Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem

Åsa Wahlström
Agneta Olsson-Jonsson
Lars Ekberg

EFFEKTIV
Samverkan för effektiv och miljövänlig energianvändning i bostäder och lokaler

EFFEKTIV är ett samarbetsprojekt mellan staten och näringslivet med ELFORSK som koordinator. EFFEKTIV finansieras av följande parter:

- ELFORSK
- Borlänge Energi AB
- Borås Energi AB
- Byggforskningsrådet
- Elbolaget i Norden AB
- Falu Energi AB
- Graninge Kalmar Energi AB
- Göteborg Energi AB
- Jämtkraft AB
- Karlstads Energi AB
- Mälar Energi AB
- Skellefteå Kraft AB
- SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
- Statens Energimyndighet
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Sydkraft AB
- TA Hydronics AB
- Umeå Energi AB
- Uppsala Energi AB
- Vattenfall AB
- Öresundskraft AB

Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem

Författare		Rapportdatum	
Åsa Wahlström*, Agneta Olsson-Jonsson*, Lars Ekberg**		2001-03-26	
Från Effektiv		**Rapportnr** 2000:01	Etapp 1
ISBN 91-7848-824-9	**ISSN** 1650-1489	**Antal textblad** 55	**Antal bilagor** 0
Sökord Miljö, emissioner, inneklimat, LCI, LCA			

* SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
** CIT Energy Management AB

Rapportbeskrivning

En viktig del i miljöarbetet är att minimera vår energianvändning eftersom all användning av energi påverkar vår miljö på ett eller annat sätt. Frågan är hur olika åtgärder skall värdesättas miljömässigt?

Har en energieffektiviseringsåtgärd på en oljepanna större betydelse för miljön än motsvarande effektivisering för en byggnad uppvärmd med biobränsle? Är växthuseffekten viktigare än försurning av våra marker? Måste vi göra avkall på den inre miljön för att bevara den yttre? Hur skall politiska beslut utformas för att styra miljöarbetet? Vid värdering av miljön finns det med andra ord en mängd frågeställningar att ta hänsyn till.

För att ge underlag till att besvara dessa frågor behandlar den här rapporten principer för att redovisa hur olika uppvärmningssystem påverkar den yttre och inre miljön.

Prestanda för de olika uppvärmningssystemen har valts för att ge en så generell och objektiv bild av miljöbelastningen som möjligt. När det gäller uppvärmningssystem som drivs med el eller fjärrvärme som produceras centralt i olika produktionsanläggningar finns det i litteraturen olika betraktelsesätt av den s.k. mixen av produktionsenheter. En undersökning av olika betraktelsesätt visar att genom olika val kan miljöbelastningen styras mellan ytterligheter.

I rapporten visas exempel på att om el betraktas som att den till 100 % är producerad i koleldade kondens- och kraftvärmeverk har eluppvärmda byggnader den största miljöbelastningen. Anses istället elen belasta miljön med samma fördelning som den är producerad med i Sverige (s.k. Sverigemix) så är miljöbelastning ringa.

Förord

Föreliggande rapport är en delrapport i ett längre projekt som drivs under forskningsprogrammet EFFEKTIV. Syftet med denna delrapport är att ge ett basunderlag och att identifiera områden där mer noggrann forskning behövs. Flera av de diskussioner och resultat som framkommit här bör därmed fördjupas.

Arbetet har i huvudsak utförts, diskuterats och granskats av de tre parterna i CEE, d.v.s. Energiteknik SP, CIT Energy Management och Institutionen för Installationsteknik CTH.

Till projektet finns en referensgrupp som har gett ett ovärderligt underlag till projektet genom diskussioner av idéer och slutsatser. Vi vill tacka samtliga för ett stort engagemang:

- Morgan Fröling, Kemisk miljövetenskap, CTH, Göteborg
- Erik Larsson, Fjärrvärmeföreningen, Stockholm
- Sven-Olov Ericson, Vattenfall Utveckling, Stockholm
- Gunnar Hovsenius, Elforsk, Stockholm

Vi vill också tacka alla andra som har hjälpt oss med information och synpunkter under arbetets gång. Framför allt till
Lisa Persson, CIT Ekologik, Göteborg.

Borås februari 2001

Åsa Wahlström
Projektledare
SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Sammanfattning

Miljön blir en allt viktigare fråga vid energianvändning i byggnader men fortfarande saknas verktyg som kan beräkna och värdesätta miljöbelastningen tillsammans med andra faktorer som påverkar valet av uppvärmningssystem. Detta projekt är ett steg i arbetet med att utveckla bra verktyg och studerar därför olika uppvärmningssystems belastning på den inre och yttre miljön.

Miljöpåverkans storlek är beroende av vilket uppvärmningssystemet är, hur effektivt systemet arbetar och vilket energislag systemet använder sig av. Syftet är att finna en metodik som kan beskriva miljöbelastningen åt ett enskilt företag eller en enskild konsument och vara till hjälp vid värdering av energieffektiviseringsåtgärder eller vid värdering av alternativa uppvärmningssystem.

Metodiken bygger på att belysa hur olika uppvärmningssystem påverkar risken för att störningar på den inre miljön uppkommer. För att få en helhetsbild av den yttre miljöbelastningen har underlag från livscykelinventeringar (LCI) av emissioner använts. Dessa tar hänsyn till alla utsläpp som sker för hela livscykeln av energianvändning ”ifrån vaggan till graven”. Till exempel ifrån det att olja utvinns ifrån marken till det att värme har distribuerats i byggnaden och alla restprodukter har tagits om hand. De olika emissionerna har delats in i olika kategorier beroende av vilken miljöeffekt de har.

En jämförelse av resultatet för de olika uppvärmningssystemen visar att olje- eller naturgaseldade pannor har störst påverkan på växthuseffekten medan biobränsleeldade pannor har störst påverkan på övergödning, försurning och bildning av marknära ozon. Pellets, ved och olja har i nämnd ordning störst emissioner av partiklar.

För en byggnad som använder sig av direktel eller fjärrvärme som produceras centralt i olika produktionsanläggningar är resultatet direkt beroende av hur man betraktar den s.k. mixen av produktionsenheter.

Metodiken behöver vidareutvecklas så att effekten av hur man betraktar en produktionsmix kan studeras. Dessutom behöver metodiken utvecklas till att kunna beskriva resursförbrukning för de olika uppvärmningssystemen.

Innehållsförteckning

1	**Inledning**	**1**
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och omfattning	3
1.3	Metodik	4
1.3.1	Inre miljö	5
1.3.2	Yttre miljö	6
2	**Inre miljö**	**8**
2.1	Innemiljöfaktorer	9
2.2	Från krav till tekniska lösningar	10
2.2.1	Byggnaden och dess klimatstyrande installationer	10
2.2.2	Verksamhets- och byggnadsknutna krav	11
2.2.3	Tekniska lösningar	12
2.3	Klimatstyrande installationer i bostadshus	13
2.3.1	Värmning av bostadshus	14
2.3.2	Sammanfattande kommentarer angående värmesystemets inverkan på inomhusmiljön	15
2.4	Termiskt klimat	16
2.4.1	Krav och riktlinjer för termiskt klimat	17
2.5	Luftkvalitet	18
2.5.1	Luftkvalitetens betydelse för hälsa och välbefinnande	19
2.5.2	Ventilation och föroreningshalter	19
2.5.3	Rening av ventilationsluft	20
2.5.4	Krav och riktlinjer för luftkvalitet	21
2.6	Ljud	22
2.6.1	Störningar på grund av ljud	22
2.6.2	Ljudkvalitet	23
2.6.2	Krav och riktlinjer för ljud	23
2.7	Ljus	24
3	**Yttre miljö**	**26**
3.1	Allmänt om LCA och LCI	26
3.2	Miljöhoten	27
3.2.1	Växthuseffekten	28
3.2.2	Försurning	28
3.2.3	Marknära ozon	28
3.2.4	Övergödning	29
3.2.5	Partiklar	29
3.3	Riktlinjer från Miljöstyrningsrådet	29
3.3.1	Miljöpåverkansbedömning - miljöprestanda	30
3.3.2	Funktionell enhet och systemgränser	31
3.3.3	Allokering	31
3.4	Olika energislags miljöpåverkan	32
3.4.1	Eldningsolja	33
3.4.2	Naturgas	34
3.4.3	Biobränsle	35
3.4.4	El	38
3.4.5	Fjärrvärme	39

4 Beräkningsexempel för yttre miljöbelastning 42
4.1 Uppvärmningssystem och verkningsgrader 42
4.2 Mixar av el eller fjärrvärme 43
4.3 Resultat 44
4.4 Jämförelse med en annan undersökning 47
4.5 Jämförelse av resultat med beskattning 49

5 Slutsatser och fortsatt arbete 50

6 Referenser och bibliografi 51
6.1 Referenser 51
6.2 Bibliografi 54

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I takt med den ökade miljömedvetenhet som råder idag har kraven på hur en byggnads energibehov tillgodoses ökat. Energibehovet i en byggnad bestäms av de krav som ställs på byggnadens inomhusmiljö tillsammans med byggnadens konstruktion, verksamheten i byggnaden och de tekniska installationerna. De tekniska installationerna utgörs dels av det system som tillgodoser byggnadens behov av värme och kyla, dels av ventilationssystem, belysningssystem, etc. När hela systemet som bestämmer byggnadens energibehov åsyftas används begreppet energisystem.

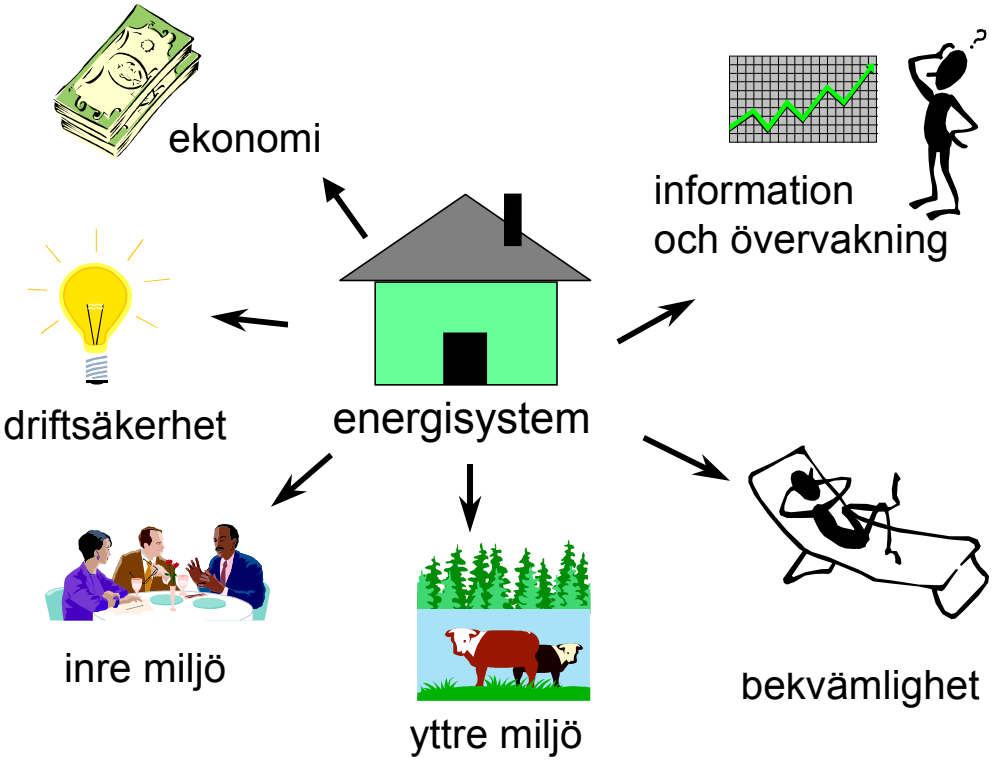
Vid värdering av alternativa tekniska system eller andra åtgärder som påverkar energisystemet är det viktigt att bedöma byggnadens energieffektivitet. Med begreppet energieffektivitet avses att uppfylla uppställda krav på inneklimat och kostnadseffektivitet med minsta möjliga användning av energi, såväl värme som el. Då ett energibehov tillgodoses uppstår en miljöbelastning och ju lägre behovet är desto lägre blir också miljöbelastningen liksom energiräkningen.

Förutom energisystemets effektivitet är den kvantitativa belastningen av olika miljöeffekter beroende av vilket tekniskt system som tillgodoser energibehovet och vilket energislag det systemet använder sig av. Exempel på energislag är el, fjärrvärme eller olika bränslen som olja eller ved.

Myndigheter försöker styra valen mot mer miljövänliga alternativ för den yttre miljön genom ekonomiska styrmedel och politiska beslut. Samtidigt ökar kraven kraftigt på en god inomhusmiljö ifrån de som vistas i byggnaden. En orsak till detta är bland annat att antalet allergiker har ökat de senaste åren. Därutöver tillkommer krav på driftsäkerhet, bekvämlighet, information och övervakningsbehov. För att skapa en helhetssyn över energisystemet bör bland annat följande påverkansfaktorer beaktas.

Yttre miljö
Verkan av emissioner är både lokala och globala och delas in i kategorier efter vilken miljöeffekt som påverkas, t.ex. växthuseffekten. Då ett energibehov tillgodoses förbrukas i de allra flesta fall en naturresurs och eftersom jordens resurser inte är oändliga ställs även krav på denna förbrukning. Olika miljöeffekter uppfattas olika beroende på individ och på var individen bor. Därför är det viktigt att man vet vilken miljöeffekt ett energisystem har för att kunna fatta egna beslut.

Inre miljö
Energisystemets huvuduppgift är att skapa en god termisk komfort i byggnaden men därutöver tillkommer andra viktiga innemiljöaspekter såsom luftkvalitet, ljud, utnyttjande av yta, estetisk utformning m.m. Störningar ifrån en vedeldad panna kan t.ex. vara partiklar i inomhusluften.



Figur 1.1 Faktorer som påverkas av en byggnads energisystem.

Driftsäkerhet
Det är naturligtvis viktigt att det tekniska systemet alltid fungerar och i synnerhet under årets kallaste dagar. Vid störningar (toppbelastning, tekniska haverier, kraftiga prisförändringar m.m.) finns ofta alternativa tekniska system i beredskap. Detta gäller främst tekniska system som försörjer flera byggnader med hjälp av fjärrvärme eller el. För att få en helhetsbild av ett energisystems miljöbelastning måste användning av det alternativa tekniska systemet vägas in.

Bekvämlighet
Inställning till miljöfrågor såväl som levnadsmönster av de som vistas i byggnaden påverkar också energisystemet. Ett uppvärmningssystem som t.ex. eldas med ved måste skötas kontinuerligt för att minimal miljöpåverkan skall uppnås.

Information och övervakning
För att minimera energianvändning och därmed också utsläpp finns mer eller mindre komplexa övervakningssystem. Till exempel kan ett sådant styra det tekniska systemet så att man har god komfort endast då det finns någon

närvarande. Det är viktigt att information finns för de som skall sköta det tekniska systemet och att informationen är utformad på ett sätt så att de förstår det.

Ekonomi
Vid bedömning om en energieffektiviseringsåtgärd lönar sig väger man investeringskostnaden mot den besparing i driftkostnader som man gör under hela investeringens livslängd. Driftkostnaden består till stor del av olika skatter beroende av vilket energislag som används. Ekonomiska styrmedlen sätts genom politiska beslut och är olika beroende av vilka miljöbelastningar som energislaget ger upphov till. Det är därför viktigt att ha kunskap om miljöbelastningen för att det skall vara möjligt att kunna förutspå ekonomiska styrmedel och därmed också driftkostnad under hela investeringens livslängd.

1.2 Syfte och omfattning

Vid värdering av alternativa tekniska lösningar eller andra åtgärder som påverkar energisystemet finns det alltså en mängd frågeställningar att ta hänsyn till. Hur skall miljön värdesättas? Är påverkan på växthuseffekten viktigare än försurning? Är vi beredda att betala mer för att bevara miljön? Är vi beredda att ha ett tekniskt system som kräver en betydligt större arbetsinsats för att bevara miljön? Kan vi acceptera ett mindre miljövänligt alternativ vid toppbelastning för att säkerställa driftsäkerheten? Skall miljöarbetet styras genom politiska beslut?

För att kunna göra en egen bedömning behövs ett verktyg som kan ge en opartisk helhetsbild av de olika påverkansfaktorerna för en byggnads energisystem. Det slutgiltiga syftet med det här projektet är att finna en metodik som belyser de olika aspekterna och är entydigt och enkelt att använda för beslutsfattare och energirådgivare. Med materialet skall det vara möjligt för ett enskilt företag eller en enskild konsument att uppskatta sin miljöbelastning. Det skall även vara möjligt att uppskatta hur miljöbelastningen förändras vid effektiviseringsåtgärder eller för alternativa tekniska system och vilka konsekvenser det medför för de övriga påverkansfaktorerna.

I detta första delprojekt har studier genomförts för att utveckla en metodik som kan beskriva påverkan på den inre och yttre miljön. Arbetet har utförts med hjälp av beräkningsexempel. Exemplen bygger på att miljöpåverkan ifrån våra vanligaste uppvärmningssystem i bostäder har betraktats och jämförts. För att få en allmän bild av miljöpåverkan har data valts för att representera genomsnittet av respektive uppvärmningssystem. Nyaste tillgängliga teknik skulle ge en lägre miljöpåverkan medan äldre teknik kan ge betydligt högre. Metoden som sådan har i princip inte någon begränsning av vad det gäller typ av byggnad eller tekniskt system. Samma resonemang kan användas för andra typer av byggnader, specifika system och andra typer av tekniska system.

I brukarskedet bestäms en byggnads energiförbrukning, och därmed också miljöbelastning, av byggnadens konstruktion, krav på inomhusmiljö, verksamhet och de tekniska installationerna. Dessutom tillkommer miljöbelastning från energiåtgång vid uppbyggnad, underhåll och rivning av byggnaden samt

energiåtgång vid utvinning, produktion och distribution av byggnadsmaterial. Olika konstruktionslösningar med olika materialval kan påverka byggnadens totala energibehov och därmed också valet av de tekniska installationerna, dvs val av uppvärmningssystem.

För att få en total bild av miljöbelastningen för en byggnad bör hela dess livscykel beaktas, dvs. energiförbrukning vid tillverkning, transport, uppbyggnad, brukande, renovering och rivning. Detta har Németh-Whinter [1] gjort genom att analysera ett norskt bostadshus i fem olika versioner med avseende på isoleringsgrad, ventilationsmetod och energibesparande utrustning bl.a. solfångare. De olika byggnadsversionerna varierade från en representativ byggnad före 1987 till olika lågenergibyggnader byggda enligt gällande krav 1997. Analysen visade att om energiförbrukningen vid drift reduceras till en låg nivå så kommer också totalenergiförbrukningen för bygganden att reduceras, detta trots att mer energi används vid materialtillverkning, byggnadstillverkning och underhåll. Energiförbrukningen till drift var i samtliga fall avsevärt mycket större andel av livscykelenergin än energiförbrukningen till materialtillverkning.

Adalberth [2] gjort i en undersökning av ett antal småhus som byggdes under 1991 och 1992 (med stomme av trä). Hennes undersökning visade att huvudandelen, 85%, av energianvändningen förbrukades under brukarskedet. Detta trots att dessa hus är att betrakta som s.k. lågenergihus. Adalberth [3] har också gjort en liknande undersökning för fyra flerbostadshus byggda 1996 med stommar av betong, trä samt stål och betong. Energianvändningen under brukarskedet var uppskattat till 85% av den total energianvändningen under hela livscykeln men undersökningen visade att hela 88% förbrukades. Hennes slutsats är; För att lyckas bygga ett energi-effektivt hus under hela dess livscykel är det viktigt att planera för lågt energibehov under brukarskedet. Samma slutsats fann Cole och Kernan [4] i en undersökning av energiförbrukningen under hela livscykeln för kontorsbyggnader i Canada med stommar av betong, trä och stål.

