länge byggnaden är ändamålsenlig som ett lågenergihus, men även på vilket sätt det kan användas om det inte längre uppfyller till exempel krav på täthet och energiförbrukningen överstiger den rekommenderade.

Om det, rent hypotetiskt, visar sig vara svårt att upprätthålla byggnadens energieffektivitet i mer än 30 år, måste det finnas en plan för hur byggnaden ska kunna användas som bostad även efter detta. Konstruktionen kan till exempel kanske förväntas vara hållbar dubbelt så lång tid som den klarar effektkraven, vilket i sin tur kan innebära att ytterligare installationer måste göras.

9.5.3 Hitta andra styrmedel för att begränsa använd effekt än att begränsa effekten självt.

Idag ligger stort fokus vid projektering av passivhus, på att minimera den installerade effekten för uppvärmning. Det är lätt att få intrycket av att det ligger prestige i att konstruera en boendeform med minimalt installerad effekt, bara för att visa att det är möjligt. Bevisligen är det möjligt, eftersom det idag finns passivhus i Sverige med nöjda brukare, men det finns en risk att dessa inte representerar ett tvärsnitt av populationen. När den installerade effekten minimeras begränsas

även individens handlingsutrymme att skapa ett skraddarsytt boendeklimat som passar denne. För att uppnå god robusthet bör inte begränsningarna ligga i byggnadens fysiska uttryck, utan istället bör andra styrmedel och metoder utvecklas för att uppmuntra och belöna ett beteende som sänker energiförbrukningen. Vidare finns en risk för att det utvecklas ett utbrett missnöje om inte individen upplever att det finns handlingsfrihet och utrymme att påverka miljön i den egna bostaden.

9.5.4 Utveckla en plan för robusthet

Denna rapport diskuterar en rad frågeställningar kopplat till skötsel och underhåll. Analysen visar att ett passivhus är känsligt för mänskligt beteende vid såväl daglig drift som då om- och nyinstallationer av olika byggnads- och systemdelar ska genomföras. Likväl som det idag utvecklas metoder för hur passivhus ska konstrueras, bör det utvecklas planer och metoder för att säkerställa att underhåll sköts på ett sätt som säkerställer prestanda över tiden. Här åligger det utvecklare, projektörer och byggherrar ett ansvar att skapa ett koncept som sträcker sig förbi ett färdigbyggt hus. Passivhuskonceptet bör kunna betraktas som robust först när en trovärdig plan med instruktioner för skötsel och underhåll för hela livslängden presenteras.

En sådan robusthetsplan bör innefatta instruktioner för både kortsiktigt och långsiktigt underhåll, där det tydligt framgår vad som förväntas av brukaren och vilken precision som krävs. Den kan till exempel förtydliga vilka funktioner som är kritiska för att säkerställa god komfort och låg energiförbrukning och vad som måste göras för att bibehålla detta. Därmed inte sagt att det bör skapas en manual med skriftliga instruktioner till brukaren, som denne kan vända sig till för att söka svar. Men i och med passivhuskonceptet i visst hänseende innebär ett nytt sätt att bo, jämfört med hur en majoritet av Sveriges befolkning bor idag, bör det åligga initiativtagarna ett ansvar att planera för en framtid från det att passivhuset är färdigbyggt.

I rapporten *Den tekniska infrastrukturens sårbarhet, funktion och säkerhet – TIS* (ÖCB, 2000) föreslås att tre frågor ställs för att fånga olika aspekter:

- » Robusthet mot vad?
- » Robusthet för vem?
- » Robusthet på vilket sätt?

Vidare rekommenderas även rapporten *Robusthet som resultatbegrepp – Naturekonomisk modellering av grannskap*, FOA (1998), ISSN 1104-9154, vilken ger en bra översikt i hur robusthet kan bedömas. De båda rapporterna från ÖCB och FOA har ett fokus på samhällsnivå, men förmedlar ett tänk som kan vara användbart på betydligt fler nivåer.

9.5.5 Samspel mellan människa och teknik

Ett passivhus är kortfattat en byggnad med god lufttätethet, hög grad av isolering samt med mekanisk ventilation med värmeåtervinning. Det är således i visst hänseende inte att betrakta som något tekniskt avancerat, jämfört med mycket annat som människan omger sig med. Trots detta, kan det finnas en poäng i att inom ramen för passivhuskonceptet, i framtiden arbeta med att fo-

kusera på samspelet mellan människa och teknik. Även om ett passivhus kräver relativt lite förändrat beteende, kan det om det inte hanteras på ett bra sätt innebära att det tas emot med skepsis. Ett sätt att minska risken för detta kan vara för att utveckla konceptet, jobba aktivt med att studera människan i samspel med den eventuella beteendeförändring som passivhuset kräver.

Det finns idag forskning som fokuserar på hur människan samverkar med sin närmiljö, tekniska produkter och system, där kunskaperna används för att utforma produkter och miljöer. Målet med sådan forskning är att främja till exempel hälsa, prestanda och hållbarhet. Genom att använda denna typ av forskning kan passivhuskonceptet vidareutvecklas för att skapa en hållbar boendeform som människan känner sig bekväm i. Forskningen kan även användas för att förstå mänskligt felhandlande och skapa miljöer och system som ökar driftsäkerheten och även energi-prestandan.

För vidare läsning avseende människa och teknik samt mänskligt felhandlande rekommenderas litteratur av den brittiska läkaren och patientsäkerhetsforskaren James Reason, till exempel artikeln *Human error: models and management* (2000) *BMJ*, Vol. 320, s. 768-770. Reason fokuserar mycket på organisatoriska fel som leder till olyckor, men ger även en nyanserad bild av mänskligt agerande i olika situationer.

10 Litteraturförteckning

- Abel, E. & Elmroth, A. (2008). *Byggnaden som system. 2.*, rev. uppl. Stockholm: Formas.
- Adalberth, K. (1998). *God lufttätthet: en guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer*. Stockholm: Byggeforskningsrådet.
- Bagge, H., Hiller, C. och Sjögren, J-U (2005). *Hushållsel i direktiv, beräkningar och verklighet*. Borås, Lund och Umeå: Lunds tekniska högskola, SP och Umeå universitet.
- Beckomberga passivhus: erfarenheter från ett bostadsprojekt, de första passivhusen med bostadsrätter i Stockholm*. (2009). Stockholm: Brunnberg & Forshed arkitektkontor.
- Blomsterberg, Å. (2001) Livscykelanalys av ventilationssystem görs alltför sällan. *Energi och miljö* (nr 5).
- Boqvist, A (2010). *Passive House Construction- Symbiosis between Construction Efficiency & Energy Efficiency*. Licentiatavhandling Rapport TVBK-1040, Lund: Lunds universitet, 2010.
- Boström, T., Glad, W., Isaksson, C., Persson, M-L. och Werner, A. (2003). *Tvåvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg*. Arbetsnotat Nr 25. Linköping: Linköpings universitet.
- Bättre koll på underhåll*. 1. uppl. (2003). Karlskrona: Boverket
- Eek, H. och Olsson, M (1996). *Energisnåla hus med liten negativ miljöpåverkan, förstudie*. Göteborg : FoU-VÄST.
- Ejvegård, R (2003). *Vetenskaplig metod*. 3., omarb. uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Europeiska rådet (2010-01-13). *Energieffektivitet: bindande regler och smartare val*. (elektronisk) Hämtad: <http://www.consilium.europa.eu/showFocus.aspx?id=1&focusId=427&lang=SV> (2010-01-13).
- FEBY (2009a). *Kravspecifikation för Passivhus*. Alingsås: Forum för energieffektiva byggnader.
- FEBY (2009b). *Metodrapport – Underlag för kriteriedokument, rapportering till Energimyndigheten*. Alingsås: Forum för energieffektiva byggnader.
- FEBY (2010). *Forum för energieffektiva byggnader* (elektronisk). Hämtad: <http://www.energieffektivbyggnader.se/vanstermeny/omforumet.4.4a4d22a41128e56161b80001306.html> (2010-06-09).

Finnveden bostäder (ej daterat). *Några frågor om Ditt inomhusklimat. Energi*. Enkätssammanställning. (elektronisk) Hämtad:

<http://www.energieffektivbyggnader.se/download/18.2f3a7b311a7c8064438000688145/enk%C3%A4tsvarvinterenk%C3%A4t+2007.pdf> (2010-06-11)

Gross, H. (2008). *Energismarta småhus: vägledning och råd till byggherrar, arkitekter och ingenjörer*. Stockholm: Gross produktion i samarbete med Villaägarnas riksförbund.

Janson, U (2008). *Passive houses in Sweden: experiences from design and construction phase*. Licentiatavhandling, Rapport EBD-T--08/9, Lund : Lunds universitet, 2008.

Haimes Y., (2009). On the Definition of Resilience in Systems. *Risk Analysis, Vol. 29* (Nr. 4) s. 498 – 501.

Hus & hälsa. 1, Människors hälsa och innemiljön. (2000). Stockholm: Byggeforskningsrådet

Kaplan, S. (1997). The Words of Risk Analysis. *Risk Analysis, Vol. 17* (Nr. 4), S. 407--417.

Kemikontoret (1987). *Säkerhetsgranskning: en vägledning för skadeförebyggande och skadebegränsande arbete vid industriell kemikaliehantering*. Stockholm.

Lüddeckens, T. och Samuelsson, M (2009). *Passivhus ur en brukares perspektiv*. Rapport TD 010/2009, Växjö: Växjö universitet.

Neovius, P (1999). *Bygg friskt! Undvik radon, elektromagnetiska fält och skadliga kemiska emissioner*. Stockholm: Svensk byggtjänst.

Nilsson, Per-Erik (2000). *God inomhusmiljö*. Borås: SP

Nystedt, F (2000). *Riskanalysetoder*. Rapport 7011 Brandteknik, Lund: Lunds universitet.

O'Donnell, E. (2005). Enterprise risk management: A systems--□ thinking framework for the event identification phase. *International Journal of Accounting Information Systems* , Vol. 6 (Nr. 3), 177-195.

Palisade, *@RISK – advanced risk analysis for spreadsheets*, v. 4.5, Palisade Corp, 2002.

Renn, O. (1998). The role of risk perception for risk management. *Reliability Engineering and System Safety* , Vol. 59 (nr 1), s. 49-62.

Ruud, S. och Lundin, L. 2004. *Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem - Resultat från två års mätningar*. SP Rapport 2004:31. Borås: SP.

Passivhuscentrum (2010) *Vad är passivhus?* (elektronisk) Hämtad: <http://passivhuscentrum.se/passivhus.html> (2010-06-01).

Så mår våra hus: redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.. 1. uppl. (2009). Karlskrona: Boverket.

Tegvald, E och Undén, E. 2006. *Studier av energibehov i energieffektiva radhus i Lindås*. Rapport TVIT-06/5010. Lund: Lunds tekniska högskola.

Tyréns AB (2010). *Utbildning internationellt certifierad passivhusexpert*. Utbildningsunderlag, Certified European Passive House Designer.

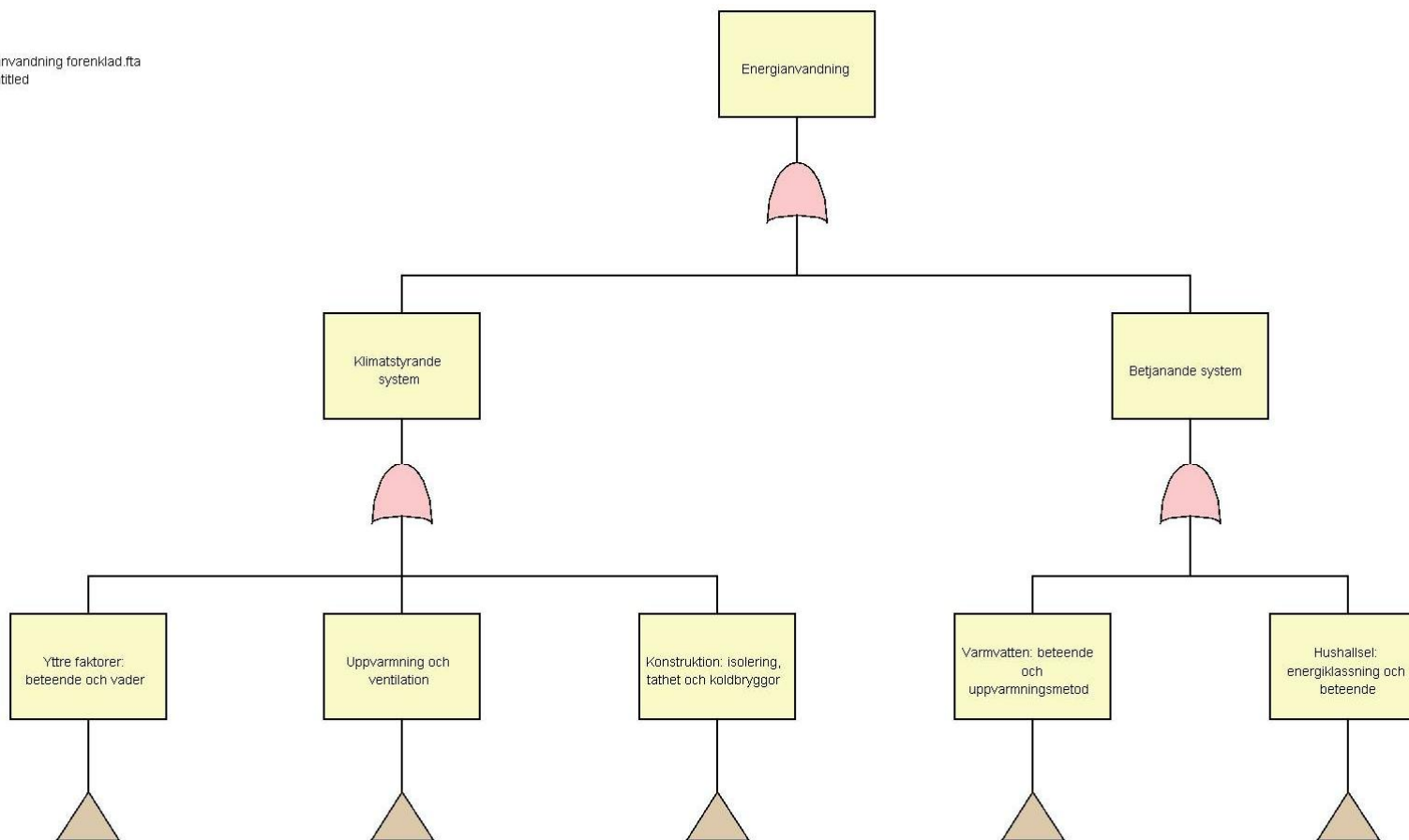
Warfvinge, C (2007). *Installationsteknik AK för V*. 3. uppl. Lund: Studentlitteratur.

Wulff, P (1990). *Komplexitet som riskfaktor*. Sundbyberg: Huvudavd. för försvarsanalys, FOA.

ÖCB (2000). *Den tekniska infrastrukturens sårbarhet, funktion och säkerhet - TIS: metodstudie med exemplet värmeförsörjning och dess stödsystem*. Stockholm: ÖCB.

Bilaga A – Felträd för scenario där energiförbrukning överstiger de i kravspecifikationen

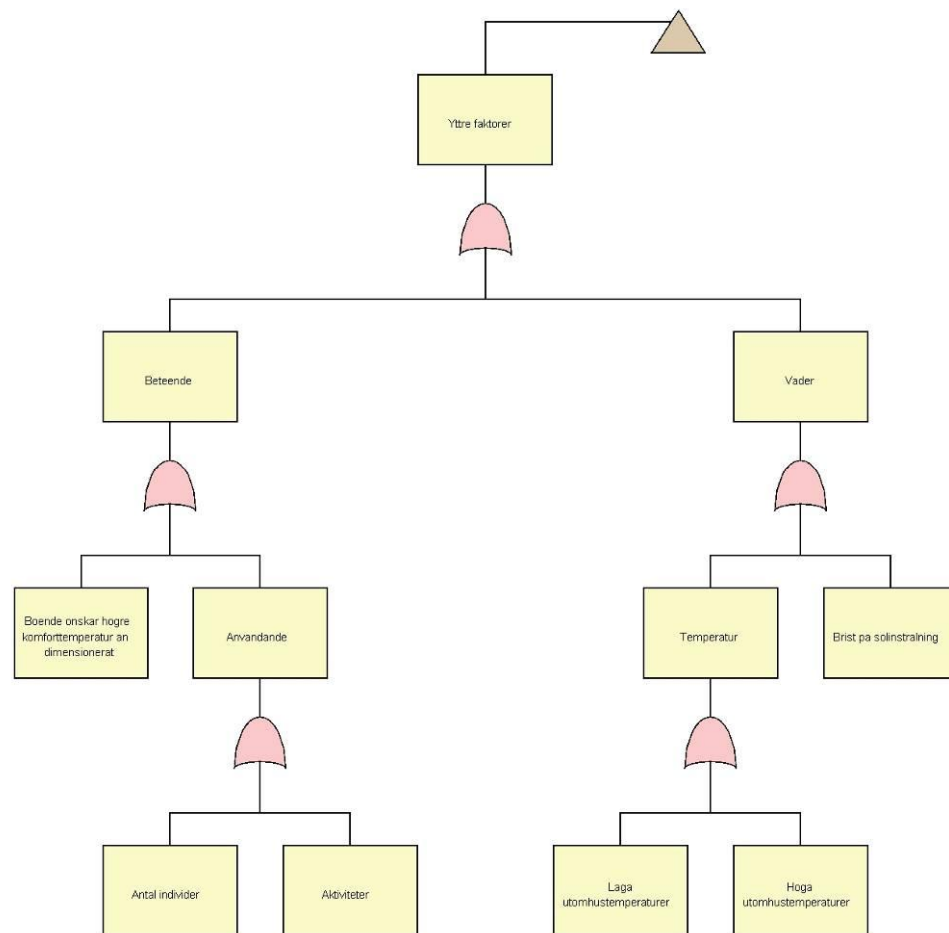
Tree: energianvandning forenklat.fta
Database: Untitled