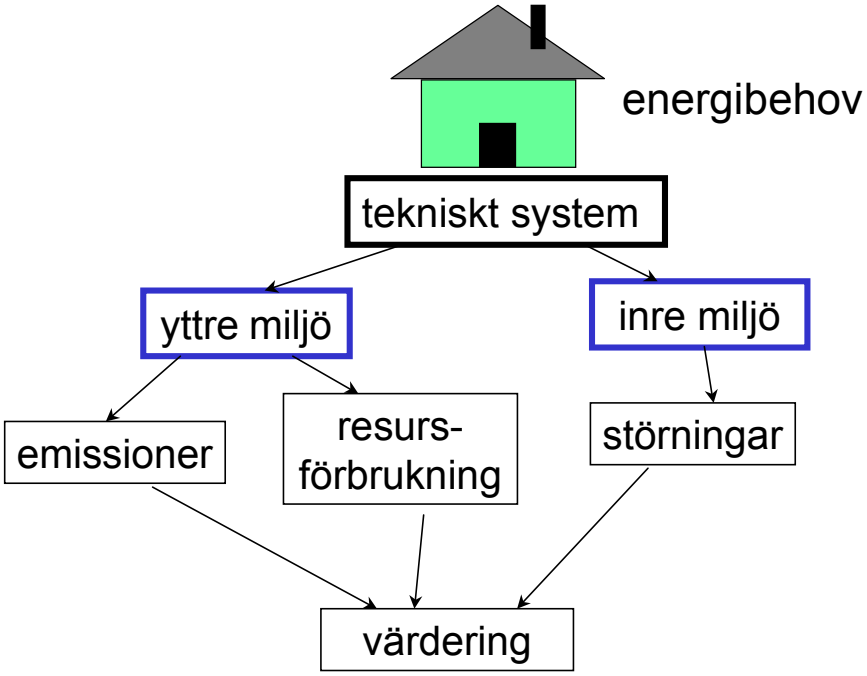
Det är därför viktigt att producera hus med lågt uppvärmningsbehov. Den miljöbelastning som uppstår vid byggandet och rivandet av byggnaden har inte betraktats i detta projekt utan metodiken utgår ifrån en befintlig byggnad.

De uppvärmningssystem som studerats är värmeproduktion ifrån pannor eldade med olja, naturgas, ved eller pelletar, värmeproduktion med en värmepump eller värmedistribution genom direktel eller fjärrvärme.

1.3 Metodik

En byggnads energibehov bestäms av krav på inomhusmiljö, byggnadens konstruktion, verksamhet i byggnaden och de tekniska installationerna. Detta energibehov skall tillgodoses med ett eller flera tekniska system vilka orsakar påverkan på den inre och yttre miljön. Påverkans storlek är beroende av vilka de tekniska systemen är, hur effektivt systemen arbetar och vilka energislag systemen använder sig av.

Studier har genomförts för att utveckla en metodik som kan beskriva hur man tar fram belastningen på den inre och yttre miljön ifrån ett givet tekniskt system. Kunskap om miljöbelastningen skall sedan vara till hjälp vid värderingen av en energieffektiviseringsåtgärd eller vid värdering av ett alternativt tekniskt system.



Figur 1.2 Beskrivning av metodik för att värdera påverkan på den yttre och inre miljön av ett tekniskt system som täcker ett energibehov i en byggnad.

1.3.1 Inre miljö

Energisystemets primära uppgift är att upprätthålla en god komfort inomhus, vilket inte enbart innebär att det överallt i byggnaden är ett gott termiskt klimat. En god komfort beror på en rad olika faktorer som ofta samverkar. De kan delas in i fysiska faktorer och faktorer som är kopplade till individen (t.ex. sociala eller psykologiska). I detta arbete har faktorerna termisk komfort, luftkvalitet, ljud och ljus betraktats. Faktorerna bestäms dels av grundläggande krav från myndigheter, dels från önskemål av de människor som skall vistas i byggnaden. Vid projektering eller förändring av ett tekniskt system är det viktigt att veta vilka faktorer man skall beakta och vilka krav man skall ställa på dem.

Ett visst krav på den inre miljön kan i allmänhet uppfyllas med olika alternativa tekniska lösningar. För brukaren av en byggnad är det i grunden ointressant vilken teknisk lösning som valts, så länge inomhusmiljön är god.

För att inomhusmiljön skall bli god krävs att det valda tekniska systemet tillgodoser de innemiljökrav det är avsett att tillgodose, och att detta sker på ett störningsfritt sätt, d v s utan att exempelvis buller, drag eller andra problem uppkommer. Generellt gäller att risken för störningar ökar om det tekniska systemets komplexitet ökar. En förutsättning för att den valda tekniska lösningen skall bidra till en god inomhusmiljö är att systemet utformas, dimensioneras och underhålls på ett ändamålsenligt sätt.

En viktig del av detta arbete har varit att framhålla vikten av att valet och utformningen av de klimatstyrande installationerna i en byggnad baseras på väl definierade och kontrollerbara funktionskrav. En annan viktig del har varit att beskriva faktorer som har betydelse för inomhusmiljön och att redogöra för vilka krav som kan ställas på dem, bl. a. i form av myndighetskrav.

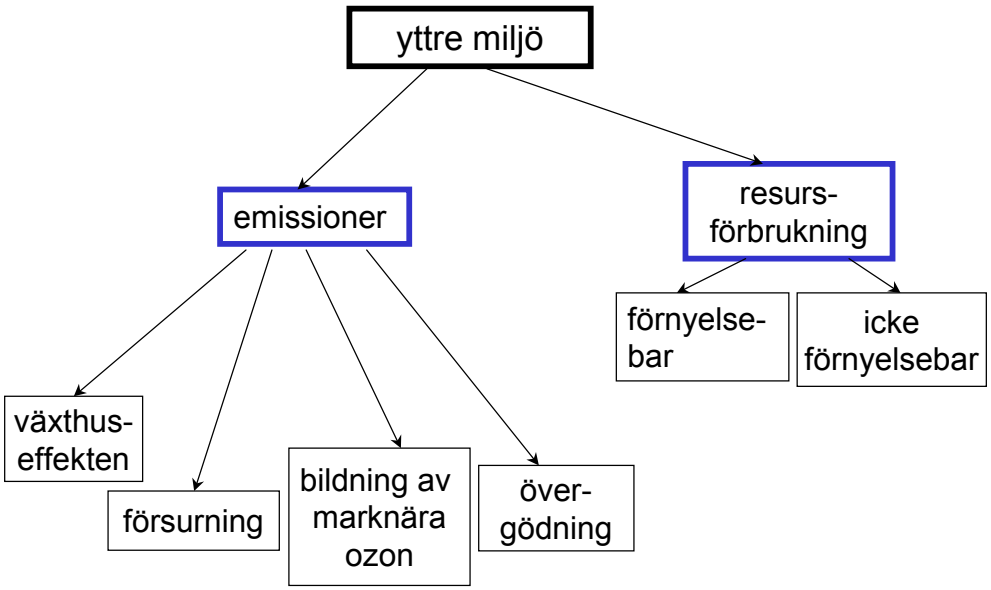
1.3.2 Yttre miljö

Påverkan på den yttre miljön är starkt beroende av det tekniska systemets effektivitet. Ju sämre verkningsgrad systemet har desto högre är förbrukningen av olika energislag och därmed också påverkan på miljön. Vilken energislag som det tekniska systemet använder bestämmer vilka miljöeffekterna blir. Påverkan på den yttre miljön kan delas in i emissioner och resursförbrukning (se figur 1.3).

Det är här viktigt att ha en helhetssyn. Påverkan på miljön beror inte enbart på de emissioner som sker vid själva byggnaden utan består också av emissioner som uppstår vid produktion av själva energislaget, vid byggnation av produktionsenheter, vid transporter av bränsle och byggnadsmaterial, vid upparbetning av restprodukter m.m. För att få en fullständig bild av ett energisystems miljöpåverkan har så kallade **livscykelinventeringar** (LCI) använts. Dessa summerar all påverkan ”ifrån vaggan till graven”, t.ex. ifrån det att olja utvinns ifrån marken till det att värme har producerats i byggnaden och alla restprodukter har tagits om hand.

Miljöpåverkan är också beroende av den totala förbrukningen av jordens resurser som sker under hela cykeln av att tillgodose ett energibehov. Resursförbrukningen klassas som förnyelsebar eller icke förnyelsebar. Exempel på förnyelsebara energiresurser är biomassa och vattenkraft d.v.s. resurser som inte tar slut utan kan nyskapas medan exempel på icke förnyelsebara energiresurser kan vara olja, naturgas, torv m.m.

I den första etappen av detta arbete har enbart emissionerna betraktats vilka har delats in i följande kategorier beroende av miljöpåverkan; växthuseffekten, försurning, bidrag till bildning av marknära ozon och övergödning.



Figur 1.3 Ett tekniskt systems påverkan på den yttre miljön. Påverkan är beroende av det tekniska systemets effektivitet och vilket energislag som systemet använder sig av.

2 Inre miljö

I föreliggande kapitel tydliggörs vikten av att valet och utformningen av en byggnads klimatstyrande installationer baseras på väl definierade och kontrollerbara funktionskrav. Vidare ges exempel på hur olika värmesystem kan inverka på inomhusklimatet i bostadshus, exempelvis genom störningar av olika slag. Kapitlet avslutas med en övergripande genomgång av faktorer som har betydelse för inomhusmiljön i icke industriella byggnader.

När det gäller kopplingen mellan den inre miljön och värmesystemet i byggnader kan följande konstateranden direkt göras:

- Det sätt på vilket energin produceras inverkar inte på värmesystemets förmåga att tillgodose det ställda kravet på inomhusluftens temperatur.
- Det gör inte heller det sätt på vilket energin transporteras till fastigheten eller distribueras i byggnaden, så länge det valda tekniska systemet utformats och dimensionerats på ett korrekt sätt.
- Däremot är det tänkbart att olika typer av värmeförsörjningssystem kan medföra olika typer av störningar i den inre miljön. Allmänt kan sägas att risken för driftsstörningar och behovet av service- och underhåll tenderar att öka ju mer komplext ett tekniskt system är.
- Att tillföra värme är i grunden tekniskt sett rätt okomplicerat. Med syftet att minska behovet av köpt energi förekommer det dock att man väljer mer komplicerade lösningar. Man bör vara medveten om att detta kan öka risken för störningar.

Motsvarande resonemang för övriga system för styrning av inomhusklimatet leder till följande konstaterande:

> Det är viktigt för den som vistas i ett rum att luften hålls tillräckligt ren, att temperaturen hålls vid önskad nivå samt att de tekniska systemen inte ger upphov till störningar i form av ljud, drag och liknande. Däremot är det i grunden ointressant med vilka medel dessa krav uppfylls, d.v.s. hur stort luftflödet är, hur den tillförda ventilationsluften är behandlad, hur och om luftflödet varierar, hur luften förs till eller från rummet eller hur luften värms, så länge kraven uppfylls.

Tyvärr är det alltför vanligt att diskussioner om klimatstyrande installationer inriktas på medlen, d.v.s. de tekniska lösningarna, istället för på funktionen, d.v.s. vad de tekniska lösningarna skall åstadkomma. Detta leder i många fall till att man driver fram eller bibehåller lösningar som inte är de bästa ur funktionssynpunkt. Vissa tekniska lösningar kan dock vara väl beprövade. Man vet att om man väljer en speciell lösning så uppfyller man ett visst funktionskrav. Det kan då vara försvarbart att ange denna speciella lösning som ett krav, men man måste här vara säker på att det verkligen är fråga om den lämpligaste lösningen och inte bara om en lösning bland flera möjliga.

2.1 Innemiljöfaktorer

Människans upplevelse av inomhusmiljön beror på en rad olika, ofta samverkande faktorer. Som figur 2.1 visar finns det vid sidan av de fysiska miljöfaktorerna en rad faktorer kopplade till individens upplevelse och tolkning av miljön. Exempelvis kan det vara viktigt att brukarna i en byggnad känner att de har en möjlighet att påverka inomhusklimatet, t.ex. genom fönstervädring. Människors värdering av den inre miljön kan också påverkas av relationer med andra människor och verksamhetens art. Även genetiska förutsättningar kan antas vara av betydelse för hur inomhusmiljön upplevs.

Fysisk miljö	**Faktorer kopplade till individen**
Luftkvalitet	Fysiologiska faktorer
Termiskt klimat	Sociala faktorer
Ljud	Psykologiska faktorer
Ljus	Genetiska faktorer
Elmiljö	

Figur 2.1 Faktorer som kan påverka människans upplevelse av inomhusmiljön.

Utformningen av byggnader och installationer styrs av grundläggande krav från myndigheter och önskemål från de människor som skall använda byggnaden. Vilka krav som ställs beror på vad byggnaden skall användas till. Det är härvid viktigt att kraven formuleras så att de i projekteringsprocessen kan ligga till grund för tekniska lösningar.

För att det skall vara möjligt att kontrollera att de krav som ställts på den fysiska innemiljön är uppfyllda är det nödvändigt att uttrycka dessa i mätbara storheter. Till exempel kan krav ställas på inomhusluftens temperatur genom att man anger hur stor andel av tiden (t.ex. timmar per år) man kan acceptera att en viss temperatur överskrids. Vidare kan krav på inomhusluftens kvalitet ställas i form av högsta tillåtna koncentrationer av luftburna föroreningar. Tabell 2.1 ger exempel på sådana mätbara storheter.

Tabell 2.1 Exempel på mätbara storheter som kan påverka människans upplevelse av inomhusmiljön.

Luftkvalitet	Termisk komfort	Ljud	Ljus	El-miljö
gaskoncentration partikelkoncentration	temperatur lufthastighet	nivå frekvens efterklangstid	styrka kontrast	elektromagnetiska fält

Myndigheternas krav beträffande inomhusmiljön är ofta allmänt formulerade och speciellt när det gäller luftburna föroreningar existerar endast undantagsvis fastställda kravnivåer. Detta beror inte nödvändigtvis på att faktorer som inte omfattas av myndighetskraven är oviktiga ur hälsosynpunkt, utan på att kunskapen om många faktorers betydelse är begränsad. De riktlinjer avseende inomhusmiljön som publicerats av såväl myndigheter som olika intresse- och branschorganisationer baseras på den kunskap som framkommit under åren. Man kan dock konstatera att åtskilligt arbete återstår innan några heltäckande riktlinjer kan fastställas.

I avsnitt 2.4-2.6 behandlas de faktorer som är möjliga att påverka med de tekniska installationerna, d.v.s. termisk komfort, luftkvalitet, ljud och ljus. Dessa avsnitt är avsedda att ge en övergripande bild av faktorer som är av vikt i icke industriella byggnader. En mer detaljerad framställning på detta tema återfinnes exempelvis i den senaste utgåvan av VVS-handboken [5].

2.2 Från krav till tekniska lösningar

Vid projekteringen av en byggnad sker valet av tekniska lösningar utgående ifrån de ställda kraven och med kunskap om byggnadens utformning. Det är härvid mycket viktigt att hela byggprocessen genomförs på ett genomtänkt sätt, och att strävan att skapa en bra miljö startar redan i det tidiga projekteringsskedet. Formulering av väl genomtänkta krav och analys av konsekvenserna av dessa krav är viktiga moment i sammanhanget. Man kan konstatera att det i allmänhet går att hitta alternativa tekniska lösningar som kan uppfylla samma krav. Det viktiga är att en lämplig teknisk lösning väljs, och att denna utformas och dimensioneras på ett korrekt sätt. Detta gäller såväl själva byggnaden som de tekniska systemen för klimatstyrning.

2.2.1 Byggnaden och dess klimatstyrande installationer

För att en byggnad skall få ett acceptabelt rumsklimat med avseende på termisk komfort och luftrenhet krävs klimatstyrande installationer. De klimatstyrande installationernas uppbyggnad bestäms av:

- de krav som ställs på inneklimatet
- den verksamhet som bedrivs i byggnaden
- byggnadens byggnadstekniska utformning

En förutsättning för att de krav som ställts på inomhusklimatet skall uppfyllas är att man vid projekteringen tar hänsyn till byggnadens utformning och andra faktorer som har betydelse för inomhusklimatet. Av avgörande betydelse är naturligtvis också att de tekniska systemens funktion över tiden säkerställs. I detta sammanhang är det av vikt att systemen utformas så att service och underhåll underlättas, samt att driftspersonalen har insikt i anläggningens funktion och de nödvändiga kunskaperna för att sköta anläggningen. Detta är av vikt, inte bara som ett led i att säkerställa ett inneklimat som är i överensstämmelse med de krav som ställts, utan också för att säkerställa att anläggningen drivs på ett så energieffektivt och störningsfritt sätt som möjligt. Kopplingen mellan energieffektiviseringar i byggnader och inomhusklimatet belyses i [6] varur delar av redogörelsen nedan hämtats.

Planeringen av en byggnad måste alltid utgå ifrån vad verksamheten kräver. Detta gäller oberoende av om det är frågan om att bygga nytt eller att bygga om. Verksamhetens direkta behov är emellertid inte de enda som behöver beaktas. Vid uppförande av nya byggnader kan den som uppför byggnaden, byggherren, kräva att den har egenskaper som säkerställer byggnadens värde i ett längre perspektiv, att den är lättskött, osv.

Allmänt gäller att en byggnad måste:

- ha en utformning som är väl lämpad för den verksamhet byggnaden är avsedd
- i alla avseenden fungera väl för de människor som vistas i den
- vara beständig, vilket för permanenta byggnader innebär att de med adekvat underhåll skall fungera utan problem i många decennier.

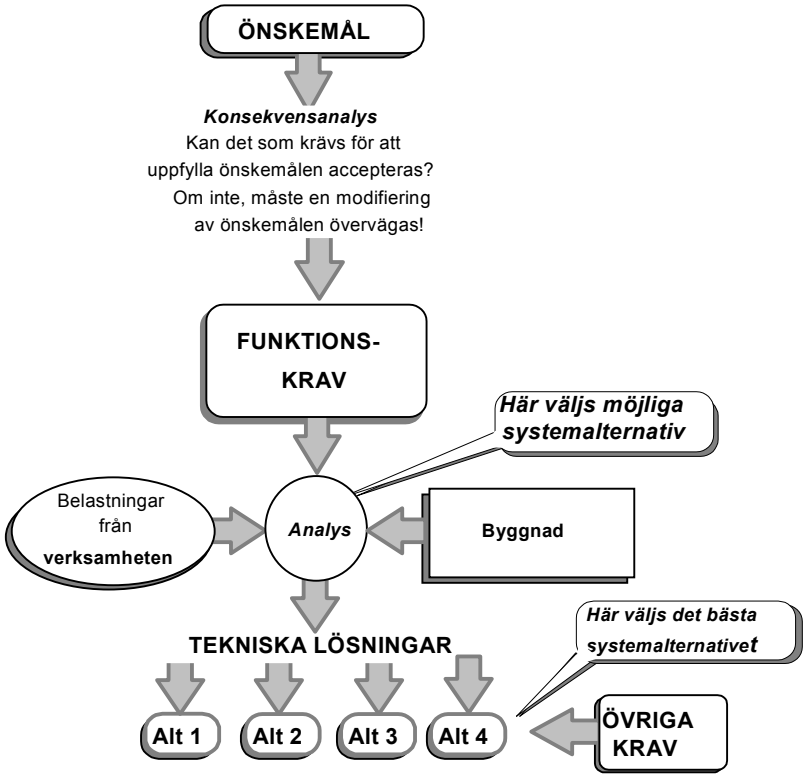
2.2.2 Verksamhets- och byggnadsknutna krav

Olika ändamål och olika slag av verksamhet innebär olika krav. Ett bostadshus exempelvis måste uppfylla vissa krav för att kunna användas väl, medan ett sjukhus eller ett kontorshus måste ha egenskaper som är i väsentliga avseenden annorlunda. Oberoende av vad för verksamhet det är fråga om måste kraven formuleras på ett klart och entydigt sätt.

Krav som är en förutsättning för verksamheten i byggnaden benämns *verksamhetsknutna krav* och måste alltid uppfyllas. Myndighetskrav måste uppfyllas för att byggnaden skall få byggas och användas, och ordnas därför lämpligen in bland de verksamhetsknutna kraven. Krav som karakteriseras av att byggnaden förfaller eller på annat sätt sjunker i värde om de inte uppfylls benämns *byggnadsknutna krav*. Inom ramen för byggnadsknutna krav formuleras krav bl.a. för att säkerställa:

- effektivt utnyttjande av utrymmen
- energieffektivitet
- minimerad livstidskostnad
- ekologi och kretsloppstänkande

De byggnadsknutna kraven är väl så viktiga som de verksamhetsknutna, men de utgör inte en direkt förutsättning för att byggnaden skall kunna användas för sitt ändamål. Uppfyllandet av de byggnadsknutna kraven får därför aldrig leda till att man åsidosätter de verksamhetsknutna kraven. I figur 2.2 åskådliggörs processen från verksamhetsknutna krav till teknisk lösning vid projektering av en byggnads klimatsystem.



Figur 2.2 Vägen från brukarens önskemål och verksamhetsknutna krav till teknisk lösning [7].

2.2.3 Tekniska lösningar

När man formulerar verksamhetsknutna krav måste man alltid vara helt säker på att det verkligen är en funktion som anges och inte en av flera tänkbara åtgärder

eller tekniska lösningar som kan åstadkomma den funktion som efterfrågas. Man måste alltså identifiera funktionen. Denna måste sedan uttryckas så att den blir dels entydigt definierad, dels entydigt kontrollerbar.

Det här kan exemplifieras med det verksamhetsknutna kravet att luften inomhus skall vara ren, dvs. att dess halt av partiklar och förorenande gaser inte får överstiga en viss kravnivå. I rum där människor är verksamma uttrycker man ofta detta genom att ange den högsta tillåtna koldioxidhalten. Detta är ett relativt grovt sätt att definiera funktionen, som dock är fullt tillräckligt i många fall.

För att koldioxidhalten skall hållas under den tillåtna nivån ventilerar man rummet med ett så stort tillflöde av uteluft att koldioxidhalten inte överskrider den tillåtna gränsen. Ventilation med ett visst luftflöde är således den tekniska lösning som valts för att uppfylla det verksamhetsknutna kravet. Krav på ett visst luftflöde är alltså inte ett verksamhetsknutet krav eftersom luftflöde är en teknisk lösning för att åstadkomma ett visst krav, i det här fallet luftrenhet. För den som vistas i rummet är det i grunden ointressant om luftflödet är stort eller litet, bara luften i rummet uppfyller de renhetskrav man ställer. Med samma resonemang kan man konstatera att det är ointressant om byggnaden försörjs med värme genom eldning av något bränsle i en värmepanna, genom fjärrvärme eller genom direktverkande el, så länge kravet på inomhusluftens temperatur uppfylls. Vilket av dessa alternativ som väljs påverkar inte möjligheten att uppfylla temperaturkravet. Det viktiga är att det valda systemet utformas och dimensioneras på ett korrekt sätt.

Det är i systemlösningsskedet som utformningen av byggnadens tekniska system och deras funktion avgörs. Arbetsinsatserna till och med systemslösningsskedet utgör normalt en förhållandevis liten andel av de totala arbetsinsatserna under projekteringsprocessen. Detaljprojekteringen som följer när systemlösningen är fastlagd innebär vanligen betydande arbetsinsatser, men är i huvudsak endast ett tekniskt genomförande av de lösningsprinciper som slagits fast i systemlösningsskedet.

2.3 Klimatstyrande installationer i bostadshus

I ett bostadshus får det aldrig bli obehagligt kallt, medan man däremot normalt kan acceptera rätt höga temperaturer inomhus när det är varmt ute. I nordiskt klimat är det förhållandevis sällan det blir riktigt varmt ute. När det blir för varmt inomhus öppnar man fönster för att vädra ut värmeöverskottet. I ett bostadshus är det i allmänhet endast värmeunderskottet, under den kallare delen av året, som är av intresse. Värmeunderskottet måste kompenseras av ett värmesystem.

De enfamiljshus som byggdes under 60-talet krävde normalt en värmeeffekt på 10-15 kW de kallaste vinterdagarna, och värmebehovet för uppvärmning var runt 20-30 MWh/år. Under 70-talet och 80-talet bidrog byggtekniken till mindre värmeförluster, genom mer värmeisolering och mindre okontrollerat läckage genom byggnadsskalet. Enfamiljshus som byggs idag kräver 5-10 kW när det är som kallast. Det totala värmebehovet för värmning av huset och för värmning av

tappvarmvatten kan ligga neråt 8 MWh/år, under förutsättning att systemet är utrustat med någon form av värmeåtervinning.

2.3.1 Värmning av bostadshus

Som redan framhållits, inverkar det sätt på vilket värmeenergin produceras inte på värmesystemets förmåga att tillgodose det ställda kravet på inomhusluftens temperatur. Det gör inte heller det sätt på vilket energin transporteras till fastigheten eller distribueras i byggnaden. Däremot är det tänkbart att olika typer av värmeförsörjningssystem kan medföra störningar i den inre miljön. Det kan här vara fråga om störningar exempelvis i form av buller eller kallras.

Byggnader kan värmas med förhållandevis okomplicerade tekniska system. För att minska behovet av köpt energi förekommer det dock att man väljer mer komplicerade lösningar. Allmänt kan man säga att risken för driftsstörningar och behovet av service- och underhåll tenderar att öka ju mer komplext ett tekniskt system är.

Nedan ges exempel på hur delsystem och komponenter för värmning av bostäder kan tänkas inverka på inneklimatet, förutom att de skall hålla rätt temperatur på inomhusluften. De två första exemplen i framställningen nedan rör central produktion av värme i panna etc. medan övriga exempel är kopplade till överföringen av värme till rumsluften.

Förbränning i värmepanna eller kamin
Eldning innebär lokala utsläpp av föroreningar till utomhusluften. Idag framhålls från medicinskt håll att föroreningar från förbränning av exempelvis biobränslen kan ha en starkt negativ inverkan på människors hälsa. Förbränning i pannor får alltså lokalt konsekvenser för den yttre miljön. Beroende bl.a. på rökgasutsläppets och luftintagets lägen i förhållande till varandra kan alltså eldning av bränslen också bli ett innemiljöproblem.

Värmepump
Ljudalstringen från värmepumpar kan vara av betydelse. Av det som sagts i föregående avsnitt kommer detta dock inte att utgöra något problem om projekteringsprocessen omfattat 1) en genomtänkt kravformulering och 2) val av ändamålsenliga tekniska lösningar som säkerställer att kraven uppfylls. Det vill säga att de ställda kraven på ljudmiljön skall föranleda att nödvändiga åtgärder vidtas mot spridning av ljud, t.ex. från en eventuell värmepump och andra bullerkällor.

Vidare hävdas det ibland att en installation av frånluftsvärmepump med automatik innebär en fördel ur luftkvalitetssynpunkt. Detta är en missuppfattning som möjligen har sin grund i att en av förutsättningarna för att en frånluftsvärmepump skall fungera korrekt är att frånluftsflödet är tillräckligt stort. Således medför en korrekt fungerande frånluftsvärmepump att byggnaden ventileras med ett luftflöde som sannolikt är tillräckligt ur lufthygiensynpunkt. Det förefaller dock rätt långsökt att säkerställa tillräckliga ventilationsluftflöden med en värmepumpsinstallation.

Radiatorer och konvektorer
Om värme produceras med hjälp av elradiatorer eller elkonvektorer direkt i det rum som skall värmas talar man om direktverkande el. Detta kan i vissa fall medföra höga yttemperaturer på de värmealstrande apparaterna. Störningar exempelvis i form av lukter orsakade av att damm "bränns" på radiatorns yta kan då uppkomma. Vidare kan problem med kallras uppstå om värmeeffekten regleras intermittent (av/på) exempelvis med hjälp av en bimetalltermostat. Det måste i detta sammanhang påpekas att det idag är vanligt med "mjukvärmande" radiatorer, med tillräckligt låga och jämna yttemperaturer för att nämnda problem inte skall uppkomma. Med ”mjukvärmande” radiatorer kommer man nära de regleringsmöjligheter som radiatorer i vattenburna system medger.

Golvvärme
Golvvärme kan arrangeras antingen som direktverkande el eller vattenburen värme och har alltså ingen automatisk koppling till ett specifikt sätt att distribuera värme i byggnaden. Golvvärme påverkar upplevelsen av det termiska klimatet i och med att människokroppen är i direktkontakt med den värmeöverförande ytan. Detta kan betraktas som en fördel ur komfortsynpunkt. Här bör poängteras att det vid golvvärme kan behöva ställas särskilda krav på fönstrens värmegenomgångs-koefficient för att undvika kallras. Jämfört med radiatorer och konvektorer är golvvärmesystem tröga.

Luftvärmesystem
I byggnader med luftvärmesystem har värmesystemet integrerats i ventilations-systemet. Sådana byggnader tillförs värme genom värmning av den luft som tillförs rummen via ventilationssystemet. Ibland framförs missuppfattningen att byggnader som tillförs luft som förvärmts i ett luftbehandlingsaggregat får ett sämre inomhusklimat p.g.a. torrare inomhusluft än byggnader som ventileras genom självdrag eller med ett frånluftssystem. Utan att fördjupa framställningen på det ventilationstekniska området bör man här påpeka att det som avgör inomhusluftens relativa fuktighet är uteluftens tillstånd, den interna fuktgenereringen, ventilationsflödet och inomhusluftens temperatur. Dessa faktorer är samtliga oberoende av var eller hur luften värms.

2.3.2 Sammanfattande kommentarer angående värmesystemets inverkan på inomhusmiljön

När det gäller den inre miljön kan man konstatera att valet av energislag inte påverkar möjligheten att tillgodose ställt klimatkrav avseende inomhusluftens temperatur. Det gör heller inte valt system för distribution av energi i byggnaden. Oavsett vilket energislag eller vilket värmesystem som väljs är en förutsättning för önskat klimat att systemet utformas, dimensioneras och underhålls på ett ändamålsenligt sätt. Vid utformning av systemet måste hänsyn tas till risken för att störningar uppkommer.

2.4 Termiskt klimat

Värmeutbytet mellan en människa och hennes omgivning beror främst på luftens temperatur, luftens rörelser och strålning från ytor (t.ex. kalla fönsterytor) samt den aktivitetsnivå personen har och klädernas värmeisolerande effekt. En av flera viktiga parametrar i detta sammanhang är den riktade operativa temperaturen, vilken är en sammanvägning av luftens temperatur och den riktade medelstrålningstemperaturen mot omgivande ytor.

Även om den operativa temperaturen är optimal och det inte förekommer några störande luftrörelser kan dock aldrig en och samma miljö förväntas tillfredsställa alla i en grupp bestående av flera personer. Man har visat att ca 5 % av personerna i en population kan förväntas vara missnöjda med den termiska komforten, även vid termiska förhållanden som förefaller vara optimala. Möjligheten till *individuell styrning* av det termiska klimatet anses därför ofta vara av stort värde.

Även om en person är i termisk jämvikt med sin omgivning, varken fryser eller tycker att det är för varmt, kan lokala problem uppstå t.ex. i form av en lokal avkylning av någon kroppsdel på grund av strålning eller drag. Det bör här påpekas att risken för upplevelse av drag ökar med sjunkande lufttemperatur och ökande luftrörelser (förutom luftens hastighet också hastighetens fluktuationer). Andra problem av denna art kan orsakas av allt för kalla golv eller för stora vertikala temperaturgradienter. Brister i den termiska komforten ger inte bara upphov till obehag och missnöje, de kan också leda till nedsatt prestationsförmåga och produktivitet.

När den termiska komforten skall bedömas i ett rum kan det i många fall anses rimligt att endast ta hänsyn till den del av rummet som används. Ett viktigt begrepp i sammanhanget är således *vistelsezonen*. Det finns olika definitioner av vistelsezonen [8, 9], vilka dock inte berörs vidare här. Det bör emellertid framhållas att den, med hänsyn till termisk komfort, användbara delen av ett rum kan komma att begränsas beroende t.ex. på utformningen och placeringen av tilluftsdon.

Utöver ovan berörda klimatparametrar används ytterligare några begrepp för att beskriva det termiska klimatet. Exempelvis om luftens hastighet överstiger ca 0,15 m/s ökar risken för obehag i form av upplevelse av drag markant. En parameter som tar hänsyn till detta är den ekvivalenta temperaturen, vilken beräknas som summan av den operativa temperaturen och en hastighetsberoende term. Det har visat sig att denna korrigeringsterm (i ºC) är av storleksordningen 8 gånger lufthastigheten då denna räknas i m/s [10].

För att ta hänsyn till risken för dragupplevelse kan man även använda det s.k. PD-indexet. PD står i detta fall för engelskans ”Percentage Dissatisfied” och indexet är tänkt att spegla hur stor andel personer i en större grupp som kan förväntas uppleva obehag i form av drag. I den internationella standarden ISO 7730 [11] har PD-indexet givits beteckningen DR (Draught Risk) och standarden anger hur indexet kan beräknas utifrån luftens temperatur, hastighet och hastighetens

fluktuationer. Ett annat klimatindex som behandlas i nämnda standard är det s.k. PPD-indexet (Predicted Percentage Dissatisfied), vilket även tar hänsyn till bl.a. klädernas och den fysiska aktivitetens betydelse för upplevelsen av det termiska klimatet.

Luftfuktighetens inverkan på klimatupplevelsen kan anses relativt välkänd. Här kan exempelvis nämnas att det forskarlag som leds av professor Fanger vid Danmarks tekniska universitet under senare år publicerat forskningsresultat som bekräftar att sval luft med låg fuktighet ofta upplevs som friskare och mindre förorenad än varm och fuktig luft.

Mera oklart är däremot vilka hälsoeffekter luftfuktigheten kan ge upphov till och då framförallt effekterna av mycket låg luftfuktighet. Det finns exempelvis undersökningar som tyder på att antalet luftvägsinfektioner har reducerats när man vintertid har uppfuktat inomhusluften. Å andra sidan har flera undersökningar visat att besvär som uppfattats bero på torr luft i många fall haft andra förklaringar. Att minska halten luftburet damm eller minska risken för elektrostatiska urladdningar kan också vara skäl till att hålla uppe inomhusluftens fuktighet.

Även alltför hög luftfuktighet bör undvikas. På platser med varmt och fuktigt klimat är det angeläget att utnyttja luftbehandlingssystemen för att sommartid minska luftfuktigheten inomhus. Problem kan dock uppkomma även på platser med kallt klimat. Ett exempel på detta är mögelproblemen i bostäder, som ofta sammanhänger med att luftfuktigheten stigit till för höga värden på grund av otillräcklig luftväxling.

2.4.1 Krav och riktlinjer för termiskt klimat

Boverkets Byggregler [12] anger att byggnader som innehåller bostäder, arbetslokaler eller likvärdiga utrymmen, där personer vistas mer än tillfälligt, skall utformas så att ett tillfredsställande termiskt inomhusklimat kan erhållas.

De mer konkret formulerade råden som ges i samma skrift säger bl.a. att den riktade operativa temperaturen i vistelsezonen skall kunna beräknas till 18°C i bostads- och arbetsrum och till 20°C bl.a. i vårdlokaler och daghem. Vidare ges råd angående maximalt tillåten temperaturskillnad mellan olika platser i rummet, golvtemperatur och lufthastighet.

Byggreglernas krav och råd gäller vid ny- och ombyggnad. För byggnader i drift gäller däremot arbetarskyddsstyrelsens och socialstyrelsens författningssamlingar, exempelvis SOSFS 1988:2, *Termiskt klimat*.

Utöver ovannämnda myndighetskrav tillämpas i Sverige ibland VVS Tekniska Föreningens riktlinjer för inomhusklimatet [13]. I dessa riktlinjer, vilka i första hand är avsedda att användas som hjälpmedel vid projektering, ges man möjlighet att välja olika nivåer på den termiska komforten, i form av fyra olika klimatklasser. Tre av klimatklasserna definieras av mer eller mindre snäva intervall för en rad termiska klimatparametrar. Den fjärde klimatklassen har inte

definierats på förhand, utan är tänkt att från fall till fall kunna anpassas till den aktuella verksamheten.

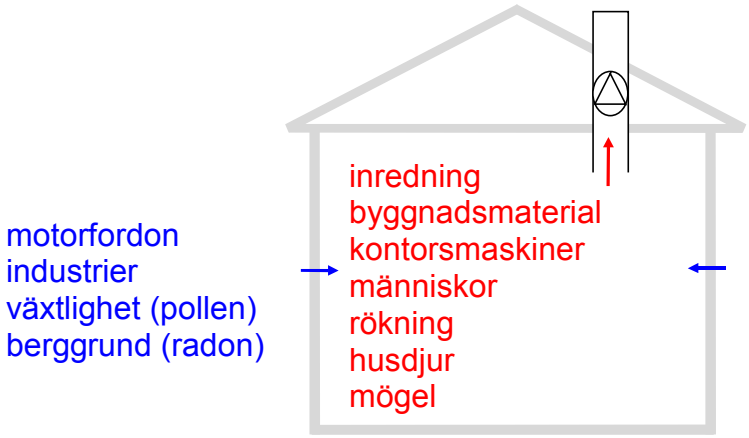
VVS Tekniska Föreningens riktlinjer ansluter till den internationella standarden ISO 7730 genom att det ovan nämnda PPD-indexet används. Klimatklassen TQ1 är tänkt att motsvara ett PPD-index lägre än 10 % vilket alltså betyder att maximalt 10 % av de som vistas i lokalen förväntas vara missnöjda med det termiska klimatet. Klimatklasserna TQ1 och TQ2 motsvarar PPD-index på 10 % respektive 20 %.

Utöver den internationella standarden ISO 7730 finns också exempelvis den amerikanska standarden ANSI/ASHRAE 55-1992 [9].

2.5 Luftkvalitet

Inomhusluftens innehåll av förorenande ämnen är starkt beroende av tilluftens renhet, vilket i sin tur innebär att föroreningshalterna i utomhusluften kan vara av avgörande betydelse för inomhusmiljön. Under transporten genom luftbehandlings- och luftdistributionssystemen finns dock möjlighet till förbättring av luftens kvalitet, eller under olyckliga omständigheter, risk för försämring av tilluftens kvalitet.

Många av de föroreningar som finns i inomhusluften alstras dock inomhus. Som figur 2.3 visar kan dessa föroreningar ha flera olika ursprung. Bland annat kan byggnads- och inredningsmaterial avge en rad olika organiska ämnen. Under de senaste tio åren har forskningen på området bidragit till en utveckling av lågemitterande bygg- och inredningsmaterial.