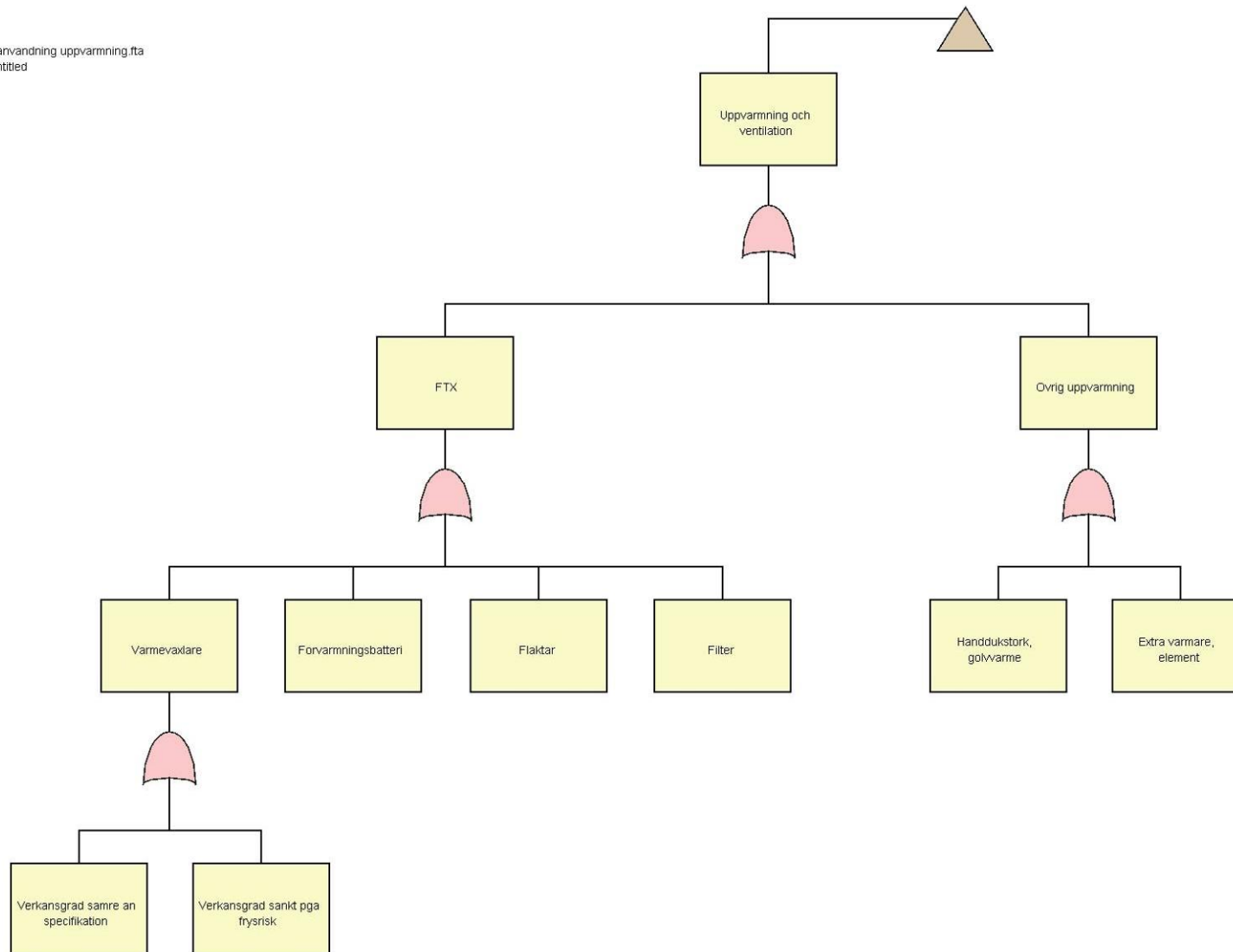
Figur 13 – Förenklat felträd för scenario att energianvändning överstiger de i kravspecifikationen.

Bilaga B – Felträd för hög energiförbrukning och de klimatstyrande systemen

Tree: Untitled
Database: Untitled

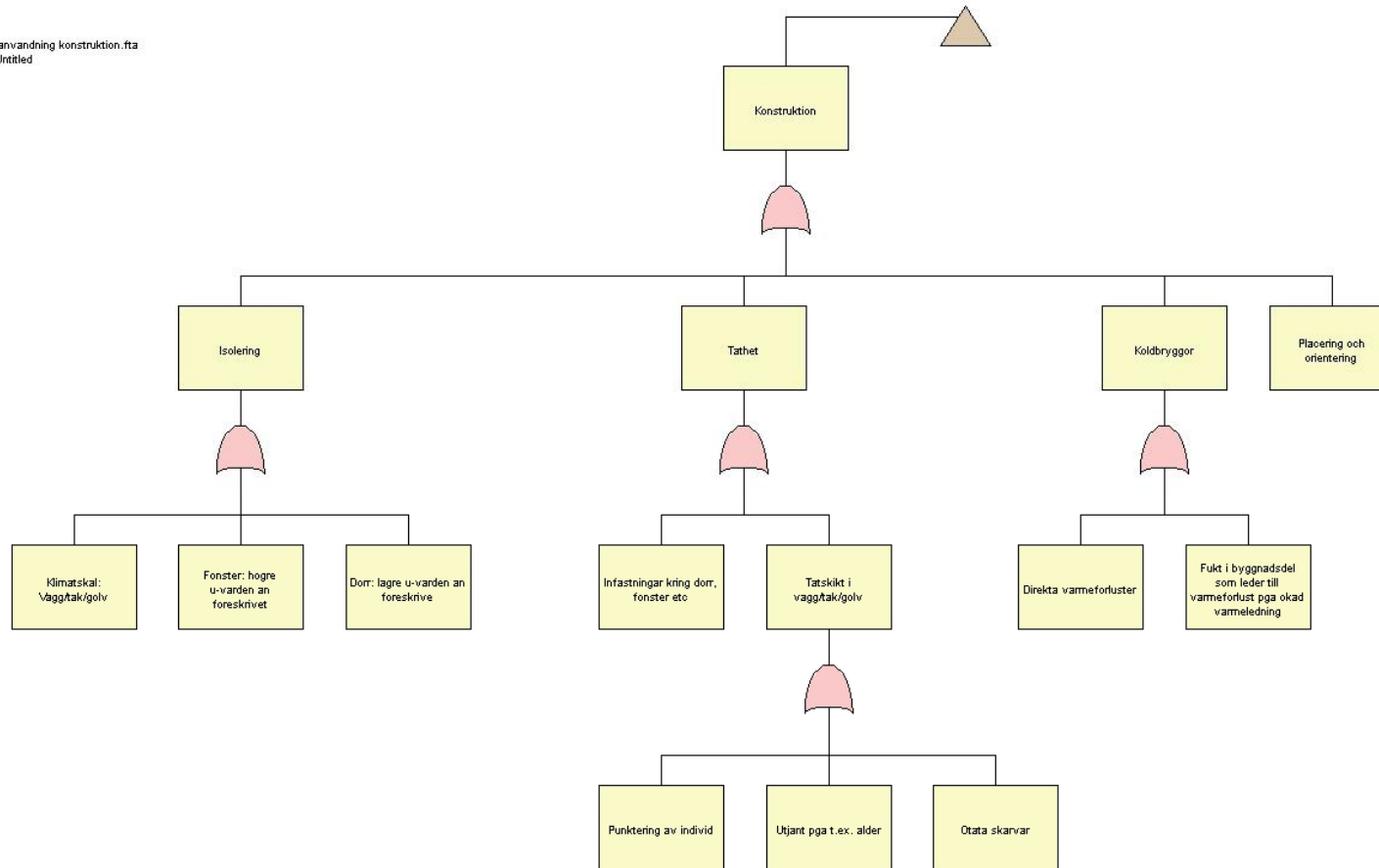


Figur 14 – Felträd för hög energianvändning, klimatstyrande system, yttre faktorer.



Figur 15 – Felträd för hög energiförbrukning, klimatstyrande system, uppvärmning och ventilation.

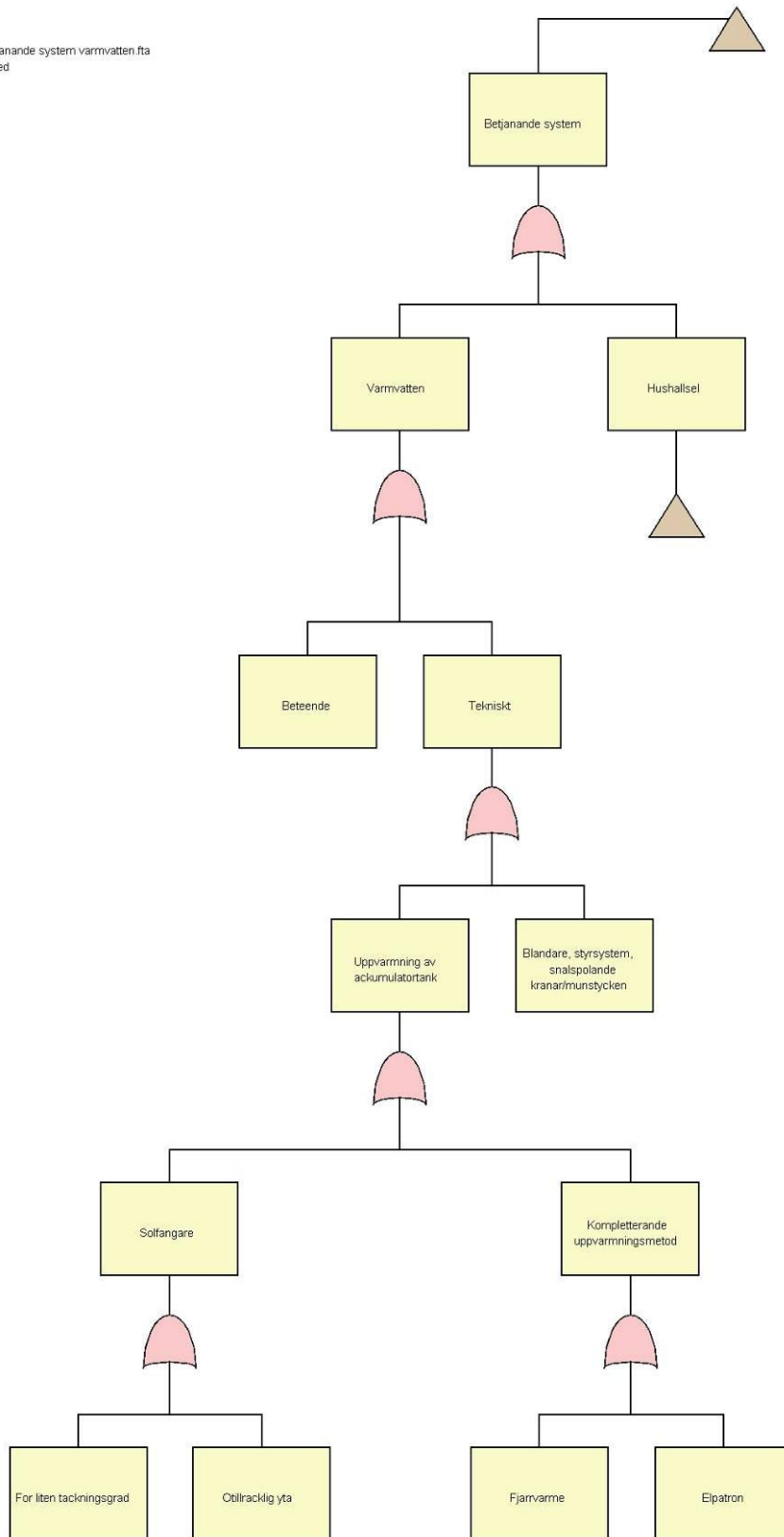
Tree: energianvandning konstruktion.fta
Database: Untitled