Figur 2.3 Exempel på källor till luftburna föroreningar inomhus.

2.5.1 Luftkvalitetens betydelse för hälsa och välbefinnande

Vissa av de föroreningar som återfinns i inomhusluften kan orsaka obehag i form av störande lukter. En rad ämnen är allergiframkallande, medan andra ämnen kan vara irriterande för människans slemhinnor. I vissa fall kan luften också innehålla ämnen som har en direkt giftig verkan.

Allt fler medicinska observationer tyder på att luftburet damm har stor betydelse för människors hälsa och välbefinnande, även i icke industriella miljöer. Allergiframkallande ämnen t.ex. i form av pollenallergen och allergen från husdjur utgör idag ett allt mer uppmärksammat problem för den stora grupp människor som lider av luftvägsallergier. Vidare har exponeringsförsök i testkammare visat att luftburet damm kan ge hälsomässiga effekter, även hos friska, icke allergiska personer. Små partiklar med ursprung i fordonstrafik kan också utgöra en risk för ohälsa inomhus om dessa ämnen inte effektivt filtreras bort från den ventilationsluft som tillförs byggnader belägna nära hårt trafikerade gator.

Under de senaste årtiondena har förekomsten av allergier och annan överkänslighet ökat i stora delar av världen, och det finns belägg för att inomhusmiljön är av stor vikt i detta sammanhang. Ungefär 1/3 av barnen i Sverige har eller har haft någon form av allergisk sjukdom och risken för uppkomst av allergi förefaller vara störst under de tidiga levnadsåren. Det anses därför vara speciellt angeläget att säkerställa en god miljö där barn vistas, t.ex. i daghem, skolor och bostäder.

2.5.2 Ventilation och föroreningshalter

Begreppet ventilation innebär att det sker ett utbyte av luft i ett utrymme. Om ventilationssystemet i en byggnad arrangeras på lämpligt sätt kan den användas för två huvudsyften, nämligen: 1) borttransport av luftföroreningar, och 2) temperaturhållning (t.ex. borttransport av värmeöverskott). I t.ex. bostäder och ofta även i laboratorielokaler är det de hygieniska kraven som är dimensionerande för uteluftsflödets storlek, medan det exempelvis i kontor istället kan vara kraven på termisk komfort som är dimensionerande. Om kylbehovet täcks genom separata system, till exempel då kyltak används, kan dock de hygieniska kraven vara dimensionerande även i kontor.

Genom att ventilationssystemen utformas på ett sådant sätt att de aktuella lokalerna effektivt ventileras, kan koncentrationerna av gaser och partiklar hållas på en så låg nivå att olägenheter undviks. Vid korrekt utformning och lämplig placering av tilluftsdon, i kombination med en lämplig temperatur på tilluften, kan man undvika risken för lokalt förhöjda föroreningskoncentrationer på grund av kortslutningseffekter. En förutsättning för att det skall vara praktiskt möjligt att ventilera ett rum så att en god luftkvalitet erhålls är att de interna föroreningskällornas styrka inte är allt för stor. En orimligt kraftig föroreningsgenerering leder till orimligt stora luftflöden, vilket i sin tur kan leda till olägenheter i form av störande lufthastigheter och hög energianvändning.

Luftens kvalitet inomhus, d.v.s. inomhusluftens innehåll av förorenande ämnen bestäms alltså av tilluftens renhet, förekomsten, styrkan och arten av interna föroreningskällor i byggnaden samt luftflödets storlek och ventilationens effektivitet. Otillfredsställande kvalitet på luften inomhus kan följaktligen bero antingen på att föroreningsbelastningen är för hög, eller på att ventilationssystemet inte har korrekt funktion. En förändring av verksamheten i lokalen kan exempelvis leda till en ökad föroreningsbelastning. Felaktig hantering av byggmaterial, bristande underhåll av byggnader samt fuktskador på byggnadsdelar är andra exempel på orsaker till orimligt hög föroreningsalstring inomhus.

Ett missnöje med inomhusluftens kvalitet kan alltså inte utan vidare uttryckas som att "ventilationen är dålig". Ett konstaterande att ventilationen i en lokal är dålig måste baseras på en jämförelse mellan ventilationssystemets verkliga funktion och den projekterade funktionen.

2.5.3 Rening av ventilationsluft

En förutsättning för att ventilationen av en byggnad skall ge önskat resultat vad gäller inomhusluftens kvalitet är att halten hälsovådliga föroreningar i uteluften är låg. Om så inte är fallet måste den tillförda uteluften renas effektivt. I stadsmiljö förefaller i första hand partiklar och sådana gaser som kolmonoxid, kvävedioxid, svaveldioxid och ett antal kolväten utgöra risker för hälsoproblem. Bland de senare bör man speciellt observera de polycykliska aromatiska kolvätena.

Det ställs idag inte några krav på halterna av partiklar och damm i icke industriella byggnader. Därför beaktas inomhusluftens innehåll av partiklar vanligtvis inte på annat sätt än att man, där det är aktuellt med mekanisk tillufts- och frånluftsventilation, mer eller mindre schablonmässigt väljer en viss typ av *partikelfilter* för filtrering av tilluften. I byggnader som ventileras genom självdrag eller frånluftsventilation bortser man ofta helt från behovet av luftfiltrering.

För rening av luft med avseende på gasformiga föroreningar finns idag även *gasadsorptionsfilter* tillgängliga. Gasrening av ventilationsluft förekommer emellertid endast sällan i dagens luftbehandlingssystem i bostäder, kontor och andra lokaler. Det är dock tekniskt sett relativt enkelt att skilja av flertalet kolväten samt exempelvis kvävedioxid och svaveldioxid med hjälp av gasadsorptionsfilter.

Idag finns även effektiva *rumsluftsrenare* tillgängliga. Genom att välja tillräckligt stora och tillräckligt många sådana luftrenare i förhållande till det aktuella ventilationsflödet kan man åstadkomma en betydande reduktion av partikelhalterna inomhus, oavsett om partiklarna ursprungligen alstrats inomhus eller utomhus. Rumsluftsrenare kan också förses med gasadsorptionsfilter. Tekniken ger möjlighet att reducera halterna av luftburna föroreningar också i byggnader där filtrering av tilluften saknas, d.v.s. i byggnader ventilerade genom självdrag eller frånluftsventilation. Det bör här poängteras att även om en luftrenare uppvisar nära 100 % avskiljningsgrad så har den endast liten effekt på föroreningshalten i ett rum om inte luftflödet genom luftrenaren är tillräckligt stort.

2.5.4 Krav och riktlinjer för luftkvalitet

Boverkets byggregler, BFS 1998:38 [12] gäller vid ny- och ombyggnad och anger att luftkvaliteten i byggnader skall vara tillfredsställande med hänsyn till allmänna hygienkrav, och att krav på inomhusluftens kvalitet skall ställas med beaktande av den verksamhet som avses bedrivas i rummen.

Enligt byggreglerna gäller ett generellt krav på att rum skall ha kontinuerlig ventilation motsvarande ett lägsta uteluftsflöde om 0,35 l/s, m^2 golvarea när rummet används. Vidare rekommenderas för sovrum ett lägsta uteluftsflöde på 4,0 l/s och sovplats, och för samlingslokaler, butikslokaler o.d. 7,0 l/s och person. Utöver dessa krav och råd avseende uteluftsflödets storlek ger byggreglerna rekommendationer för lägsta frånluftsflöde för olika typer av utrymmen. Angreppssättet är här alltså att föreskriva luftflöden som ger en liten risk för att luftkvalitetsproblem skall uppstå.

När det gäller tilluftens kvalitet hänvisas till de riktvärden som publicerats av Statens Naturvårdsverk avseende uteluftens föroreningsinnehåll [14]. Vidare ställer byggreglerna krav på att inomhusluftens halt av radongas maximalt får uppgå till 200 Bq/m^3 räknat som årsmedelvärde i rum där personer vistas mer än tillfälligt. I övrigt ställer byggreglerna inga krav på högsta tillåtna halter av luftföroreningar inomhus.

För befintliga byggnader i drift gäller krav ställda av arbetarskyddsstyrelsen och socialstyrelsen. För bostäder ges rådet att det specifika luftflödet inte bör understiga 0,5 rumsvolymer per timma, och att uteluftsflödet inte bör understiga 0,35 l/s och m^2 golvarea eller 4 l/s och person [15]. För arbetslokaler, skolor och lokaler för barnomsorg ges rådet att uteluftsflödet inte bör underskrida 7 l/s och person vid stillasittande sysselsättning, och att ett tillägg om 0,35 l/s m^2 golvarea dessutom bör göras [15, 16]. Vidare anger myndigheterna att halten radongas maximalt kan tillåtas uppgå till 400 Bq/m^3 i befintliga byggnader [17].

Till och med år 1999 angav socialstyrelsen dessutom att formaldehydhalter i inomhusluften över 0,2 ppm och kolmonoxidhalteter över 2 ppm (orsakad av tobaksrökning) skulle kunna vara skäl att klassa inomhusmiljön som sanitär olägenhet [18, 19]. Dessa båda krav har tagits bort och beträffande halten formaldehyd hänvisar man istället till de strängare riktlinjer som formulerats av världshälsoorganisationen, WHO. I Sverige har dessa riktlinjer inarbetats i VVS Tekniska Föreningens publikation ”Klassindelade inneklimatsystem” [13], se nedan. Vidare anses ett krav avseende kolmonoxid till följd av tobaksrökning överflödigt med tanke på de restriktioner som ges av den nya tobakslagen.

Både arbetarskyddsstyrelsen och socialstyrelsen [15, 16] anger att en koldioxidhalt i inomhusluften överstigande 1000 ppm indikerar att luftkvaliteten inte är tillfredsställande och att ventilationsflödet är otillräckligt. Det bör i detta sammanhang framhållas att koldioxid i sig inte utgör någon hälsorisk vid de halter som normalt uppkommer, ens i lokaler med låga luftflöden och hög person-belastning. Koldioxid används istället som en indikator för andra föroreningar som alstras av människors aktivitet. Det är här fråga om både partikelformiga

föroreningar och föroreningar i gasfas, av vilka flera är förknippade med störande lukter. En intressant iakttagelse är att det krävs ett uteluftsflöde på ca 7-8 l/s och person för att hålla koldioxidhalten vid 1000 ppm, alltså råder det en god överensstämmelse mellan det angivna kravet på koldioxidhalt och byggreglernas rekommendation på 7 l/s och person i samlingssalar o.d.

Utöver de ovan berörda myndighetskraven finns i Sverige rekommendationer för luftens renhet. Exempelvis har VVS Tekniska Föreningen publicerat riktlinjer, främst avsedda som hjälpmedel vid projektering, där man på motsvarande sätt som för termiskt klimat ges möjlighet att välja mellan olika luftkvalitetsklasser [13]. Varje luftkvalitetsklass innebär olika maximala halter av ett större antal föroreningar än vad som omfattas av de svenska myndighetskraven för icke industriella lokaler. Bl.a. ges rekommendationer avseende högsta godtagbara halter av kvävedioxid, ozon, damm och formaldehyd. För exempelvis formaldehyd anges gränserna 50 $\mu g/m^3$ respektive 100 $\mu g/m^3$ beroende på vilken luftkvalitetsklass som avses.

2.6 Ljud

Många enkätundersökningar i arbetslokaler och bostäder har visat att buller är en av de miljöstörningar inomhus som upplevs mest besvärande. Detta gäller även i byggnader som uppfyller myndigheternas krav på ljudmiljön. Det finns därför skäl att försöka åstadkomma inomhusmiljöer som med god marginal klarar myndigheternas ljudkrav.

I vad mån människor exponeras för buller beror i hög grad på utformningen av den byggda miljön. Det gäller att minimera det oönskade bullret men även att se till att önskat ljud i t.ex. klassrum och samlingslokaler hörs så bra som möjligt. Några för installationstekniker och byggnadstekniker viktiga begrepp inom akustiken behandlas nedan. Framställningen är till stora delar i överensstämmelse med den information som ges i ett kompendium från institutionen för Teknisk akustik, CTH [20].

2.6.1 Störningar på grund av ljud

Buller definieras ofta som ej önskvärt ljud. Redan i definitionen antyds att störningen på grund av buller kan ha en subjektiv aspekt. Ett visst ljud kan för en person vara njutbart medan en annan upplever det som buller. Som exempel kan nämnas olika slags musik.

Störningen på grund av ljud måste inte nödvändigtvis vara kopplad till höga ljudnivåer. Ljud som normalt maskeras av andra ljud och därför inte hörs, kan vid vissa tillfällen framträda klart och tydligt. Det kan t.ex. gälla en droppande kran eller tickandet från en klocka. Lågfrekvent buller från fläktanläggningar, ofta med tonal karaktär, kan uppfattas som mycket störande även om nivån är mycket låg. Även sådant buller kan ha en negativ effekt på människors psyke och hälsa.

Buller är alltid störande vid samtal och försämrar taluppfattbarheten. För att bevara denna höjer vanligen talaren sin röststyrka med upp till 10 dB över bakgrundsnivån, som en omedveten handling. Lyssnare med nedsatt hörsel behöver ännu större höjning. Röststyrkans ljudtrycksnivå är i tyst miljö cirka 60 dB på en meters avstånd. När man ropar uppnår man maximalt en ljudtrycksnivå på ca 85 dB. I bullrande miljö bestäms taluppfattbarhetens kvalitet av flera faktorer. De viktigaste faktorerna är

- bullrets karaktär (ljudtrycksnivå, frekvensinnehåll),
- avstånd mellan talare och lyssnare,
- rummets egenskaper (dämpning, reflekterande ytor m.m.),
- talets karaktär (talarens röststyrka, talhastighet, artikulation m.m.).

Byggnader skall dimensioneras och utformas med hänsyn till förekommande bullerkällor och så att uppkomst och spridning av störande ljud begränsas. Hur dyrt det blir att ta bort buller beror i mycket hög grad av när man angriper problemen. Eftersom det är dyrt att i efterhand eliminera bullerföroreningar men billigt om man gör rätt från början krävs ett långsiktigt arbete i samband med förnyelse av den byggda miljön om man skall nå en allmän bullerminskning till överkomliga kostnader.

2.6.2 Ljudkvalitet

Störningen kan ses som en negativ ljudkvalitet. Det är självklart att målsättningen under planeringen av byggnader och installationer måste vara att undvika en negativ ljudkvalitet, men en bra byggnad utmärker sig genom en positiv ljudkvalitet som är anpassad till byggnadens ändamål. Med bra ljudkvalitet förstås egenskaper som stöder byggnadens funktion. Ett sammanträdesrum ska vara så utformat att det inbjuder till en öppen och angenäm diskussion och en föreläsningssal måste uppfylla bestämda kriterier.

Det är fortfarande svårt att definiera ljudkvalitet i fysikaliska parametrar, men det är viktigt att vara medveten om målet att skapa bra ljudkvalitet och inte bara undvika störningar. Känner vi ljudeffekten som t.ex. en fläkt alstrar så är detta inte tillräcklig för att säga hur bullrigt det blir i ett rum. För att karakterisera ljudfältet i ett rum måste vi också ta hänsyn till rummets egenskaper. En av dess viktigaste egenskaper är efterklangstiden. Efterklangstiden är ett indirekt mått på dämpningen i rummet och är enkel att mäta. Man mäter ljudtrycksförloppet efter att ljudkällan avstängts. Ur förloppet mäter man tiden som behövs för att ljudtrycket skall sjunka till en tusendel av ursprungstrycket. Detta motsvarar en sänkning av ljudtrycksnivån om 60 dB.

2.6.2 Krav och riktlinjer för ljud

I Boverkets byggregler [12], ges föreskrifter och allmänna råd om hur byggnader skall utformas så att uppkomst och spridning av störande ljud begränsas. Bl.a.

anges krav på ljudisolering och krav på högsta tillåtna ljudtrycksnivå från installationer. För lokaler anges exempelvis att ljudtrycksnivån från installationer inom och utom vårdlokaler, fritidshem, daghem o.d. samt undervisningsrum i skolor inte får överstiga 30 dB(A) för ljud med lång varaktighet och 35 dB(A) för ljud med kort varaktighet.

För buller i arbetslokaler ges föreskrifter och allmänna råd av arbetarskydds-styrelsen i AFS 1992:10 [21].

För bostäder och undervisningslokaler ges allmänna råd av socialstyrelsen [22]. Denna skrift utgör en rätt omfattande kunskapssammanställning och ger råd beträffande acceptabla ljudnivåer för såväl A-vägt ljud som lågfrekvent buller.

VVS Tekniska Föreningens riktlinjer för inomhusklimatet innehåller också rekommendationer avseende ljudmiljön [13]. På motsvarande sätt som för termiskt klimat och luftkvalitet ges man möjlighet att välja mellan olika ljudmiljöklasser. Förutom A-vägt ljud ges rekommendationer för lågfrekvent ljud (<500 Hz) och infraljud (<60 Hz)

2.7 Ljus

Ljus tillhör en av de faktorer som väldigt direkt påverkar människors uppfattning om inomhusmiljön. Ofta beskrivs miljöer i termerna varma, kalla, ljusa eller mörka. I beskrivningarna ligger givetvis känslomässiga uppfattningar som personen ifråga försöker ikläda ord.

De föreskrifter som finns på området [12] ställer endast mycket övergripande krav på hur ljus i form av dagsljus och belysning skall vara. Man säger att rum där personer vistas mer än tillfälligt skall ha god tillgång till direkt solljus. För utrymmen som innehåller arbetsplatser gäller detta, om det inte är direkt oskäligt med hänsyn till verksamhetens art. Bostäder skall ha tillgång till direkt dagsljus". Vad gäller belysning så säger standarden att "god belysning skall kunna ordnas i rum eller delar av rum där personer vistas mer än tillfälligt". Med andra ord lämnas väldigt mycket öppet vad gäller utformningen av ljussystem.

När man mer konkret beskriver ljusmiljöer finns det en uppsättning vedertagna och använda begrepp, belysningsfaktorer, som bör användas. Vanligt förekommande är:

Belysningsstyrka. Anges i enheten lux. I lokaler där människor vistas under längre tidsperioder brukar nivån 200 lux anses som ett minimivärde.
Färgtemperatur. Låg färgtemperatur (ca 3000 K) ger ett "varmt" ljus medan hög färgtemperatur (ca 5000 K) ger ett "kallt" ljus.
Färgåtergivningsindex. Anger ljuskällans förmåga att återge färgen hos ett föremål eller en yta. Färgåtergivningsindex betecknas R_a och ligger i intervallet 0 - 100. Höga tal innebär en god färgåtergivning. En vanlig glödlampa ligger vid ca 98.

Kontrast. Relativ skillnad mellan luminanser hos olika delar av ett synobjekt och dess bakgrund i synfältet.
Luminans. Hur ljus vi uppfattar en yta. Luminansen är ett mått på hur mycket ljus en yta sänder ut per ytenhet.

I [23] återfinns detaljerad information om vad belysning är, hur ingående komponenter i belysningssystemet fungerar och hur belysningssystem byggs upp. Ytterligare information ur en arbetsmiljöaspekt återfinns hos arbetarskyddsstyrelsen [24].

3 Yttre miljö

3.1 Allmänt om LCA och LCI

En livscykelanalys, LCA, är i denna skrift ett samlingsbegrepp för olika metoder att beskriva en varas totala miljöpåverkan från vaggan till graven. Livscykelanalyser används som jämförelser och inte för att beskriva miljöpåverkan i absoluta termer. En livscykelanalys måste alltid vara heltäckande vad gäller att ta med alla olika steg som ingår i livscykeln, men den varken kan eller behöver beskriva alla miljökonsekvenser i detalj, Naturvårdsverket [21].

LCA-metodiken fick i början av 1990-talet en brett accepterad struktur och engelsk terminologi, framförallt genom insatser av SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). ISO har sedan byggt vidare på detta och kommit långt med att formellt fastslå en struktur. LCA är en engelsk förkortning av Life-Cycle Assessment och ordet ”assessment” visar på att det i en LCA skall ingå inte bara en faktabaserad analys utan även värderingar.

I ISOs struktur delas en LCA in i fyra faser, beskrivning av faserna enligt Naturvårdsverket [25]

- målbeskrivning och omfattning
- inventeringsanalys
- miljöpåverkansbeskrivning
- resultattolkning

I <u>målbeskrivning och omfattning</u> anges vilket syfte analysen har. Detaljutformningen av en LCA anpassas individuellt till det syfte den har och det skall därför framgå vilken fråga som skall besvaras och hur resultaten skall användas. Alla avgränsningar och antaganden som har gjorts skall också anges. Likaså skall en funktionell enhet definieras, det vill säga det som sedan alla resultat hänförs till, som till exempel ”kWh värme eller el”.

<u>Inventeringsanalysen</u> skall vara faktabaserad och objektiv. Det går inte att avstå från olika val, men dessa skall baseras på riktlinjer eller redovisade principer och är inte fria. Syftet är att kvantifiera alla flöden av olika material till och från det studerade tekniska systemet och mellan alla delar som ingår, det vill säga bestämma råvaru- och energiintag samt utflöden av produkter, emissioner och avfall. Detta arbete görs i tre steg genom att först utforma ett flödesschema enligt de systemgränser som valts, därefter samla in data och slutligen göra beräkningar.

I <u>miljöpåverkansbeskrivningen</u> sammanställs informationen från inventeringsanalysen till något mer överskådligt, samtidigt som den potentiella miljöpåverkan beskrivs på ett relevant sätt. Det är viktigt att klargöra att man varken försöker beskriva faktisk miljöpåverkan eller värderar denna utan summerar informationen. Miljöpåverkansbeskrivningen är uppdelad i tre delar, *klassificering*, *karaktärisering* och *värdering*.

Vid *klassificeringen* grupperas emissioner m.m. i ett urval miljöpåverkanskategorier. Till exempel grupperas emissioner av svaveldioxid och ammoniak under miljöpåverkanskategori försurning, emissioner av kväve- och fosforföreningar grupperas under kategori övergödning osv. I *karaktäriseringen* viktas de olika bidragen under respektive miljöpåverkanskategori samman till ett enda tal. Detta görs med hjälp av ekvivalensfaktorer, det vill säga viktfaktorer som på något sätt uttrycker olika ämnens relativa bidrag till en kategori. Utsläpp av exempelvis svaveldioxid och kväveoxider, som listats under försurning, viktas samman till svaveldioxidekvivalenter. I *värderingen* viktas de olika kategoribidragen från *karaktäriseringen* samman till ett eller några få tal. Detta sker genom att använda värderingsmetoder som utformats för att på något sätt fånga upp och beskriva hur samhället förväntas värdera de olika bidragen.

Karaktärisering är fortfarande under utveckling och kan bara delvis genomföras på grund av brist på generellt accepterade metoder. Utvecklingen av värderingsmetoder har egentligen bara påbörjats, Uppenberg et al. [26].

Vid resultattolkningen används allt underlag från det tidigare analysarbetet för att tolka och beskriva resultatet. Det är nu som jämförelsen mellan olika alternativ görs. Man måste härvid ta hänsyn till skillnader mellan alternativen och osäkerheter och använder då underlag från inventeringsanalysen, karaktäriseringen och eventuellt värderingen parallellt.

Enligt nordiska riktlinjer [27] skall en LCA omfatta till och med delen karaktärisering i miljöpåverkansbeskrivningen, för att få kallas en LCA. I många fall avslutas analysen efter inventeringsfasen och det blir i så fall en så kallad livscykelinventering, en LCI.

3.2 Miljöhoten

Utsläpp av olika ämnen till luft, vatten och mark liksom produktion av avfall och förbrukning av naturresurser påverkar miljön både på lokal, regional och global nivå. Naturvårdsverket har kategoriserat dessa miljöeffekter i fjorton så kallade miljöhot som man bevakar och riktar åtgärder mot:

- växthuseffekten
- uttunningen av stratosfärens ozonskikt
- försurning
- marknära ozon, fotokemiska oxidanter
- buller och luftföroreningar i tätort
- övergödning
- metaller
- organiska miljögifter
- främmande organismer
- förbrukning av resurser, förnybara och icke förnybara
- exploatering av mark och vatten

- anspråk på särskilt värdefulla områden
- produktion av avfall och restprodukter
- joniserande strålning

Användningen av energi påverkar flera av dessa miljöhot i form av emissioner, förbrukning av naturresurser, buller, exploatering av mark, produktion av avfall och restprodukter samt strålning. Nedan beskrivs kortfattat några av de miljöhot eller miljöpåverkanskategorier som kan påverkas av energianvändning.

3.2.1 Växthuseffekten

Det solljus som når jorden strålar så småningom tillbaka mot rymden som värme. En del av denna värmestrålning fångas upp av gaser i atmosfären och emitteras åter till jorden. Detta kallas växthuseffekten och det är tack vare denna som vi har en behaglig temperatur på jorden. Förbränning av till exempel fossila bränslen bidrar till en ökad växthuseffekt. Detta ger upphov till förändrat klimat och höjd temperatur med stigande havsnivå som följd. De viktigaste växthusgaserna är vattenånga, koldioxid (CO_2), ozon (O_3), metan (CH_4), dikväveoxid (N_2O) och klorerade kolväten s.k. freoner.

3.2.2 Försurning

Surt nedfall når marken i form av nederbörd eller dimma, men kan även torrdeponeras på marken. Det försurar mark, grundvatten och ytvatten och kan leda till att fiskbestånd slås ut, skogsmarken utarmas på näring och grundvattnet får högre metallhalter. Försurande nedfall kan vara olika skadligt beroende på jordmån, vittring av berggrund och växtlighet. På kalkrik mark till exempel oskadliggörs de sura ämnena snabbt, men större delen av Sverige är försurningskänsligt. Utsläpp som är försurande är svaveldioxid (SO_2) och kväveoxider (NO_x). De kommer huvudsakligen från el- och värmeproduktion, vägtrafik och industri.

3.2.3 Marknära ozon

Marknära ozon bildas genom kemisk reaktion mellan kväveoxider (NO_x), flyktiga organiska ämnen (VOC, NMVOC d.v.s. non-methane VOC) och kolmonoxid (CO) under inverkan av solljus. Marknära ozon har direkta hälsoeffekter på människan i form av huvudvärk, ögonirritation och andningsbesvär. Det påverkar också växter bland annat genom att störa ämnesomsättningen, påskynda åldrandet och påverka fotosyntesen så att tillväxten minskar. En stor källa till bildandet av marknära ozon är vägtrafiken, men viktiga emissioner kommer också från el- och värmeproduktion och industri.

3.2.4 Övergödning

Övergödning som också kallas eutrofiering, inträffar när ett område får alltför stor tillförsel av ett ämne som normalt är tillväxtbefrämjande. Ämnen som bidrar till övergödning är huvudsakligen kväve och fosfor. Dessa ämnen är nödvändiga för alla växter, men för stora mängder och på fel ställe kan ge upphov till skadliga effekter. I havet bidrar övergödning till ökning av snabbväxande alger, vilket indirekt bidrar till döda bottnar. Kväve- och fosforutsläpp kommer framförallt från jordbruk och avloppsreningsverk. De flesta typer av förbränning leder till kväveutsläpp till luft som senare kan deponeras och bidra till övergödning och eventuell försurning.

3.2.5 Partiklar

Små partiklar genereras vid förbränning av kol, olja och biobränslen samt från förbränningsmotorer, speciellt dieselmotorer. Små partiklar bildas också i atmosfären när gaser som svaveldioxid, kvävegaser och flyktiga organiska ämnen, emitterade från förbränning, omvandlas genom kemiska reaktioner i luften. Under 1990-talet har forskningsresultat visat att luftföroreningshalter som idag är vanliga i Europa är hälsofarliga. Tiuri [28] påpekar att särskilt farliga är fina partiklar som är mindre än 2,5 tusendelar av en millimeter (PM2.5). Partiklar som penetreras direkt ner i lungorna kan orsaka allergier och andnings sjukdomar såväl som cancer, vilket i sin tur ökar antalet sjukhusbesök och dödsfall. Möjligen kan partiklarna också penetreras i blodcirkulationssystemet. Representanter av the World Health Organisation betonade under Kyoto-Protokoll-mötet 1999 att minskning av koldioxidutsläppen inte får öka emissionerna av fina partiklar. Båda måste reduceras, Tiuri [29].

3.3 Riktlinjer från Miljöstyrningsrådet

Behovet och efterfrågan av miljövarudeklarerade produkter ökar ständigt. Många parter kräver information om vad varor innehåller och vilka miljöproblem de skapar i ett brett livscykelperspektiv. Inom ramen för ISOs arbete med standardisering av miljöledningssystem och verktyg pågår ett arbete med en standard om så kallade Typ III miljödeklarationer som syftar till att tillgodose detta behov. För närvarande finns en ”förstandard”, ISO TR 14025, i form av en så kallad teknisk rapport av Typ 2, vilken innehåller ett antal krav.

Svenska Miljöstyrningsrådet har utarbetat bestämmelser för certifierade miljövarudeklarationer, EPD, som är en svensk tillämpning av ISO TR 14025. Bestämmelserna presenteras i en rapport från Miljöstyrningsrådet [30].

Certifierade miljövarudeklarationer beskriver, enligt Miljöstyrningsrådet, produkters och tjänsters miljöegenskaper. De är neutrala i och med att inga förutbestämda kravnivåer finns som skall vara uppfyllda. Informationen bygger på en livscykelanalys med en inventering och kartläggning av bakgrundsmaterial

samt en klassificering och karaktärisering för att beskriva omfattningen av olika typer av miljöpåverkan. Det är upp till mottagaren av informationen i en certifierad miljövarudeklaration att ta ställning och bedöma utifrån egna utgångspunkter och de uppgifter om produktens miljöegenskaper som anges i deklarationen.

En av de viktigaste egenskaperna hos en certifierad miljövarudeklaration är jämförbarheten mellan deklarationer inom en och samma produktgrupp. För detta krävs att beräkningarna av underlagsdata är framtagna på ett likartat sätt och med samma regler. Eftersom det finns olikheter i miljöpåverkan mellan olika produkter och tjänster skall produktspecifika regler, så kallade PSR, utarbetas och beskrivas. Detta innebär att en certifierad miljövarudeklaration skall vara baserad dels på Miljöstyrningsrådets bestämmelser och dels på produktspecifika regler för produkten i fråga. För energiproduktion finns idag produktspecifika regler för el- och fjärrvärmeproduktion, PSR 1998:1 [31].

3.3.1 Miljöpåverkansbedömning - miljöprestanda

Informationen om miljöprestanda i miljövarudeklarationen syftar till att beskriva resursförbrukning, föroreningsutsläpp och den potentiella miljöpåverkan som den aktuella produkten orsakar. Livscykelanalysen skall delas upp i en tillverkningsdel och en användningsdel, där den förra omfattar data från råvaru- och energiutvinning till färdig produkt och den senare omfattar data från distribution till slutlig avfallshantering.

I de produktspecifika reglerna för el- och fjärrvärmeproduktion [31] ingår inte användningsdelen i livscykelanalysen. Detta motiverar man med att el- och värme fyller olika funktioner i olika sammanhang och att det därför behövs olika funktionella enheter (se 3.3.2) i varje enskilt fall.

Olika resursanvändning och föroreningsutsläpp skiljer sig åt sinsemellan med avseende på deras potentiella miljöeffekter inom olika miljöpåverkanskategorier. Resursanvändningen delas upp i

- icke-förnybara resurser
- förnybara resurser
- energianvändning.

Föroreningsutsläppen beskrivs med hjälp av karaktäriseringsfaktorer, som anger olika ämnens inbördes relation inom miljöpåverkanskategorierna, ur vilken man kan beräkna ett mått på den sammanlagda potentiella miljöeffekten för varje miljöpåverkanskategori. Det finns uppgifter på vilka karaktäriseringsfaktorer som skall användas för följande miljöpåverkanskategorier

- utsläpp av växthusgaser
- utsläpp av ozonnedbrytande gaser
- utsläpp av försurande gaser
- utsläpp av gaser som bidrar till bildning av marknära ozon
- utsläpp av eutrofierande ämnen (övergödning)

Om det förekommer utsläpp av toxiska ämnen skall dessa också anges. I PSR 1998:1 är detta en obligatorisk uppgift.

3.3.2 Funktionell enhet och systemgränser

Den funktionella enheten är en kvantitativ beskrivning av produktens funktion och till vilken LCA-studiens resultat relateras. Vid val av funktionell enhet bör produktens livslängd beaktas. I första hand bör den tekniska livslängden användas som mått. Ibland kan det dock vara lämpligt att välja en funktionell enhet i form av ”en produkt” eller ”kWh värme”.

Med hjälp av systemgränser sker en avgränsning av delar av livscykeln och en viss begränsning av dataunderlaget, vilket medför en förenkling av beräkningarna. Detta kan göras under förutsättning att väsentlig information inte går förlorad. Regler för val av systemgränssättning finns beskrivna i ISO 14041. Miljöstyrningsrådet rekommenderar att använda principen för ”limited loss of information at the final product”. Utgångspunkten är att förluster av information, som en följd av avgränsningar av processer som utesluts ur inventeringen, kan accepteras om summan av förlusterna motsvarar ett bidrag till respektive miljöpåverkanskategori som inte överskrider 1 %. Detta gäller utöver de anvisningar om systemgränser som anges i PSR. Enligt PSR 1998:1 får dessutom de delar som exkluderas sammantaget ej överstiga 10 % av produktens totala potentiella miljöpåverkan.

3.3.3 Allokering

I en livscykelanalys kan det bli aktuellt att fördela emissioner och resursförbrukning när processen innehåller flera funktioner eller ger mer än en produkt. Det kan också vara aktuellt vid återanvändning och återvinning av material och produkter.

Vid processer med mer än en produkt rekommenderar Miljöstyrningsrådet att allokeringen baseras antingen på ekonomiska relationer eller på det sätt som resursförbrukning och utsläpp förändras vid kvantitativa förändringar av produkter eller funktioner som levereras av systemet, *multi output*. Allokering kan också baseras på fysiska orsakssamband, det vill säga relationerna mellan hur föroreningsbelastningen från processen påverkas av förändringar i inkommande avfallsflöden, *multi input*. I *open loop recycling* sker ingen allokering för material till återvinning. Detta innebär att inflöden av återvunnet material eller energi till livscykeln skall bokföras utan att produkten belastas med miljöpåverkan från inflödet i tidigare livscykler. På samma sätt skall utflöden av produkter som går till återvinning bokföras som ett utflöde till nästa livscykel.

3.4 Olika energislags miljöpåverkan

Föreliggande arbete med att ta fram olika energislags miljöpåverkan utgår ifrån Miljöstyrningsrådets riktlinjer. De uppgifter som har använts i beräkningarna är tagna ifrån livscykelanalyser (LCA) eller livscykelinventeringar (LCI) som har hämtats ifrån litteraturen eller andra källor. De använda LCA- eller LCI-studierna har varierat något i omfattning och de olikheter som funnits kommenteras vid varje energislag. Olikheterna har inte bedömts vara större än att en jämförelse mellan de olika energislagen har kunnat göras med avseende på miljöpåverkan.

Miljöpåverkan har beräknats som en summa av emissioner vid produktion och användning. Resursförbrukningen för de olika energislagen har inte betraktats i detta delprojekt. Som funktionell enhet används 1 kWh producerad värme eller el, beroende på energislag.

Den största miljöpåverkan från användningen av ett bränsle sker vid själva förbränningen, cirka 90 % [32]. Därutöver tillkommer miljöpåverkan vid distribution och produktion. Byggande av anläggningar, infrastruktur o s v har däremot mycket liten betydelse för ett bränsles totala miljöpåverkan. I de flesta av de livscykelanalyser som används vid beräkningarna ingår inte heller denna del.

En LCI eller LCA innehåller alltid olika osäkerhetsfaktorer och de beräkningar som har utförts i denna rapport skall därför inte ses som absoluta sanningar utan mer som en sätt att visa på storleksordningar och skillnader mellan olika energislag. Data för olika anläggningstyper är nationella medelvärden som valts för att ge jämförbarhet mellan olika uppvärmningssystems energislag. Nyaste tillgängliga teknik skulle därmed ge lägre miljöpåverkan medan äldre teknik kan ge betydligt högre.

Miljöpåverkan har beräknats för eldningsolja, naturgas, biobränsle (uppdelat på ved och pellettar/briketter), el och fjärrvärme. De sifferuppgifter som redovisas för de olika energibärarna avser år 1998.

Vid beräkningen av föroreningsutsläppen har karaktäriseringsfaktorerna hämtats från Miljöstyrningsrådets rapport MSR 1999:1 ”Bestämmelser för certifierade miljövarudeklarationer” [30] och summerats inom varje miljöpåverkanskategori. Inom varje miljöpåverkanskategori har de utsläpp tagits med som har funnits redovisade för de olika energibärarna. Beräkningar har gjorts för växthuseffekt, försurning, marknära ozon samt övergödning.

<u>Utsläpp av växthusgaser</u> skall redovisas som summa Global Warming Potential (GWP), det vill säga som g CO_2-ekvivalenter ur ett 100-årsperspektiv. Beräkningsformeln med respektive ämnes karaktäriseringsfaktor för påverkan från växthusgaser ser ut enligt nedan

$$CO_2 \cdot 1 + N_2O \cdot 310 + CH_4 \cdot 21 + SF_6 \cdot 23900 \text{ (g } CO_2\text{-ekvivalenter)}$$

Utsläpp av försurande gaser redovisas som summa försurningspotential uttryckt i mol H^+. Beräkningsformeln är

$$NO_x \cdot 0{,}0217 + SO_2 \cdot 0{,}0312 + NH_3 \cdot 0{,}0587 \qquad (\text{mol } H^+)$$

Utsläpp av gaser som bidrar till marknära ozon redovisas dels som g NO_x och dels som summa utsläpp av flyktiga kolväten, Photochemical Ozone Creation Potentials (POCP). De senare anges som g C_2H_2-ekvivalenter (etenekvivalenter) och beräknas enligt

$$NMVOC \cdot 0{,}416 + CO \cdot 0{,}04 \qquad (\text{g } C_2H_2\text{-ekvivalenter})$$

Utsläpp av eutrofierande ämnen, vilka bidrar till övergödning, anges som summa syretäringspotential uttryckt i g O_2-ekvivalenter. De beräknas enligt nedan

$$NO_x \cdot 6 + NH_3 \cdot 16 \qquad (\text{g } O_2\text{-ekvivalenter})$$

Där ämnena i beräkningsformlerna anges i gram.

3.4.1 Eldningsolja

Olja är ett fossilt bränsle som bildats ur organiskt material. Förbränning av eldningsolja ger upphov till utsläpp av framförallt koldioxid, svaveldioxid och kväveoxider. Vid förbränningen uppstår också fasta restprodukter i form av aska och sot som kan påverka miljön.

Under 1998 användes i Sverige knappt 7 miljoner m^3 eldningsolja, vilket är en minskning med 67 % sedan 1977. Eldningsoljorna har till stor del ersatts med el och fjärrvärme för uppvärmning. Utbyggnaden av kärnkraft och naturgasnätet har också haft betydelse [33].