Figur 16 – Feltråd for høj energiforbrugning, klimastyrande system, konstruktion

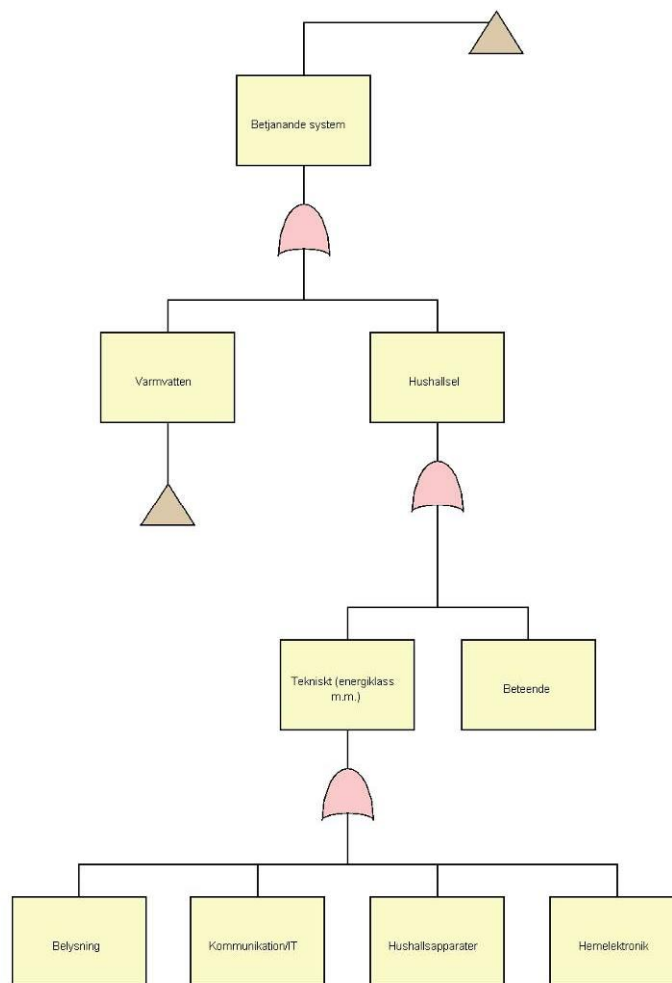
Bilaga C – Felträd för hög energiförbrukning och de betjä- nande systemen

Tree: energi betjanande system varmvatten.fta
Database: Untitled



Figur 17 – Felträd för hög energiförbrukning, betjänande system, varmvatten.

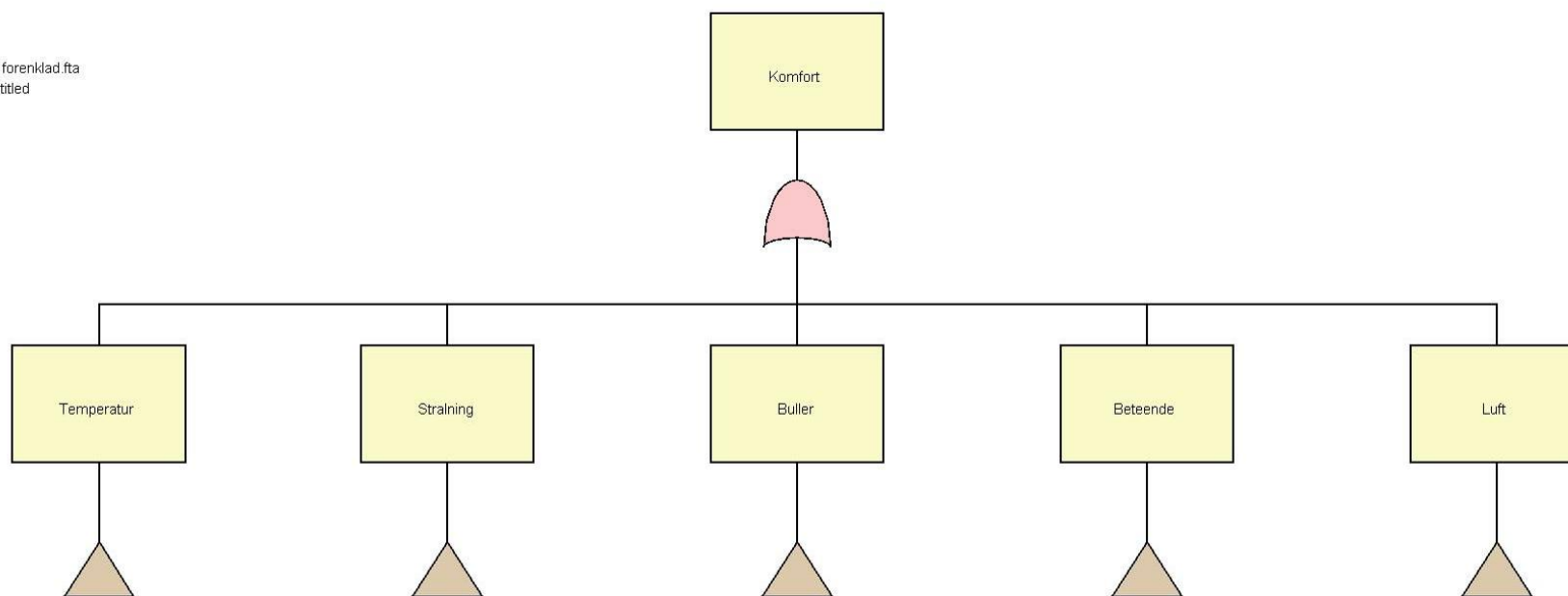
Tree: energi betjanande system hushallsel.fta
Database: Unbitled



Figur 18 – Felträd för hög energiförbrukning, betjänande system, hushållsel.

Bilaga D – Felträd för scenario att brukaren upplever oacceptabla komfortproblem

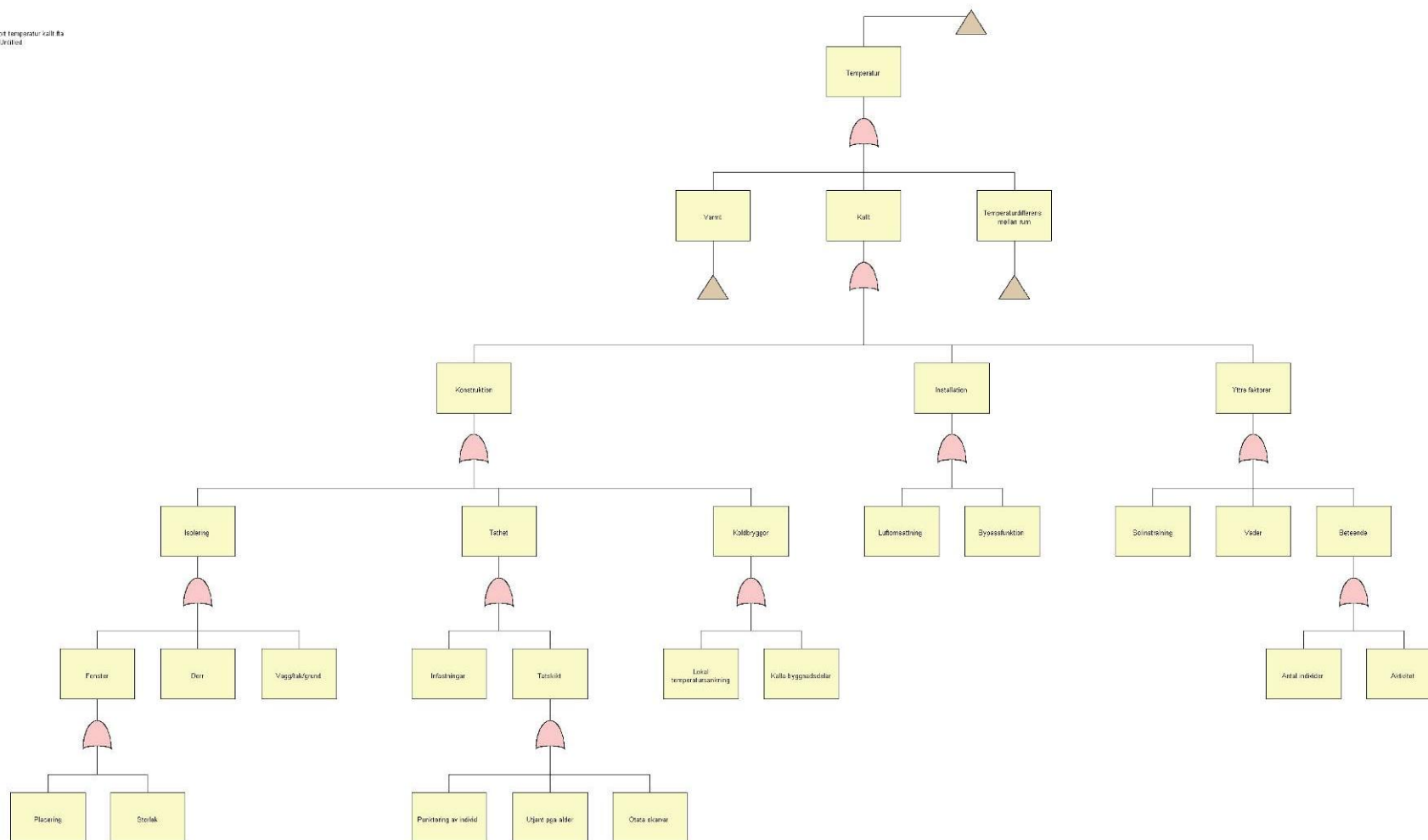
Tree: komfort forenklat.fta
Database: Untitled