Värden för miljöpåverkan av eldningsolja har hämtats från IVLs rapport ”Miljöfaktabok för bränslen” [32]. I rapporten redovisas den totala miljöpåverkan per MJ, som användning av olika bränslen ger upphov till. Detta innebär att de redovisade värdena omfattar miljöpåverkan från produktion, distribution och förbränning. Miljöpåverkan från byggande av anläggningar, infrastruktur och produktion av maskiner och verktyg ingår inte. I rapporten anges data för utsläpp till luft, produktion av restprodukter i vissa fall och energianvändning, vilket avser den energi som används i tillverkningsprocessen utöver bränslets energiinnehåll. Miljöpåverkan är beroende av bränsle och förbränningsteknik och skillnader görs därför för små och stora anläggningar. Data ifrån förbränningssteget är nationella medelvärden vilket medför att avvikelser för en specifik anläggning kan vara stora. För emissioner av partiklar har rekommenderade data för produktion och distribution av oljan från Uppenberg et al. [26] använts medan emissioner från förbränning är hämtade från Gustavsson et al. [34].

Data för utsläpp till luft för eldningsolja 1 vid användning i en villapanna har satts in i beräkningsformlerna enligt avsnitt 3.4.1. Utsläppen är beroende av villapannas

verkningsgrad vilket kommer att behandlas i kapitel 4. I tabell 3.1 visas miljöpåverkan per producerad kWh för de studerade miljöpåverkanskategorierna. Marknära ozon redovisas dels som flyktiga kolväten och dels som mängden NO_x. En jämförelse med övriga energislag som behandlas i detta kapitel visar att användning av eldningsolja har stor påverkan på växthuseffekten.

Tabell 3.1 Miljöpåverkan per producerad kWh värme vid användning av eldningsolja 1 i en villapanna (η_p = 100 %), data från Uppenberg et al. [32].

Miljöpåverkan	Ekvivalenter
Växthuseffekt	280 g CO_2-ekvivalenter
Försurning	11 mmol H^+
Marknära ozon, flyktiga kolväten	0,07 g C_2H_2-ekvivalenter
Marknära ozon, NO_x	0,32 g NO_x
Övergödning	2,0 g O_2-ekvivalenter
Partiklar	100 mg

3.4.2 Naturgas

Naturgas är en brännbar blandning av gasformiga kolväten och består huvudsakligen av metan. Till skillnad från olja ger förbränning av naturgas inte upphov till utsläpp av svavel och tungmetaller. Den ger inte heller upphov till fasta restprodukter som aska eller sot. Koldioxidutsläppen vid förbränning av naturgas är lägre än vid förbränning av olja.

Naturgasen introducerades i Sverige 1985 och sedan dess har användningen gradvis ökat. Den har dock stabiliserats de senaste åren. Naturgasen stod 1998 för cirka 2 % av Sveriges totala energitillförsel [33].

Tabell 3.2 Miljöpåverkan per producerad kWh värme vid användning av naturgas i en villapanna (η_p = 100 %),, data från Uppenberg et al. [32].

Miljöpåverkan	Ekvivalenter
Växthuseffekt	210 g CO_2-ekvivalenter
Försurning	2 mmol H^+
Marknära ozon, flyktiga kolväten	0,006 g C_2H_2-ekvivalenter
Marknära ozon, NO_x	0,08 g NO_x
Övergödning	0,5 g O_2-ekvivalenter
Partiklar	0,07 mg

Utsläppsdata för användning av naturgas i en villapanna har hämtats från Uppenberg et al. [32] med samma förutsättningar som data för eldningsolja ovan. Beräkningarna av naturgasens miljöpåverkan per kWh producerad värme redovisas i tabell 3.2. Tabellen visar att utsläppen av växthusgaser dominerar. Jämfört med eldningsolja är utsläppen av växthusgaser cirka 25 % lägre. Bidraget till övergödning vid förbränning av naturgas är 75 % lägre än vid förbränning av eldningsolja 1. För samtliga miljöpåverkanskategorier är miljöpåverkan lägre för naturgas än för eldningsolja 1.

3.4.3 Biobränsle

Biobränsle är bränsle som består av biomassa, det vill säga material med biologiskt ursprung. De vanligaste biobränslena är trädbränslen i form av skogsbränsle, energiskog och återvunnet trädbränsle. Skogsbränsle består av avverkningsrester som grenar, stubbar, toppar och småträd som inte kan tas till vara som industriellt virke eller massa. Energiskog består av snabbväxande trädarter som odlas för energiändamål, som till exempel Salix (pil). Återvunnet trädbränsle utgörs bland annat av restprodukter från skogs- och sågverksindustrin, såsom sågspån och kutterspån, och som ofta används som råvara för förädling till briketter, pellettar eller pulver. Vid förbränning av biobränslen bildas aska som antingen kan deponeras eller återföras till marken där bränsleuttaget gjordes. Det senare innebär att man återställer en del av de näringsämnen som förts bort i samband med bränsleutvinningen. Det vanligaste idag är att deponera askan, men försök pågår med återföring [26].

Biobränslen används i skogsindustrin, fjärrvärmeverk, småhussektorn och vid elproduktion. Under 1998 uppgick användningen av biobränslen, torv m.m. till drygt 92 TWh. Av dessa användes totalt knappt 26 TWh för värmeproduktion i fjärrvärmeverk, varav trädbränslen svarade för 14,7 TWh. Användningen av trädbränslen inom fjärrvärmesektorn har mer än fyrfaldigats sedan 1990. För enskild uppvärmning i småhus användes omkring 11 TWh biobränslen, torv m.m. under 1998. Vedeldning är vanligast hos husägare med god tillgång till skog. Användningen av förädlade biobränslen (pellettar och briketter) är relativt liten och uppgick under 1998 till 0,5 TWh [33].

De biobränslen som studeras i denna rapport är ved och pelletar/briketter. Data för miljöpåverkan har hämtats från Uppenberg et al. [26], och för pelletar/briketter gäller samma förutsättningar som för eldningsolja ovan. För emissioner av partiklar har rekommenderade data för produktion och distribution av pelletar/briketter från Uppenberg et al. [26] använts medan emissioner från förbränning är hämtade från Gustavsson et al. [34]. För ved har rekommenderade data för förbränningssteget enligt Uppenberg et al. [26] använts. Dessa data är nationella medelvärden för olika förekommande förbrännings- och reningstekniker, vilket innebär att avvikelser för en specifik anläggning kan vara stor. För distribution och produktion rekommenderar Uppenberg et al. [26] data från Vattenfall [35] publicerade 1996. Dessa siffror är dock betydligt högre än de

siffror som vattenfall använder sig av idag för att beskriva miljöbelastning från bästa tillgängliga teknik Ericson [36]. Uppenberg et al. [26] rekommenderar Åf-Energikonsult [37] för produktion och distribution av pelletar/briketter men inte för ved med motiveringen att Åf-Energikonsult [37] inte innehåller produktion och transport av ammoniak samt återföring/deposition av aska vilket Vattenfall [35] gör. Eftersom emissionerna från återföring/deposition av aska står för endast 0,1% av de totala emissionerna i produktions och distributionsstegen i Vattenfall [35] har Åf-Energikonsult [37] data valts att användas även för produktion och distribution av ved. För emissioner av partiklar har data för produktion och distribution av ved enligt Åf-Energikonsult [37] använts medan emissioner från förbränning är hämtade från Gustavsson [34] och gäller för en modern vedanläggning i ett enfamiljshus.

Odling och förbränning av biobränslen anses inte långsiktigt bidra till växthuseffekten eftersom de växter som förbränts har tagit upp koldioxid under sin livsperiod. Lika stor mängd frigörs sedan vid förbränningen [32]. Däremot bidrar produktion och distribution av biobränslet till växthuseffekten.

Ett liknande kretsloppsresonemang har undersökts för svavel i biobränsle av Lundborg [38]. Undersökningen visade att vid mineralisering av reducerat organsikt svavel i trädbiomassa frigörs svavlet som sulfid, vilket kan oxideras av mikrober till sulfat. Oxidationen bör vara försurande (H^+ frigörs). Om reducerat svavel i biomassan istället förbränns, emitteras det som svaveldioxid och hamnar så småningom på marken i form av svavelsyra. (Förutom den del av svavlet som stannar kvar i askan.) I princip är det ingen skillnad mellan ”förbränningsvavel” eller ”mineraliseringssvavel”. Dock är det oklart hur mycket av svavlet i biomassan som verkligen omsätts på detta sätt. En annan möjlighet är att mycket svavel lagras i marken i reducerad form.

Genom att anse att svaveldioxid-emissioner ifrån biobränsle i ett kretsloppsperspektiv inte bidrar till försurning skulle försurningsbidraget ifrån ved sjunka med 7% och för pellettar/bricketter med 12%. Eftersom det fortfarande råder osäkerhet över hur mycket utav svavlet som långsiktigt inte bidrar till försurning betraktas här svaveldioxid-emissioner från biobränsle som försurande på samma sätt som för andra bränslen.

Miljöpåverkan per kWh producerad värme för ved visas i tabell 3.3 och för pellettar och briketter i tabell 3.4.

Tabell 3.3 Miljöpåverkan per producerad kWh värme vid användning av ved i en villapanna (η_p = 100 %),, data från Uppenberg et al. [32].

Miljöpåverkan	**Ekvivalenter**
Växthuseffekt	21 g CO_2-ekvivalenter
Försurning	16 mmol H^+
Marknära ozon, flyktiga kolväten	1,8 g C_2H_2-ekvivalenter
Marknära ozon, NO_x	0,51 g NO_x
Övergödning	3,2 g O_2-ekvivalenter
Partiklar	53 mg

Tabell 3.4 Miljöpåverkan per producerad kWh värme vid användning av pellettar/briketter i en villapanna (η_p = 100 %), data från Uppenberg et al. [32].

Miljöpåverkan	**Ekvivalenter**
Växthuseffekt	14 g CO_2-ekvivalenter
Försurning	14 mmol H^+
Marknära ozon, flyktiga kolväten	1,8 g C_2H_2-ekvivalenter
Marknära ozon, NO_x	0,41 g NO_x
Övergödning	2,5 g O_2-ekvivalenter
Partiklar	95 mg

Vid användning av ved är påverkan på växthuseffekten större än vid användning av pellettar/briketter. Skillnaderna ligger i utsläpp utav CO_2 från produktion och distribution av bränsle. Förbränning anses inte bidra till koldioxidutsläpp vilket nämnts ovan.

Allmänt gäller att vid användning av biobränslen är utsläppen av försurande gaser, gaser som bidrar till övergödning och marknära ozon större än vid användning av till exempel eldningsolja.

3.4.4 El

Elanvändningen i Sverige har i genomsnitt ökat med 3 % per år under perioden 1970 till 1998. De senaste 10 åren har dock ökningstakten varit lägre än tidigare år. Den största ökningen har skett inom sektorn bostäder, service m.m. Ökningen beror framför allt på en övergång från olja till el för uppvärmning, men även på en ökad användning av driftel. Elanvändningen totalt uppgick 1998 till knappt 144 TWh, varav drygt 70 TWh gick till bostäder, service m.m.

Elproduktionen i Sverige sker i anläggningar som ägs av staten, kommuner och industrier eller enskilda ägare. Under 1998 svarade sex större kraftföretag för cirka 133 TWh eller 92 % av den totala elproduktionen. Sveriges två största kraftproducenter, Vattenfall och Sydkraft, stod sammanlagt för drygt 70 % av den totala elproduktionen i landet [33].

Tillförseln av el baseras huvudsakligen på vattenkraft och kärnkraft. Dessa kraftslag har i dagsläget de lägsta produktionskostnaderna. El produceras också i kraftvärmeanläggningar, oljekondenskraftverk, gasturbiner och vindkraftverk. Enligt Elmarknad 1998 [39] svarade vattenkraften för 48 % av elproduktionen, kärnkraften för 46 % och den fossil- och biobränslebaserade produktionen för drygt 6 % under 1998. Motsvarande siffror för Vattenfall är 45 % vattenkraft, 53 % kärnkraft och 2 % övrigt och för Sydkraft 44 % vattenkraft, 53 % kärnkraft och 3 % övrigt.

Under 1998 importerades 6,1 TWh el till Sverige. Större delen av den importerade elen kom från Norge, 3,0 TWh. Från Danmark importerades 2,2 TWh, från Finland 0,8 TWh och från Tyskland 0,1 TWh [33]. Den norska elproduktionen 1998 baserades till 99 % på vattenkraft. Den danska elproduktionen däremot baserades på 95 % värmekraft och 5 % vindkraft och den finska på 22 % vattenkraft, 31 % kärnkraft och 47 % värmekraft. Den sammanlagda exporten av el till grannländerna uppgick samma år till 16,8 TWh.

Vid beräkning av miljöpåverkan för el har elen ansets belasta miljön med samma fördelning som den har producerats med i Sverige under 1998. Uppgifter har hämtats från Sydkraft och Uppenberg et al. [32]. Sydkrafts data avser miljöpåverkan från deras totala produktion, vilken består av något större andel kärnkraft och lägre andel vattenkraft än vad den totala svenska elproduktionen gör. Eftersom Sydkrafts data var de som fanns tillgängliga med tillräcklig omfattning har de antagits representera utsläpp ifrån vatten- och kärnkraftverk i Sverige. Beräkningarna har gjorts på en elproduktion som till 94 % är producerad av Sydkraft och till 6 % producerad av kraftvärmeverk baserad på eldningsolja, som bedöms vara ett av de sämre alternativen för kraftvärmeverk.

Sydkraft presenterar sina miljödata i rapporten ”Miljöredovisning 1998” [40]. De redovisade värdena på utsläpp avser produktion av el. Miljödata från de anläggningar som producerar både el och värme har fördelats efter förhållandet producerad el respektive värme. I IVL:s rapport ”Miljöfaktabok för bränslen” [32] redovisas total miljöpåverkan per producerad MJ energi, el plus värme, för de

bränslen som är aktuella för användning i kraftvärmeverk. Hela livscykeln från råvaruutvinning till förbränning är beaktad. I ett kraftvärmeverk produceras samtidigt el och värme och det har länge pågått diskussioner om vilket fördelningssätt som skall användas vid fördelning av miljöpåverkan. I rapporten görs därför ingen skillnad på 1 MJ el och 1 MJ värme. I dagarna har emellertid en revision gjorts av PSR 1998:1 ”Produktspecifika regler för certifierade miljövarudeklarationer för el- och fjärrvärmeproduktion” [41], i vilken en allokeringsmetod för fördelning av miljöpåverkan mellan el och värme redovisas.

Tabell 3.5 Miljöpåverkan per producerad kWh el, data från Sydkraft [40] och Uppenberg et al. [32].

Miljöpåverkan	**Ekvivalenter**
Växthuseffekt	27 g CO_2-ekvivalenter
Försurning	2 mmol H^+
Marknära ozon, flyktiga kolväten	0,004 g C_2H_2-ekvivalenter
Marknära ozon, NO_x	0,04 g NO_x-ekvivalenter
Övergödning	0,2 g O_2-ekvivalenter
Partiklar	0,09 mg

Miljöpåverkan per producerad kWh el visas i tabell 3.5. Bidraget till växthusgaser är den miljöpåverkanskategori som är störst. Det är i samma storleksordning som vid användning av biobränsle. Övriga miljöpåverkanskategorier är låga, även i jämförelse med andra energislag.

3.4.5 Fjärrvärme

Fjärrvärme definieras ofta som ett kollektivt uppvärmningssystem avsett för ett flertal byggnader och med avtal mellan kund och leverantör. Fjärrvärme produceras i och levereras från hetvattencentraler och kraftvärmeverk. Det var på 1940-talet som kommunerna började intressera sig för fjärrvärme. Under 1950- och 1960-talen expanderade denna uppvärmningsform som en följd av de goda möjligheter som gavs till kollektiv uppvärmning genom de omfattande investeringarna i byggnader och bostäder. En kraftig expansion skedde också under perioden 1975-1985.

Tabell 3.6 Tillförd energi i fjärrvärme uppdelat på energislag 1998, enligt Energimyndigheten [33].

Förbrukat bränsle	**TWh**	**Andel %**
Olja	5,5	11
Kol	3,4	7
Biobränsle, torv, avfall m.m.	25,5	51
Industriell spillvärme	3,6	7
Elenergi till elpannor	1,8	4
Värmepumpar	7,4	15
Naturgas inkl gasol	3,3	7
Totalt	50,4	100

Under 1998 levererades 44,1 TWh värme till fjärrvärmekunder. Av dessa gick 61 % till bostadsuppvärmning, knappt 30 % till uppvärmning av servicelokaler och 9 % till industrin. Den totala energitillförseln var 50,4 TWh, vilket innebär att omvandlings- och distributionsförlusterna uppgick till 6,3 TWh eller 12,5 %. Under 1980-talet när energitillförseln dominerades av olja uppgick förlusterna till runt 20 %. Den höga andelen el i fjärrvärmesystemen har bland annat lett till att förlusterna minskat. Biobränslen, torv, sopor m.m. är idag de dominerande energibärarna i fjärrvärmesystemen. Under 1998 svarade de för drygt hälften av den totala insatsen av energislag [33]. Fördelningen på olika energislag redovisas i tabell 3.6.

Vid beräkning av miljöpåverkan för fjärrvärme har uppgifter hämtats från Uppenberg et al. [32] för flertalet energislag. Värden för värmeverk har använts, eftersom det inte funnits någon vedertagen allokeringsprincip för fördelning av miljöpåverkan mellan el och värme för kraftvärmeverk, se avsnitt 3.4.5. Den industriella spillvärmen har betraktats som ”gratis” och miljöpåverkan har därför antagits vara noll för denna del. Miljöbelastningen anses tillhöra den produktion som spillvärmet kommer ifrån. För elenergi till elpannor och värmepumpar har värden från avsnitt 3.4.5 använts. Värmefaktorn för värmepumpar har antagits vara 3,0 enligt uppgifter från Göteborg Energi AB. Miljöpåverkan för de olika energibärarna har viktats ihop i proportion till deras andel av tillförd energi. För partiklar har rekommenderade data enligt Uppenberg et al. [26] använts för produktion och distribution av olja och kol medan emissioner av partiklar vid förbränning i värmeverk har hämtats från Thunell [42]. För skogsbränsle har data för produktion och distribution samt förbränning i värmeverk hämtats från Åf-Energikonsult [37], för avfall från Finnveden et al [43] och för torv från Mälkki et al. [44] (där data för partikelemission från förbränning gäller ett kraftvärmeverk). Ovannämnda data för partikelemissioner redovisas även i Uppenberg et al. [26].

Resultatet av beräkningarna redovisas i tabell 3.6. I värdet för växthuseffekt ingår miljöpåverkan från läckage av köldmedia i värmepumpar enligt uppgift från

Göteborg Energi AB [45]. Köldmediet är R134a som bidrar till växthuseffekten men inte till nedbrytningen av ozonskiktet. Utsläpp av växthusgaser är relativt stor, den tredje största bland de här studerade energibärarna, beroende på att 25 % av bränslet är eldningsolja, naturgas och kol. Utsläpp som bidrar till övergödning är knappt 30 % lägre för fjärrvärme än för eldningsolja medan utsläpp som bidrar till försurning är ungefär lika stora.

Tabell 3.7 Miljöpåverkan per kWh producerad fjärrvärme.