Figur 19 – Felträd för scenario att brukaren upplever oacceptabla komfortproblem.

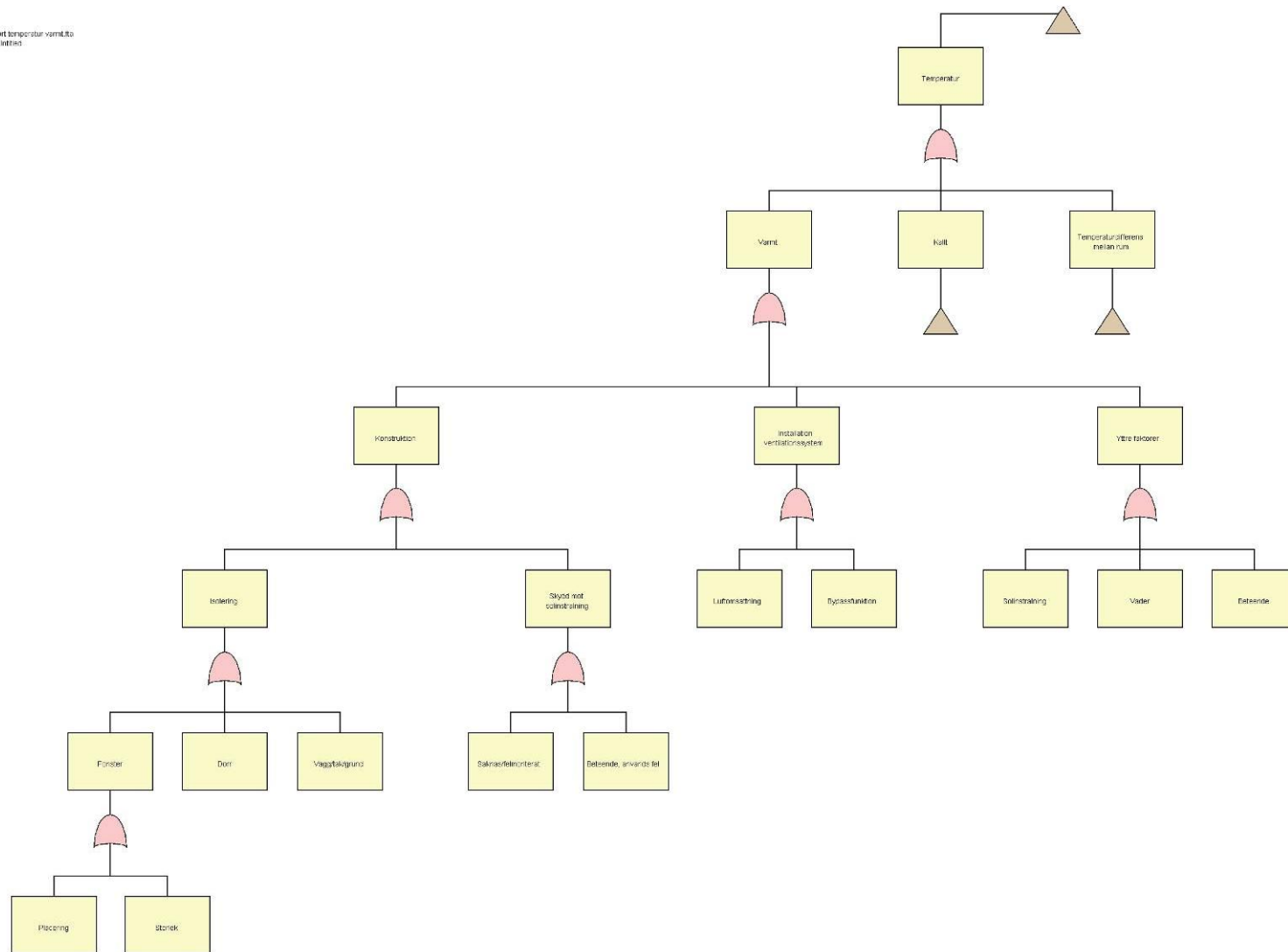
Bilaga E – Felträd för komfort avseende temperatur

Titel: Komfort temperatur kallt
 Datum: 2016-01-14



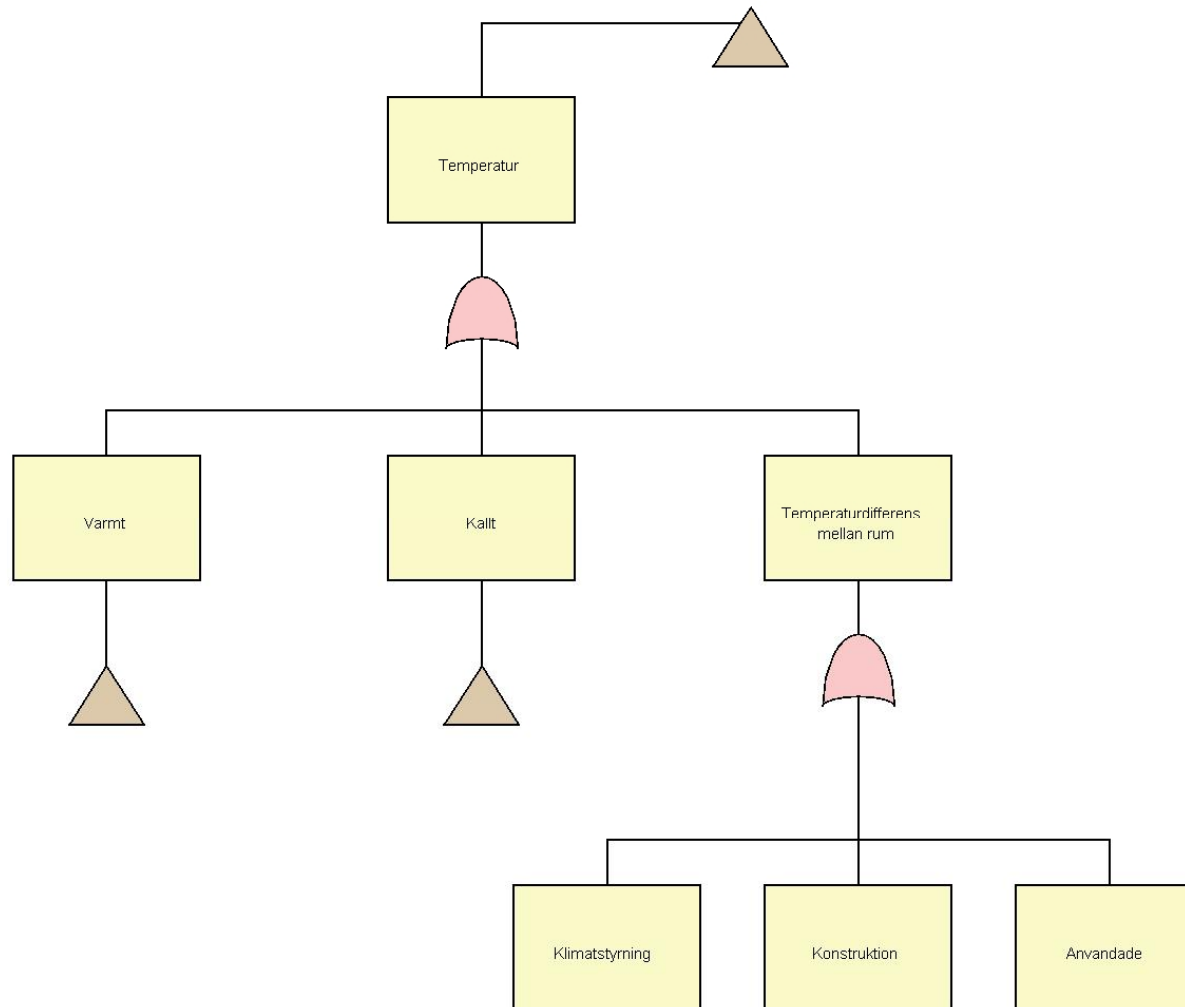
Figur 20 – Felträd för komfortproblem avseende låga inomhustemperaturer.