Miljöpåverkan	**Ekvivalenter**
Växthuseffekt	118 g CO_2-ekvivalenter
Försurning	12 mmol H^+
Marknära ozon, flyktiga kolväten	0,037 g C_2H_2-ekvivalenter
Marknära ozon, NO_x	0,24 g , NO_x-ekvivalenter
Övergödning	1,5 g O_2-ekvivalenter
Partiklar	40 mg

Lundborg [38]har undersökt om man kan anse att svavel från biobränsle inte bidrar till försurning i ett kretsloppsperspektiv (se kapitel 3.4.3) vilket skulle minska försurningsbidraget från fjärrvärme med 12%. Eftersom det fortfarande råder osäkerhet över hur mycket utav svavlet som långsiktigt inte bidrar till försurning betraktas här svaveldioxid-emissioner som försurande för biobränsleandelen i fjärrvärme på samma sätt som för andra bränslen.

4 Beräkningsexempel för yttre miljöbelastning

4.1 Uppvärmningssystem och verkningsgrader

Studier av den yttre miljöpåverkan har utförts med hjälp av ett beräkningsexempel där våra vanligaste uppvärmningssystem i villor har betraktats och jämförts. De uppvärmningssystem som studeras är värmeproduktion ifrån pannor eldade med olja, naturgas, ved eller pelletar, värmeproduktion med en värmepump eller värmedistribution genom direktel eller fjärrvärme.

En byggnads energibehov beror på krav på inomhusmiljö i samverkan mellan byggnadens konstruktion, verksamhet, och tekniska installationer. Förbrukningen av energislag som behövs för att tillgodose energibehovet beror av uppvärmningssystemets förluster. Små förluster innebär naturligtvis små utsläppsmängder men variationer i utsläppsmängder är också beroende av bränsle och förbränningsteknik. Vid beräkningar av utsläppsmängder har representativa livscykelinventeringar vad beträffar bränsle och förbränningsteknik använts där skillnader har gjorts för små och stora anläggningar (se kapitel 3). Nyaste tillgängliga teknik skulle därmed ge lägre utsläppsmängder medan äldre teknik kan ge betydligt högre.

För att få en allmän bild av uppvärmningssystemets miljöbelastning har en verkningsgrad valts som beskriver genomsnittet av den typen av system. I detta första delprojekt har representativa verkningsgrader valts för uppvärmningssystem i villor. Det långsiktiga målet är att utveckla ett verktyg så att man lätt kan ändra till den faktiska verkningsgraden i det system man studerar. Därmed skall resultatet vara möjligt att använda oberoende av typ av byggnad.

Vid val av representativa verkningsgrader måste flera saker beaktas. För t.ex. en oljepanna är verkningsgraden dels beroende av oljepannans fabrikat men också av oljepannans ålder. Oljepannor byggda 1980-1985 har en verkningsgrad runt 75 % medan de byggda 1999 kan ha en verkningsgrad på upp till 91 % [46]. För att ha maximal verkningsgrad skall oljepannan köras med dess nominella effekt (den effekt som pannan är designad för). Den huvudsakliga drifttiden arbetar dock pannan vid en lägre uttagen effekt varvid verkningsgraden försämras. Ett sätt att beskriva detta är att använda en så kallad årsmedelverkningsgrad. En panna som eldas med ved består normalt av en panna med tillhörande ackumulatortank. För att här få en representativ verkningsgrad måste hela systemet beaktas.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut har utprova pannor av flera vanligt förekommande fabrikat. Vid provningen har verkliga fall simulerats och därmed har årsmedelverkningsgraden kunnat fastställas. Dessa provningar har legat till grund för val av verkningsgrad för pannor eldade med olja, ved och pelletar.

I en byggnad med direktverkande elradiatorer finns inga energiförluster p.g.a. omvandling. Emellertid finns det energiförluster vid produktion och distribution.

Elen produceras centralt i olika produktionsanläggningar som sedan sammanbinds med samma distributionsnät. Förlusterna vid produktion beaktas vid framtagandet av miljöpåverkan av själva energislaget, elen, och är beroende av hur elen produceras (diskuteras i kapitel 4.2). Förlusterna vid distribution är runt 6 %. Samma resonemang gäller också för fjärrvärme.

En värmepump tar värme från berg, jord, vatten eller luft och avger värmen till värmesystemet i ett hus. För varje kWh elenergi som värmepumpen behöver för att arbeta får man ut cirka tre gånger så mycket värmeenergi till byggnaden. För att beskriva hur mycket värme som produceras i förhållande till hur mycket el som måste tillsättas för hela systemet under hela uppvärmningssäsongen använder man sig av en SPF_{va}-faktor (Seasonal Performance Factor, värmeanläggning). En typisk SPF_{va}-faktor för en bergvärmepump har använts.

Tabell 4.1 Använda verkningsgrader i beräkningsexemplet.

Uppvärmningssystem	Verkningsgrad %	Referens
Oljepanna	82	[47]
vedpanna med ackumulatortank	57	[48]
pelletpanna	59	[49]
Naturgaspanna	85	[50]
Värmepump	$SPF_{va} = 2,8$	[51]
Direktel	$94*\eta_{prod}$ (1)	[52]
fjärrvärme	$88*\eta_{prod}$ (1)	[33]

(1) Där η_{prod} beskriver verkningsgraden vid produktion i olika produktionsanläggningar. Dessa verkningsgrader beaktas vid miljöpåverkan av energislaget.

4.2 Mixar av el eller fjärrvärme

El produceras centralt i olika produktionsanläggningar som sedan sammanbinds med samma distributionsnät. Exempel på produktionsanläggningar kan vara kärnkraftverk, kolkondensverk, vattenkraftverk o.s.v. För att kunna göra en bedömning av emissionsutsläppen från ett tekniskt system som använder sig av el betraktas elen som en mix utav den procentuella sammansättningen av olika produktionsenheter. Vilken procentuell sammansättning man skall välja beror på hur man betraktar systemet. Här finns det ett flertal betraktelsesätt att välja på.

Ett betraktelsesätt är att ett tekniskt system anses belasta miljön med samma fördelning som dess energislag produceras med. Exempel på sådana mixar är sammansättningen av produktionen ifrån ett enskilt företag, i den lokala regionen,

i Sverige eller i norden. Resultatet från detta betraktelsesättet ger därmed en bild av det tekniska systemets bidrag till miljöbelastningen.

Ett annat betraktelsesätt vid energieffektivisering är att anse att reduktionen av elanvändning leder till att man kan låta bli att producera en viss typ av el. Till exempel vid toppbelastning av elnätet används oljekraftverk. Mixen anses då bestå av enbart produktion från oljekraftverk. Det är då viktigt att besparingen av energi sammanfaller i tiden med toppbelastningen. Ett annat exempel är att marginalproduktionen av el sker genom produktion i ett oljekraftverk och att en energieffektiviseringsåtgärd direkt skulle leda till minskning av just detta produktionssätt. Resultatet ifrån detta betraktelsesätt visar hur miljöbelastningen kan antas minska vid en energieffektiviseringsåtgärd och säger ingenting om vilken miljöbelastning det tekniska systemet faktiskt bidrar med.

Bra miljöval, *Öronmärkt el* eller *Grön el* erbjuds nu ifrån många energibolag. Bakom dessa begrepp finns specificerat hur elen har producerats och därmed är det möjligt att bedöma miljöbelastningen ifrån just den elen. Bra miljöval är el från vindkraftverk, solceller, biobränsle där askan återförs till marken och vattenkraftverk byggda före 1996.

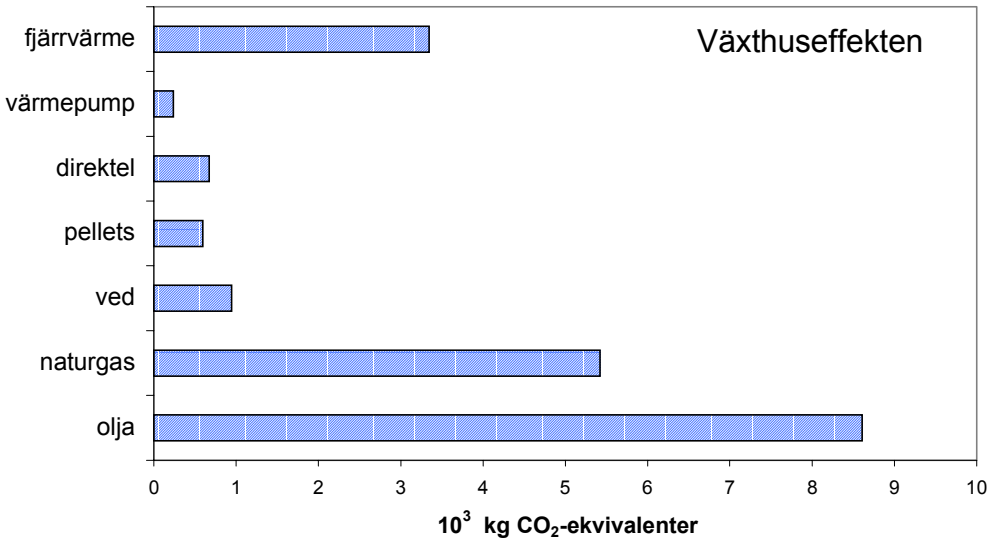
Fjärrvärme produceras också centralt i olika produktionsanläggningar och sammanbinds med ett distributionsnät. Samma resonemang som för elen skulle kunna användas i frågan om betraktelsesätt, men här är det mest vanligt att fjärrvärmemixen anses belasta miljön med samma fördelning som den produceras med.

I beräkningsexemplet för yttre miljöbelastning har både el och fjärrvärme betraktats som s.k. Sverigemixar.

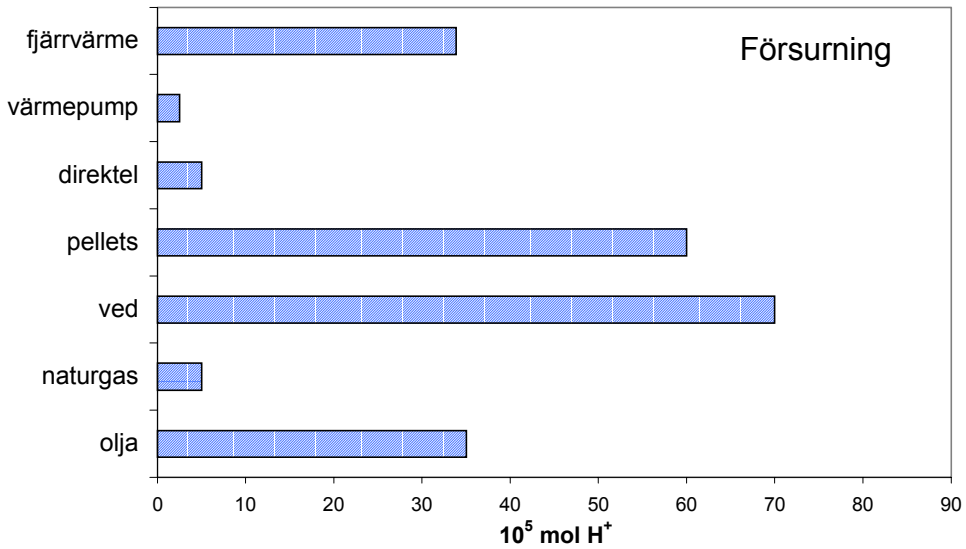
4.3 Resultat

För att synliggöra skillnader i miljöbelastning ifrån olika uppvärmningssystem jämför vi nedan belastningen som uppkommer för en villa som har ett värmebehov på 25 000 kWh/år. Figur 1-5 visar belastning av olika miljöeffekter för de olika uppvärmningssystemen.

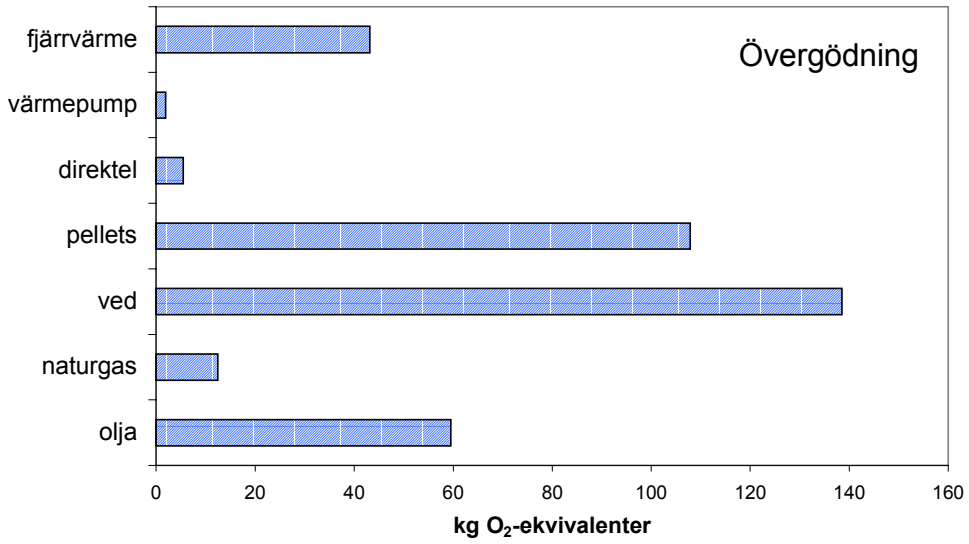
Förbränning av olja och naturgas har stark påverkan på växthuseffekten medan fjärrvärme har en mindre påverkan. Olja och fjärrvärme har dessutom en mindre påverkan på övergödning och försurning. Förbränning av olja har också höga emissioner av partikar. Biobränslen (ved och pelletar) har liten växthuseffekt men har däremot större påverkan vid bildning av marknära ozon, övergödning, försurning och emissioner av partiklar. Elanvändning har då den betraktas som en Sverigemix (1998) ingen större påverkan på någon av dessa miljöeffekter.



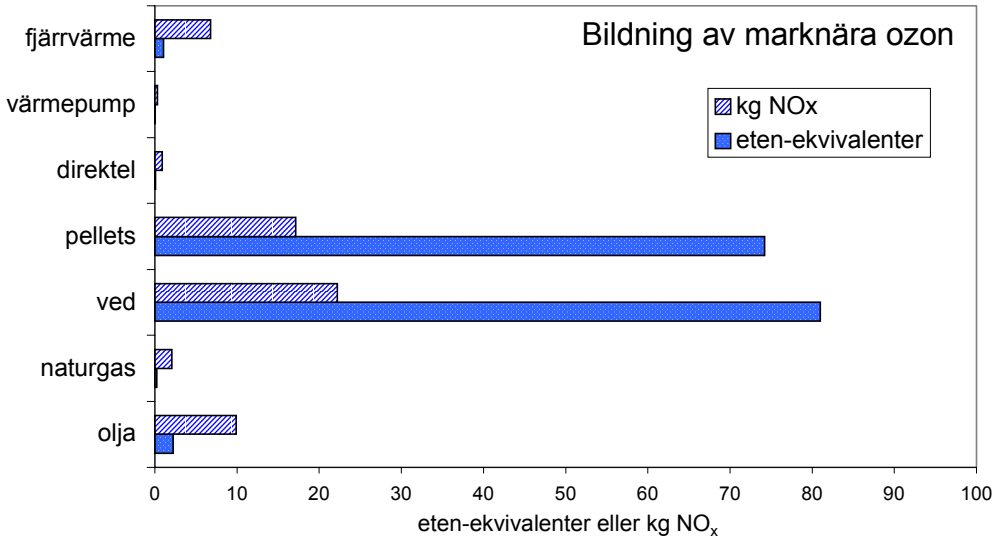
Figur 4.1 Miljöbelastning av växthuseffekten för olika uppvärmningssystem. El och fjärrvärme betraktas här som Sverigemixar.



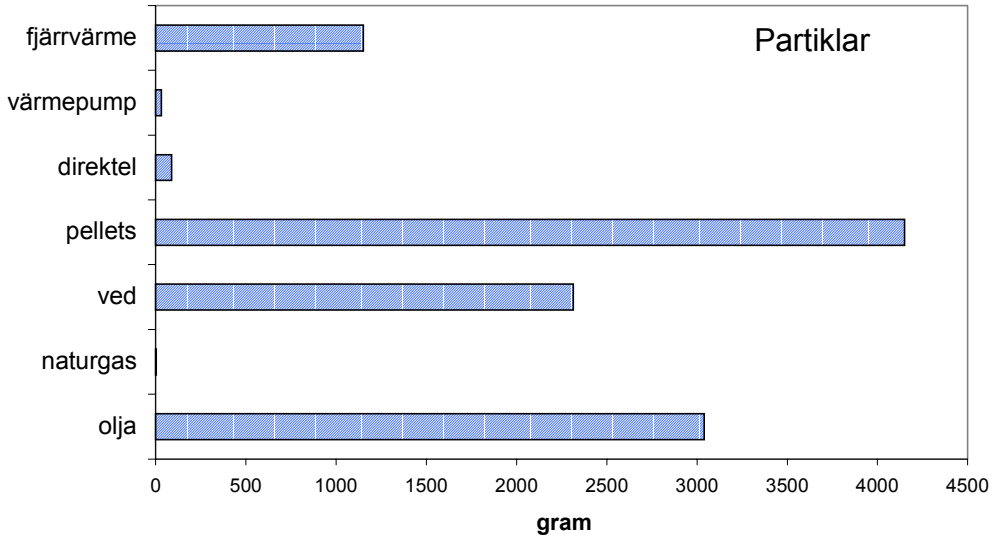
Figur 4.2 Miljöbelastning i form av försurning för olika uppvärmningssystem. El och fjärrvärme betraktas här som Sverigemixar.



Figur 4.3 Miljöbelastning i form av övergödning för olika uppvärmningssystem. El och fjärrvärme betraktas här som Sverigemixar.



Figur 4.4 Miljöbelastning i form av bildning av marknära ozon för olika uppvärmningssystem. El och fjärrvärme betraktas här som Sverigemixar.

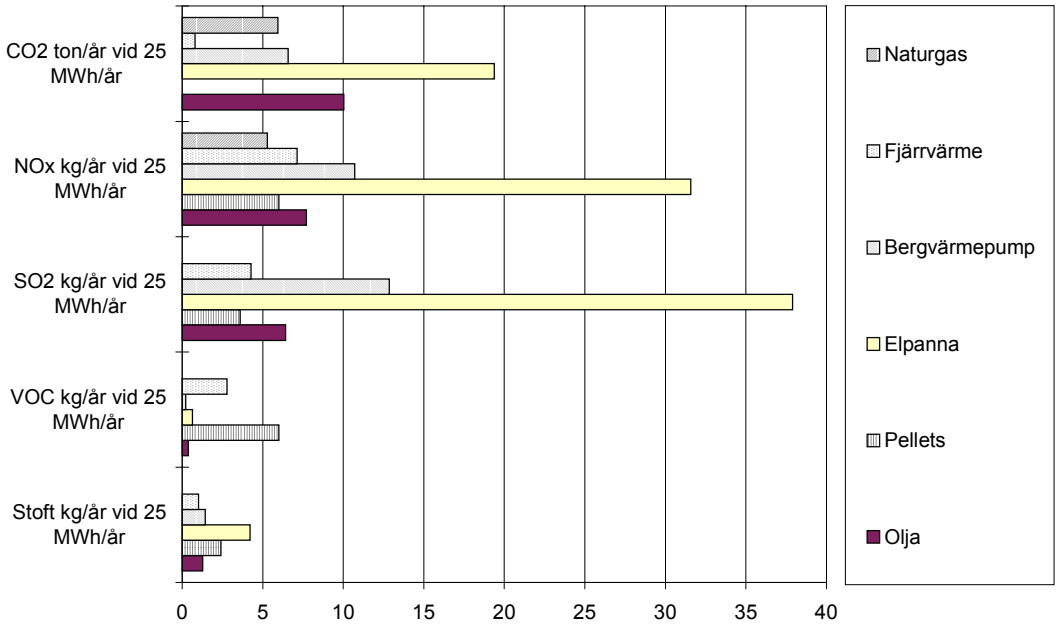


Figur 4.5 Miljöbelastning i form partikelemissioner för olika uppvärmningssystem. El och fjärrvärme betraktas här som Sverigemixar.

4.4 Jämförelse med en annan undersökning

Naturvårdsverket [50] har jämfört förbränningsutsläpp ifrån olika uppvärmningssystem och resultatet visas i figur 4.5. Undersökningen tar endast hänsyn till emissioner ifrån själva förbränningen och bygger inte på några livscykelinventeringar eller livscykelanalyser. Fjärrvärmen består utav en mix av 90 % flis och 10 % olja och elen består till 100 % av produktion i koleldade kondens- och kraftvärmeverk.

Betraktelsesättet beträffande elen bygger på att de nordiska länderna har ett sammanbundet elsystem. Om den svenska elkonsumenten reducerar elanvändningen genom effektivare elanvändning kan man på ett annat ställe i det nordiska elproduktionssystemet låta bli att producera fossileldad kondensel. Resultatet i figur 4.5 visar därmed inte vilka emissioner som faktiskt släpps ut från ett eluppvärmningssystem, utan hur emissioner kan antas minska vid en eleffektiviseringsåtgärd eller med ett alternativt uppvärmningssystem. (Olika betraktelsesätt av el och fjärrvärme beskrivs i kapitel 4.2.)



Figur 4.5 Jämförelse av förbränningsemissioner för olika uppvärmningssystem. Resultat från Naturvårdsverkets undersökning [50]. Elen består till 100 % av produktion i koleldade kondens- och kraftvärmeverk.

Naturvårdsverkets resultat visar att bergvärmepumpen och elpannan som båda har el som energislag har stora utsläpp av CO_2, NO_x och SO_2. Detta medför stor påverkan på växthuseffekten, övergödning och försurning. Fjärrvärmen har ringa och förbränning med pelletar saknar helt påverkan på växthuseffekten. Utsläpp av NO_x och SO_2, vilket medför påverkan på övergödning och försurning, är något mindre för förbränning av pelletar jämfört med fjärrvärme medan förbränning av olja ger något större utsläpp.

De mest slående skillnaderna mellan undersökningen av Naturvårdsverket och beräkningsexemplet är miljöeffekterna av elanvändning som går ifrån mycket stor påverkan till nästan ingen alls. Detta visar hur starkt beroende resultatet är av vilket betraktelsesätt man valt för att beskriva elmixen.

Biobränsle (pelletar och ved) har påverkan på växthuseffekten i beräkningsexemplet och betydligt större påverkan på övergödning och försurning jämfört med olja och fjärrvärme. Dessa skillnader i resultat jämfört med Naturvårdsverket kan delvis förklaras med att beräkningsexemplet använder sig av utsläpp ifrån hela livscykeln medan Naturvårdsverket endast har förbränningsutsläpp. Båda undersökningarna anser att förbränning av biobränsle inte ger något nettobidrag av koldioxidutsläpp eftersom biobränsle ingår i det naturliga kretsloppet. Koldioxidbildningen vid förbränningen är proportionell mot kolinnehållet i biobränslet som har lagrats där under dess tillväxt.

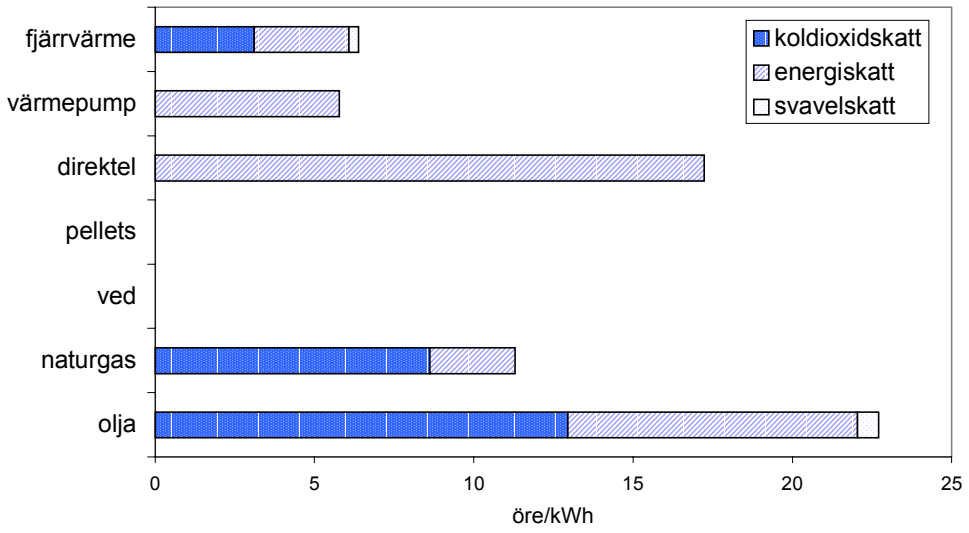
Skillnader i påverkan på växthuseffekten av fjärrvärme kan förklaras med att fjärrvärmemixen i beräkningsexemplet består av 51 % biobränsle jämfört med naturvårdsverkets mix på 90 %. Biobränsle har inget bidrag till koldioxidutsläpp som nämnts ovan.

4.5 Jämförelse av resultat med beskattning

Figur 4.6 visar skatter för de uppvärmningssystem som betraktats i beräkningsexemplet [53]. Olja och fjärrvärme har både energi- koldioxid- och svavelskatt medan el endast har energiskatt.

En jämförelse av resultatet ifrån påverkan på växthuseffekten med koldioxidbeskattning visar samstämmighet med miljöbelastningen. Elanvändning har i detta exempel ingen direkt påverkan på någon speciell miljöeffekt men har en hög beskattning i form av energiskatt. Biobränsle som har ringa påverkan på växthuseffekten men stor påverkan på andra miljöbelastningar saknar direkt beskattning.

Förutom dessa direkta skatter finns också indirekta skatter som t.ex. dieselskatt för transport av bränsle. Det finns också andra skatter som kan bli betydande. Till exempel kan en installation av en bergvärmepump öka taxeringsvärdet för en fastighet och därmed också fastighetsskatten.



Figur 4.6 Beskattning av producerad kWh värme för de olika uppvärmningssystemen i beräkningsexemplet.

5 Slutsatser och fortsatt arbete

I det första delprojektet har olika uppvärmningssystems påverkan på den inre och yttre miljön undersökts. Ett framtida mål är att utveckla ett verktyg som gör det möjligt för ett enskilt företag eller en enskild konsument att uppskatta sin totala miljöbelastning. Det skall även vara möjligt att bedöma hur miljöbelastningen förändras med effektiviseringsåtgärder eller med alternativa tekniska system och vilka konsekvenser det medför för övriga påverkansfaktorer (bekvämlighet, driftsäkerhet, inomhusmiljö m.m.).

Val av tekniskt system med dess energislag påverkar inte möjligheten att tillgodose ställda krav på inomhusmiljön. En förutsättning för att få önskad inomhusmiljö är att det tekniska systemet projekteras, byggs och underhålls på ett ändamålsenligt sätt. Vid utformning av systemet måste hänsyn tas till risken för att störningar uppkommer.

Uppskattning av yttre miljöpåverkan har visat sig vara helt beroende av vilken mix man väljer för att beskriva användning av el eller fjärrvärme. Det vore därför bra om ett material utvecklades så att det blir enkelt att välja och studera effekterna av olika mixar. Därmed vore det möjligt att studera hur miljöbelastningen varierar beroende av olika betraktelsesätt eller av olika scenarier om hur produktionsmixen kommer att se ut i framtiden.

Resultatet i detta arbete visar att miljöbelastning, i form av emissioner, ifrån el producerad i kärnkraftverk eller vattenkraftverk är ringa. Båda produktionssätt har dock andra miljöbelastningar. Vattenkraftverk medför alltid ett ingrepp i naturen i form av en förändrad landskapsbild. I kärnkraftverk förbrukas uran vilket är en icke förnyelsebar naturresurs. Metodiken bör därför utvecklas till att också ta hänsyn till resursförbrukning och därmed ge en mer nyanserad bild av miljöbelastningen. En annan viktig bit som också bör beaktas i metodiken är kärnkraftens radioaktiva avfall.

Vid en energieffektiviseringsåtgärd eller vid val av alternativa tekniska system är det viktigt att kunna bedöma driftkostnaden under hela investeringens livslängd. Bränslekostnader varierar med tiden, dels beroende av tillgång men också beroende av politiska beslut i form av ekonomiska styrmedel. Idag finns inget ekonomiskt styrmedel för att förhindra miljöförstöring i form av bildning av marknära ozon, övergödning eller försurning men hur kommer det att bli i framtiden? En intressant fortsättning vore därför att utveckla ett material där driftkostnaden för olika alternativ i dagsläget kan beräknas men där det också är möjligt att ändra bränslepriser och ekonomiska styrmedel så att driftkostnaden under hela investeringens livslängd kan uppskattas. På så sätt skulle olika kostnadsscenarier, som är direkt anknutna till miljöbelastningen, kunna genomföras. Detta kan vara till hjälp vid avvägning mellan miljö- och kostnadsprioritering.

6 Referenser och bibliografi

6.1 Referenser

1. Németh Whinter, B. *En analyse av totalenergiforbruket i fem versjoner av en norsk bolig.* Doktor ingenjöravhandling 1998:8, Institutt for bygningsteknologi, Noreges teknisk-naturvitenskapelige universitet NTNU, Trondheim, ISBN 82-471-0200-5, 1998.

2. Adalberth, K. *Bygga Bruka Riva. Energianvändning i småhus ur ett kretsloppsperspektiv.* LTH, avdelningen för Byggnadsfysik, Rapport TVBH-3027, Lund, november 1995.

3. Adalberth, K. *Energy use in four multi-family houses during their life cycle.* International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, Volume 1, pp 1-20, 1999.

4. Cole, R.J. and P.C. Kernan, *Life-cycle energy use in office buildings.* Building and Environment, Volume 31, No 4, pp 307-317, 1996.

5. Ekberg, L.E. och O. Strindehag, *Inomhusklimat och Inomhusmiljö, VVS 2000*, Tabeller och Diagram, Förlags AB VVS, Stockholm, 2000.

6. Nilsson, P-E, *Energiledning: Att hantera energirelaterade frågor i företag och organisationer*, CIT Energy Management AB, ER 11:2000, Statens Energimyndighet, 2000.

7. Abel, E. *Byggnaden som klimatsystem*, Kompendium VIN 086:1 2000, Inst. för installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, 2000.

8. Definiera vistelsezonen, AMA-nytt, VVS EL, 1/91

9. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, *Thermal environmental conditions for human occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 1992.

10. Rydberg, J. et al., ASHRAE Transactions, 1362, 1949.

11. International Standard ISO7730, *Moderate Thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, 1990.

12. Boverkets Byggregler, BBR, BFS 1998:38.

13. *Klassindelade Inneklimatsystem, Riktlinjer och specifikationer, R1*, VVS Tekniska Föreningen, 2000.

14. Statens Naturvårdsverks Allmänna Råd, 90:9, 1991.

15. SOSFS 1999:25, Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – ventilation, 1999.

16. AFS 1993:5, Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling, *Ventilation och Luftkvalitet*, 1993.

17. SOSFS 1999:22, Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – radon i inomhusluft, 1999.

18. SOSFS 1989:13, Socialstyrelsens författningssamling, *Socialstyrelsens allmänna råd om åtgärder mot formaldehyd i byggnader*, 1989.

19. SOSFS 1989:51, Socialstyrelsens författningssamling, *Socialstyrelsens allmänna råd om ventilation i bostäder med flera lokaler*, 1989.

20. Ljudkompendium, Teknisk Akustik, CTH.

21. AFS 1992:10, Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling, *Buller*, 1992.

22. SOSFS 1996:7, Socialstyrelsens allmänna råd om buller inomhus och höga ljudnivåer, 1996.

23. Starby, L., ”Belysningshandboken”, utgiven av Ljuskultur, ISBN 941-630-126-X, 1992.

24. AFS 1991:8, Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling, ”Belysning”, 1991.

25. *Livscykelanalyser LCA*. Naturvårdsverket. ISBN 91-620-9541-2.

26. Uppenberg, S, Brandel, M, Lindfors, L-G, Marcus, H-O, Wachtmeister, A, Zetterberg, L. *Miljöfaktabok för bränslen. Del 2 Bakgrundsinformation och teknisk bilaga.* IVL Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, IVL Rapport B 1334 B, Stockholm, augusti 1999.

27. *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment.* Nordic Council of Ministers, Nord 1995:20, Köpenhamn 1995 (tredje tryckningen 1999). ISBN 92 9120 692 X.

28. Tiuri, M. *Fine-particle emissions and human health.* Doc. 8167, Committee on Science and Technolgy, European Democratic Group, Finland, 9 July 1998.

29. Tiuri, M. *Technological possibilities for fulfilling the targets of the Kyoto Protocol (to the United Nations Framework Convention on Climate Change).* Doc. 8810, Committee on Science and Technolgy, European Democratic Group, Finland, 13 July 2000.

30. *Bestämmelser för Certifierade miljövarudeklarationer, EPD. Svensk tillämpning av ISO TR 14025 typ III miljödeklarationer*. AB Svenska Miljöstyrningsrådet, MSR 1999:1, november 1999.

31. Strömberg, P, Sunér, M. *Certifierade miljövarudeklarationer för el- och fjärrvärmeproduktion (exklusive kraftvärme). Produktspecifika utgångspunkter.* Elforsk Rapport 98:26. PSR 1998:1.

32. Uppenberg, S, Brandel, M, Lindfors, L-G, Marcus, H-O, Wachtmeister, A, Zetterberg, L. *Miljöfaktabok för bränslen. Del 1 Huvudrapport.* IVL Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, IVL Rapport B 1334 A, Stockholm, augusti 1999.

33. *Energiläget 1999.* Energimyndigheten, ET 81:1999, Stockholm, november 1999.

34. Gustavsson, L., C. Tullin och I. Wrande. *Small-scale biomass combustion in sweden –research towards a sustainable society.* 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, 5-9 June, 2000.

35. Vattenfall. *Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion –Sammanfattnde rapport.*Vattenfall Energisystem AB, Stockholm, 1996.

36. Ericson S. O. *Biomass for domestic small scale heating; Electricity as energy carrier versus small scale combustion evaluated by resource efficiency and externalities.* 3rd Dixy Lee Ray Memorial Symposium; Global Carbon Management and Sequestration Technologies Life Cycle analysis, August 29-31, Washington DC, 2000.

37. Åf-Energikonsult. *Energi och miljö.* Framställd på uppdrag av SGC Svenskt Gastekniskt Center, Åf-Energikonsult, 1995.

38. Lundborg, A. *Skogsbränsle och svavel.* Rapport från Vattenfall Utveckling AB, Projekt bioenergi, Projrktnr: 38402-03, 1994.

39. *Svensk elmarknad 1998.* Energimyndigheten, ET 48:1999, Stockholm, maj 1999.

40. *Miljöredovisning 1998*. Sydkraft, mars 1999.

41. *Produktspecifika regler för certifierade miljövarudeklarationer för el- och fjärrvärmeproduktion*. PSR 1998:1 revision 1, maj 2000.

42. Thunell, J. *Gasbranschens miljöhandbok.* Rapport SGC 075, Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC), Malmö, 1996.

43. Finnveden, g., L-G. Lindfors och H. Stripple. *Livscykelanalys av etanol ur sorterat hushållsavfall med starksyrahydrolys.* IVL-Rapport B 1168, Institutet för vatten- och luftvårdsforskning AB, Stockholm, 1994.

44. Mälkki, H. Och P. Frilander. *Life cycle assessment of peat utilisation in Finland.* VTT Publications 333, Technical Research Center of Finland (VTT), Espoo, 1997.

45. *Årsredovisning 1999.* Göteborg Energi AB, Göteborg, 2000.

46. Personlig kommunikation med Eddie Johansson, Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

47. SP-Rapport 94E1 2061. *Provning av el/oljepannor*. Henrik Persson, Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1994.

48. SP-Rapport 90E1 0074. *Provning av ackumulatorsystem för vedeldning*. Lennart Gustavsson, Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1993.

49. SP-Rapport 95E1 2359. *Provning av pelletbrännare*. Henrik Persson, Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1995.

50. *Miljöanpassad effektiv uppvärmning och elanvändning.* En bok i MILEN-serien. Naturvårdsverket, Rapport 4526, Stockholm, 1998.

51. Personlig kommunikation med Per Fahlén, Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

52. Personlig kommunikation med John Rune Nielsen, Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

53. *Skatter och avgifter inom energiområdet*. Björn Andersson, Energiteknik, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1996. Uppdaterad april 2000.

6.2 Bibliografi

Adalberth, K. *Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings.* LTH, Department of Building Physics, Report TVBH-1012, Lund, januari 2000.

Davis, J, Haglund, C. *Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production.* Institutet för livsmedel och bioteknik, CTH, SIK-report No 654 1999, Göteborg, januari 1999.

El från Lule älvs vattenkraftsstationer. Certifierad miljövarudeklaration, EPD. Vattenfall, registreringsnummer: S-P-00001, 1999.

El producerad vid Vindöns vindkraftpark. Certifierad miljövarudeklaration, EPD. Sydkraft, 1999.

Energiläget i siffror. Energimyndigheten, 1999.

Erlandsson, M. *Ozonbildningspotential – bidrag till marknära ozon från VOC, CO och NO_x.* Dokumentation från projektet ”Miljövärdering av byggnader”, Ragn-Sells Miljökonsult AB, Sollentuna 980701.

Erlandsson, M. *Värdering av resursuttag utifrån ett ekologiskt perspektiv.* Trätek, Rapport L 9608068, Stockholm, augusti 1996.

Fakta om värmepumpar och anläggningar. Svenska Värmepumpföreningen, SVEP, Stockholm, 1997.

Fjärrvärme- och kraftvärmeverksamheten i sammandrag. Fjärrvärmeföreningen, http://www.fvf.se/

Hanna, M. *Miljöutredning för nyanslutning av villa till befintligt fjärrvärmenät.* Högskolan Dalarna, Examensarbete Miljöteknik Nr 1557, Borlänge, maj 1999.

Livscykelanalyser av Vattenfalls el. Vattenfall, Stockholm, maj 1999.

Miljöbokslut 1998. Vattenfall http://www.vattenfall.se/

Miljövarudeklarationer. Naturvårdsverket, Rapport 4775, Stockholm 1997.

Rashad, S M, Hammad, F H. *Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems.* Applied Energy 65 (2000) 211-229, Elsevier Science Ltd.

Ryding, S-O, m fl. *Miljöanpassad produktutveckling.* Industriförbundet, Stockholm 1994 (tredje tryckningen 1998).

Villavärmepumpar. Energimyndigheten, ET 64:1999, Eskilstuna, 1999.

Vägledning för livscykelanalyser LCA. Sammanfattning av LCA-Norden. Naturvårdsverket, Rapport 4537, Stockholm, februari 1996.

Denna rapport är framtagen i forskningsprogrammet EFFEKTIV som bedrivs inom Centrum för Effektiv Energianvändning (CEE).

CEE består av SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, CIT Energy Management och Institutionen för Installationsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola.

EFFEKTIV
c/o SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 BORÅS, Telefon 033-16 50 00, Telefax 033-13 55 02

RAPP NR 2000:01
ISBN 91-7848-824-9
ISSN 1650-1489