Trce: komfort temperatur varmlösa
Database: inrikes



Figur 21 – Felträd för komfortproblem avseende höga inomhustemperaturer.

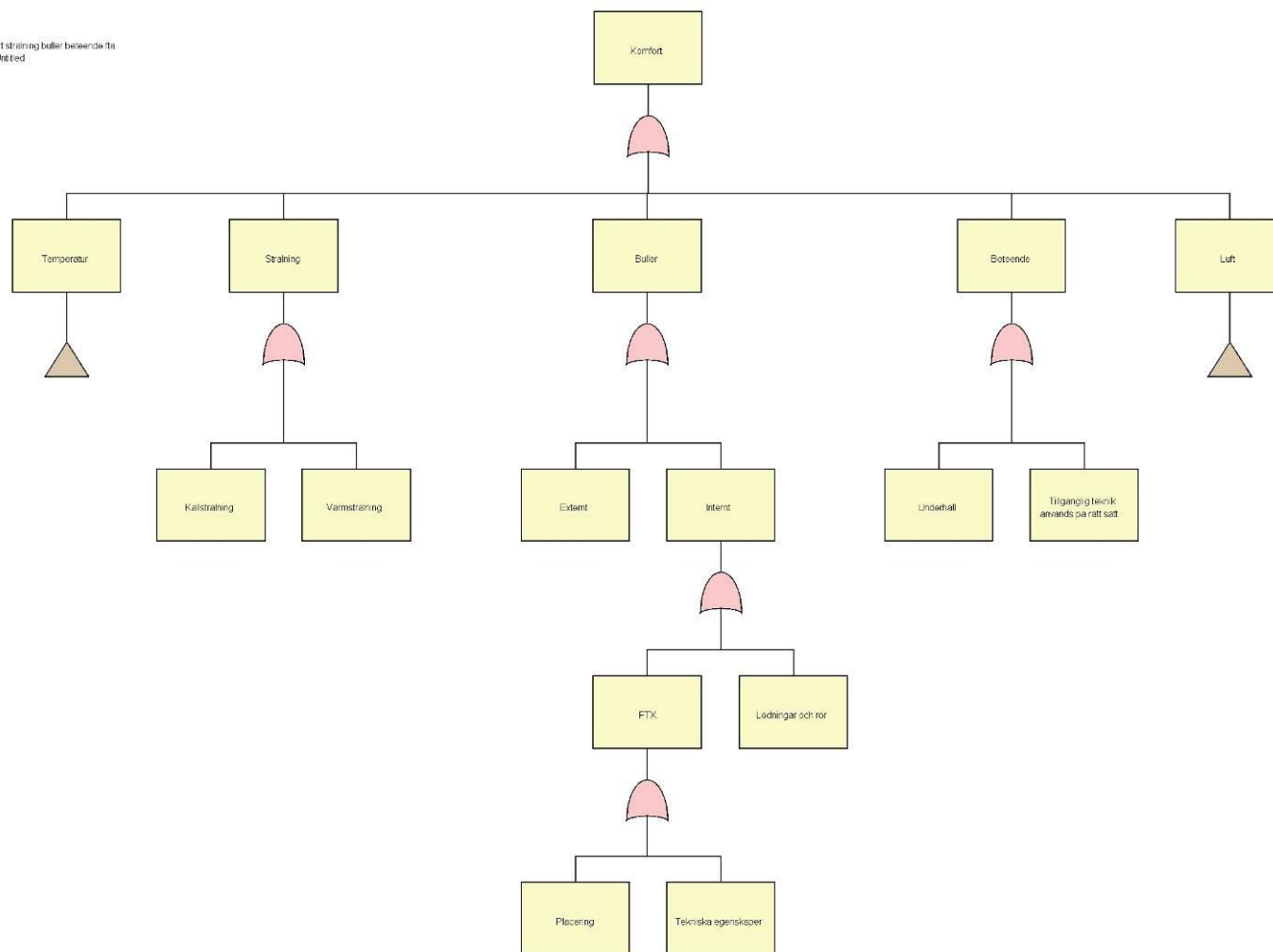
Tree: komfort temperatur temperaturdifferens.fta
Database: Untitled



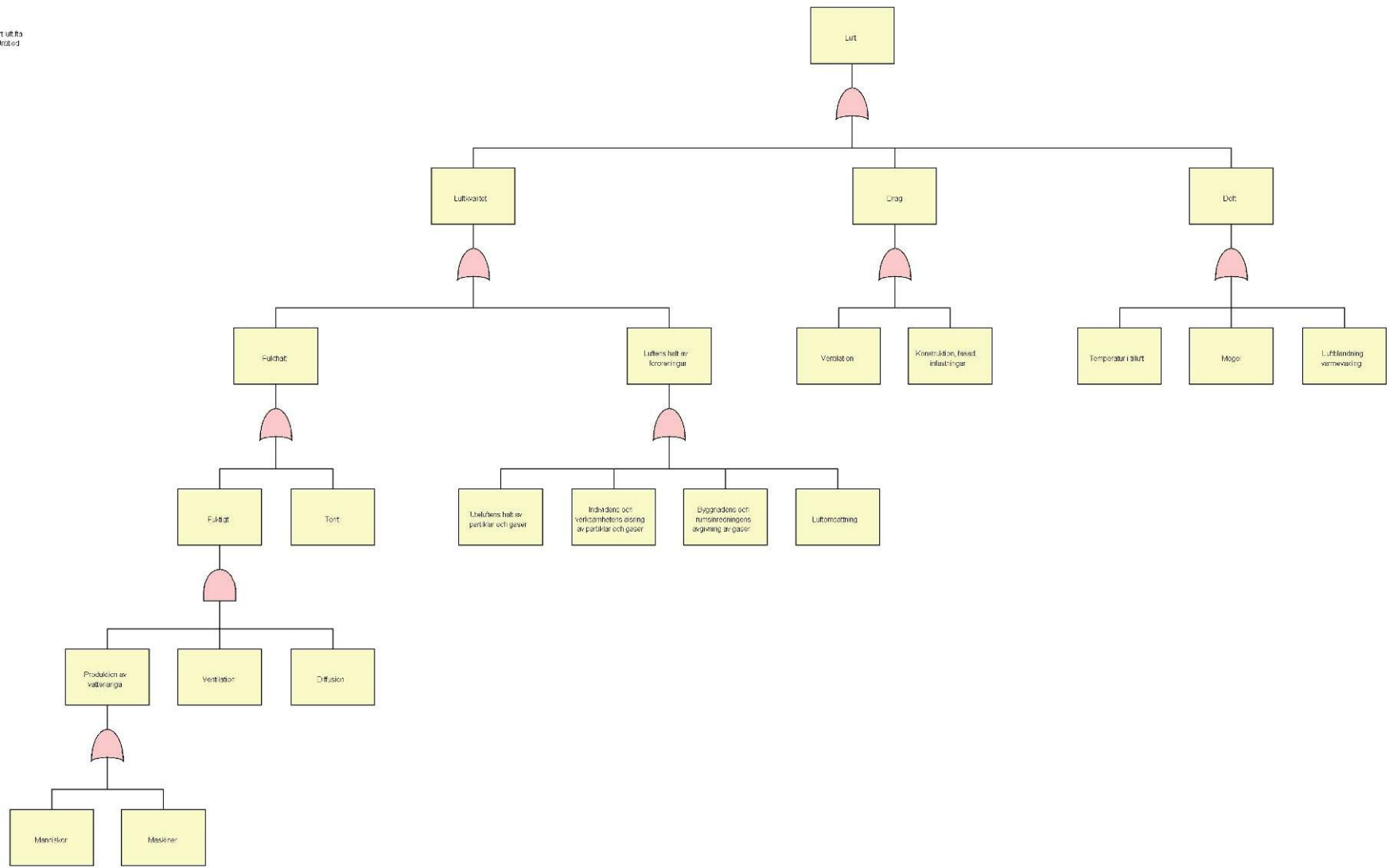
Figur 22 – Felträd för komfortproblem avseende temperaturdifferenser i byggnadens olika rum.

Bilaga F – felträd för komfortproblem avseende strålning, buller och beteende

Tree: komfort.stralning.buller.beteende.fel
Database: Untitled



Figur 23 – Felträd för komfortproblem avseende strålning, buller och beteende.



Figur 24 – Felträd för komfortproblem luftkvalitet.

Bilaga G – Sammanställda frågor i What if-analys som bedöms kunna leda till för hög energiförbrukning

Vad händer om	Möjliga orsaker	Konsekvenser	Kommentarer
Brukaren vill ha högre komforttemperatur än 20 grader	Genomsnittstemp för lägenhet 22,3 grader, småhus 21,2 grader	Upp till 10% ökad energiförbrukning. 3-5% ökning i energiförbrukning per grad	(Boverket, 2009; Tegvald & Undén, 2006)
Antalet individer/nyttjare i huset avviker från det dimensionerade	T.ex.utflytt av vuxna barn, folk vill "bo stort"	Spillvärme ändras med 47 W/person. Uppvärmningsförlust måste kompenseras.	Hushållselanvändningen ökar, fler apparater, längre drifttid och fler funktioner. Färre antal personer per hushåll och istället fler hushåll (Bagge et al. 2005).
Värmeavgivande aktiviteter högre än det dimensionerade	Stor variation i elanvändning mellan hushåll.	Minskat behov av uppvärmning	Enl. ovan.
Värmeavgivande aktiviteter lägre än det dimensionerade	Stor variation i elanvändning mellan hushåll.	Ökat behov av alternativ uppvärmning eller värmebatteri.	
Lång period av extrem kyla	Naturlig variation	Ökat effektbehov	Bör DUT testas i känslighetsanalys?
Plötslig temperatursänkning	Naturlig variation	Troligtvis låg konsekvens t.v. hög tidskonstant.	
Lång period av hög utomhustemperatur	Naturlig variation	Försämrad komfort. Ev. problem med vädring	
Plötslig temperaturstigning	Naturlig variation	Troligtvis låg konsekvens t.v. hög tidskonstant.	
Längre period av kraftig sol sommar	Naturlig variation	Hög inomhustemperatur, försämrad komfort	
Längre period av kraftig sol vinter	Naturlig variation	Positiv effekt, både avseende temperatur och varmvattenberedning.	
Huset lämnas en längre period	Semester el.dyl.	Uppvärmning regleras för lägre förbrukning; temperatur sänks	
Längre period av för lite sol	Naturlig variation	Ökat effektbehov varmvatten	
Värmeväxlarens verkningsgrad är sämre än tillverkarens angivna	För stor tilltro till tillverkarens siffror	Ökat behov av alternativ uppvärmning.	
Verkningsgraden sänks pga frysning	Avfrostning en gång i timmen	Verkningsgrad sänks, upp emot 10%	Energiförbrukningen ökar inte nämnvärt vid verkningsgrad 75% Ingen värmeväxling = ökning av energibehovet med

			63% (Tegvald & Undén, 2006).
Verksansgraden sänks pga ålder/slitage ⁷		Ökat effektbehov för uppvärmning.	
Fövärmningsbatteriet används för mycket	Låga utomhustemperaturer; läckage; högre komforttemperaturer	Ökat effektbehov	
Fövärmningsbatteriet går sönder	Utjänt pga ålder	Beroende av årstid och aktivitet. Hög tidskonstant och välisoleerat gör att det kan vara ok under kortare tid.	
Frånluftsfläkten förbrukar för mkt	För hög belastning, igensatta filter, höga innetemperaturer	Fläkteffekt 58 W (Ox-torget)	Fem olika flöden (Janson, 2008)
Tilluftsfläkten förbrukar för mkt	För hög belastning, igensatta filter, höga innetemperaturer	Fläkteffekt 58 W (Ox-torget)	Fem olika flöden (Janson, 2008)
Fläktar går sönder	Utjänt pga ålder	Försämrade luftkvalitet; spridning i byggnad	
Filter ej byts med rätt intervall	Igensatta filter	Högre belastning på fläkten, sämre flöden	
Handdukstorken används för mkt	Ej timerstyrd; kallt i badrum	Beror av effekt; t.ex. Villa Malmborg 80 W	
Golvvärme som komplement		Sänkt rumstemperatur med bibehållen effekt.	Elvinst om golvvärme och värmepump
Extra värmare/element används	Låga utomhustemperaturer; läckage; komfort	Klarar ej effektkrav	
Extra värmare/element påverkar termostat	Element står för nära termostat	Ordinarie värmesystem och extra värmare motarbetar varandra	
Kamin monteras	Enskild husägare "vill ha..."	Kaminen har för hög effekt, klarar ej passivhuskriteriet	
Yttervägg för högt utvärde/lite isolering	Fel vid projektering; energiberäkningar; gavelhus, yttervägg ej extraisolerad	Ökat effektbehov	
Isolering blir fuktskaddad	Fuktdiffusion; köldbrygga orsakar fuktfällning; klimatskärm defekt	Försämrade isolerande förmåga - ökade energiförluster	

⁷ Tommy Wesslund, Wesslunds AB, föreläsning Certifierad passivhusexpert, Tyréns AB, Malmö 3 juni 2010.

Ändringar görs i fasad, lägre u-värde	Om/tillbyggnation utförs, t.ex. veranda eller uterum, med sämre kvalitet än vad passivhuset kräver	Byggnadsdel med försämrad täthet och isolering. Energiförluster	
Fönster för högt u-värde	Fönstret har inte de egenskaper tillverkaren föreskriver eller konstruktören bortser från u-värdesspecifikationen	Upp emot 25% ökat energibehov. Passivhuskravet uppfylls ej.	Om standardfönster används (Tegvald & Undén, 2006).
Fönster byts ut och de nya har för högt u-värde	Renovering, ansvarig köper ej dörr enl. krav pga okunskap eller ekonomi	Upp emot 25% ökat energibehov.	Om standardfönster används (Tegvald & Undén, 2006).
Bristande underhåll fönster	Ointresse, ekonomi, okunskap	Fuktskador och läckage skapar otäthet och köldbryggor; ökat energibehov	
För lite fönsteryta solut-satt	Fönsterytor felplacerade eller för små	Minskad nytta av sol för uppvärmning, ökad energiförbrukning	
Dörrar har för högt u-värde	Dörrar har inte de egenskaper tillverkaren föreskriver eller konstruktören bortser från u-värdesspecifikationen	Eenergiförluster; ökat effektbehov	Vanlig dörr ca 4000-5000 kr. 0,6W/m ² K kostar 10000 (Jansson, 2008)
Underhåll av dörr brister	Ointresse, ekonomi, okunskap	Fuktskador och läckage skapar otäthet och köldbryggor; ökat effektbehov	
Dörr byts ut, för högt u-värde	Renovering, ansvarig köper ej dörr enl. krav pga okunskap eller ekonomi	Passivhuskravet uppfylls ej. Ökade energiförluster.	
Infästningar av fönster, dörrar och installationer skapar läckage	Vid renovering, underhåll, nyinstallation eller ombyggnad utförs inte arbetet enligt passivhusstandard	Läckage, bristande isolering, ökade energiförluster.	
Genomföringar görs i fasad	Renovering eller underhåll, t.ex. montering av fönster eller kabel/rördragningar. Arbetet utförs ej enligt passivhusstandard.	Läckage, bristande isolering, ökade energiförluster.	

Tätskikt punkteras	Tätskiktet ligger inte tillräckligt djupt för att inte påverkas av hyresgäst; ändringar görs i fasad	Ökat läckage av luft som inte värmeväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad.	
Tätskiktet är utjänt	Åldersslitage	Läckage av fukt och luft. Ökat läckage av luft som inte värmeväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad.	
Tätskiktets skarvar lossnar eller är otätat från början	Slarvigt utfört; åldersslitage	Läckage av fukt och luft. Ökat läckage av luft som inte värmeväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad.	
Tätskiktet är monterat så det är lätt att punktera vid normalt användande	Felmontering	Läckage av fukt och luft. Ökat läckage av luft som inte värmeväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad.	
Köldbrygga fönster	Fönsterkarm håller ej föreskriven kvalitet eller felaktigt monterat	Direkta värmeförluster, fuktfällningar. Ökat energibehov.	
Köldbrygga dörr	Dörr/karm håller ej föreskriven kvalitet eller felaktigt monterat	Direkta värmeförluster, fuktfällningar. Ökat energibehov.	
Köldbrygga geometrisk	Konstruktion fel från början alt. ombyggnad/tillbyggnad orsakar.	Upp till 30 % energiförluster vid dålig konstruktion. I extremfall ännu mer. Passivhuset är känsligare än ett standardhus	(Abel & Elmroth, 2008). I Lindås park: Minskning av energibehov med 4% om geometriska köldbryggor försvinner, enl. beräkning ((Tegvald & Undén, 2006)
Köldbrygga övrig konstruktion	Anslutning mellan betongbjälklag och yttervägg, balkong, yttervägg/grund	Upp till 30 % energiförluster vid dålig konstruktion. I extremfall ännu mer. Passivhuset är känsligare än ett standardhus.	

Täckningsgraden på solcellerna ej så hög som önskad	Felbedömning	Ökad energiförbrukning för värmning av tappvatten	
Solceller otillräcklig yta	Felberäkning, fel vid inköp/projektering	Solceller ger ca 90-100 kWh/m ² år, energi som måste hämtas på annat sätt	(Abel & Elmroth, 2008).
Solfångare blir skadade	Frysrisk, ej rätt glykolblandning; placerade så yttre skada	Ökat elenergibehov för uppvärmning tappvatten	
Solfångare faktisk effektivitet för låg	För stor tilltro till tillverkarens siffror	Ökat elenergibehov för uppvärmning tappvatten	
Akkumulatortank placeras utanför byggnad	Flerfamiljshus/radhus med separat apparatrum för fjärrvärme/tappvatten	Spillvärme kan ej tas till vara på	
Hög förbrukning av varmvatten	Avvikelse från schablon	Ökat energibehov för uppvärmning tappvatten	
Ej energiklassad belysning används	Ointresserad boende	Ökad uppvärmning; höjd elförbrukning	
Ej energiklassade hushållsmaskiner används	Ointresserad boende	Ökad uppvärmning; höjd elförbrukning	
Gasspis används istället för elspis		Minskad elförbrukning Ökad risk för övertemperatur pga större mängd spillvärme.	

Bilaga H – Sammanställda frågor i What if-analys som bedöms ge komfortproblem

Vad händer om	Möjliga orsaker	Konsekvenser	Kommentarer
Solskyddet är felmonterat eller saknas	Konstruktion, planeringsfel	Ökad solinstrålning, höga inomhustemperaturer, strålningsproblem	
Rörliga jalousier används fel	Okunskap, ointresse, brist på tekniskt förståelse	Ökad solinstrålning, höga inomhustemperaturer, strålningsproblem	
För stor andel fönster är solutsatt	Okunskap, ointresse, brist på tekniskt förståelse	Ökad solinstrålning, höga inomhustemperaturer, strålningsproblem	
Ventilationssystemet är underdimensionerat	Konstruktion, planeringsfel	Luftomsättning blir för låg; föroreningar ventileras inte bort; höga inomhustemperaturer	
Ventilationssystemet är överdimensionerat	Konstruktion, planeringsfel	Luftomsättning blir för hög; problem med drag;	
Bypassfunktionen runt värmeväxlaren inte fungerar	Sensor i kanal trasig	Inomhusluften värmeväxlas trots att tillskott av varmluft ej behövs. Höga inomhustemperaturer.	
Lång period av hög utomhustemperatur	Naturlig variation	Höga inomhustemperaturer; huset svärvädrat pga hög tidskonstant	
Fönsters placering är ogynnsam	Konstruktion, planeringsfel	Solenergi tas ej tillvara på bästa sätt; värmebatteri klarar ej uppvärmningsbehov	
För små fönsterytor	Konstruktion, planeringsfel;	Lägre inomhustemperatur vintertid. Kan vara positivt sommar.	
Dörrar har för högt u-värde	Dörrar har inte de egenskaper tillverkaren föreskriver eller konstruktören bortser från u-värdespecifikationen	För låg inomhustemperatur, komfortproblem	Vanlig dörr ca 4000-5000 kr. 0,6W/m ² K kostar 10000 (Janson, 2008)
Om/nybyggnation genomförs och vägg/golv/tak utförs med för högt u-värde	Konstruktion, planeringsfel, byggfel; ändringar görs	För låg inomhustemperatur, komfortproblem	

Infästningar i klimatskal är otäta	Fel från nybyggnation; renovering, ombyggnadsfel	Läckage av fukt och luft. Ökat läckage av luft som inte värmväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad.	
Tätskikt punkteras	Tätskiktet ligger inte tillräckligt djupt för att inte påverkas av hyresgäst; ändringar görs i fasad	Ökat läckage av luft som inte värmväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad. Problem med temperatur och/eller drag.	
Tätskiktet blir utjänt	Åldersslitage	Läckage av fukt och luft. Ökat läckage av luft som inte värmväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad.	
Tätskiktets skarvar lossnar eller är otätat från början	Slarvigt utfört; åldersslitage	Läckage av fukt och luft. Ökat läckage av luft som inte värmväxlas; friskluft tas genom fasad istället för genom FTX-aggregat; fuktdiffusion genom fasad.	
Det finns köldbryggor	Konstruktion, planeringsfel	Lokala temperatursänkningar, kalla byggnadsdelar, minskad komfort, effektiv bostadsyta minskar	
För liten andel fönster är solutsatt	Konstruktion, planeringsfel	Försämrad komfort, lägre inomhustemperatur	
Rörliga jalousier används fel	Används för mkt under kall årstid.	Låga inomhustemperaturer	
Längre period av extrem kyla	Naturlig variation	Försämrad komfort, lägre inomhustemperatur	Hushållselanvändningen ökar, fler apparater, längre drifttid och fler funktioner. Färre antal personer per hushåll och istället fler hushåll (Bagge et al., 2005).
Antalet individer/nyttjare i huset avviker från det dimensionerade	T.ex. utflytt av vuxna barn, folk vill "bo stort"	Försämrad komfort, lägre inomhustemperatur	

Värmeavgivande aktiviteter är lägre än det dimensionerande	Stor variation i elanvändning mellan hus-håll.	Försämrade komfort, lägre inomhustemperatur	
Det uppstår temperaturskillnader mellan rum	Problem med klimatstyrande system; konstruktionsfel; användande	Minskad komfort i vissa rum, användarbeteende ändras	
Det uppstår kalla byggnadsdelar, köldbryggor, fönster med sämre u-värde	Konstruktion, planeringsfel	Lokala temperatursänkningar, kallstrålning, kalla byggnadsdelar, minskad komfort, effektiv bostadsyta minskar	
För finns för stora fönsterytor; felvända, ej tillräckligt solskydd	Konstruktion, planeringsfel	Höga inomhustemperaturer, skarpt ljus, minskad komfort, effektiv bostadsyta minskar	
Huset är så pass välisolerat att interna ljud börjar upplevas störande	Boende upplever bullerproblem	Sämre tolerans mot "normalt buller"	
FTX-aggregatet är ostrategiskt placerat eller dåligt fabrikat	Konstruktion, planeringsfel	Husets goda isolering gör att interna ljud upplevs i större utsträckning Komfortproblem, bullerstörningar	
Buller från ledningar/rör	Feldimensionerat eller felplacerat/draget	Husets goda isolering gör att interna ljud upplevs i större utsträckning Komfortproblem, bullerstörningar	
Boende upplever att huset kräver större krav på högre precision och/eller tekniskt kunnande	Okunskap, ointresse, brist på tekniskt förståelse	Individen upplever boendet som besvärande/krävande; de boende inte sköter underhåll	
Boende inte har intresse att använda tekniska system på rätt sätt	Okunskap, ointresse, brist på tekniskt förståelse	Individen upplever boendet som besvärande/krävande; de boende inte sköter underhåll	
Ventilationssystem underdimensionerat;	Konstruktion, planeringsfel	Fuktrelaterade skador i byggnadsdelar; mögel; obehag	
Maskiner/aktiviteter producerar mycket vattenånga	Användarbeteende	Fuktrelaterade skador i byggnadsdelar; mögel; obehag	
Luftvärmesväxlaren avfuktar luften för mkt		Luften upplevs som obehagligt torr; torra luftrör	

Ventilationssystem underdimensionerat; överaktivitet av människor;	Luften blir förorenad		
Byggnadsmaterial och inredning avger gaser	Kombination av material och lösningsmedel/och eller fukthalt.	Beroende av ventilationsgrad;Inomhusluftens kvalitet leder till försämrade komfort; ohälsa	
Temperaturen i tilluften överstiger 52 grader	Temperaturreglering fungerar fel	Damm pyroliserar och skapar obehaglig lukt	

Bilaga I – Sammanställda frågor i What if-analys avseende konstruktion, användande och hållbarhet

Vad händer om	Möjliga orsaker	Konsekvenser	Kommentarer
Det uppstår problem med FTX-aggregatet?	Till- eller frånluftsfläkt slutar fungera	Föroreningar kan inte ventileras bort.	
		Höga fukthalter.	
		Försämrade luftkvalitet.	
		Låga, höga temperaturer	
		Fördelning/spridning av luft.	
	Förvärmningsbatteriet slutar fungera helt	Viktig värmekälla försvinner, sänkt komfort.	
	Förvärmningsbatteriet tappar verkningsgrad till följd av slitage, brist på underhåll	Sänkt förmåga till uppvärmning	
	Värmeväxlaren fryser sönder	Upp emot 60-70% ökad energiförbrukning för uppvärmning	
	Filterproblem	Minskade luftflöden; sänkt luftomsättning	
	Bypassfunktion trasig	Luft värmeväxlas trots att det inte behövs	
	Brist på underhåll		
	Livslängden går mot sitt slut		
Fukthalten blir för hög i inomhusluften, > 4g/m ³	Fuktproduktion onaturligt hög	Förhöjda fukthalter i konstruktion	
	Ventileras inte bort	Fuktrelaterade skador i konstruktion; försämrade isoleringsförmåga	
	Kan inte diffundera genom väggen	Mögel/svampangrepp; doftproblem; hälsorelaterat.	
		Emissioner från inredning och byggmaterial	
Fukthalten blir för låg, luften för torr	Luften torkas i värmeväxlaren, återfuktas inte naturligt.	Luftrörsrelaterat obehag	
		Hösnuva, astma, dammigt	

Fönster går sönder, byts till icke energiklassat	Mekanisk påverkan, naturligt slitage	Ökat behov av uppvärmning	
Boende vill göra ändringar i fasad: om/tillbyggnad.	Om/tillbyggnad	Risk för att ändringarna inte utförs med samma kvalitet som passivhuset föreskriver. Sänkt energiprestanda, termisk komfort, ökat effektbehov	
Boende vill göra ändringar i fönsteryta	Missnöje med fönsteryta/ljus.	Ändringar mot hur huset ursprungligen dimensionerades.	
Boende vill installera öppen spis/kamin	"Vill ha"; Kompletterande värmekälla		
Underhåll brister avseende fasad	Beteende/ekonomi	Fukt	
Underhåll brister avseende fönster	Beteende/ekonomi	Köldbryggor, fuktskador; rötproblem	
Underhåll brister avseende dörrar	Beteende/ekonomi	Köldbryggor, fuktskador; rötproblem	
Tätskikt punkteras	Punkteras av individ vid håltagning i väggar; genomföring genom fasad	Luftläckage; fuktproblem; ökat effektbehov.	
		Det blir genomströmning utifrån och in (infiltration). Relativt okritiskt då byggdelen förblir torr. Ökat värmebehov och drag	
		Det blir genomströmning inifrån och ut. Varm fuktig luft kan kondensera på byggdels kalla ställen.	