



GRÖN LOGIK

Visualisering av byggnaders potential för energieffektivisering

2023 | 03

 **Anthesis**

Kausal

GRÖN LOGIK

Visualisering av byggnaders potential för energieffektivisering

Erik Gråd, Alexander Eriksson, Agneta Persson och Diar Balata, Anthesis AB
Tero Tikkanen och Jouni Toumisto, Kausal Ltd

2023-10-01

Rapport 2023:03

anthesisgroup.com/se/
kausal.tech

FÖRORD

Framtagandet av verktyget Grön Logik och denna rapport har möjliggjorts genom finansiering från Energimyndighetens forsknings- och innovationsprogram E2B2.

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. Hållbarhet, effektivitet och robusthet i bebyggelsen behöver stärkas och utvecklas. Lösningarna behöver samspela för att fungera och utnyttjas. Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering spelar en avgörande roll.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmet startade 2013 och en andra programperiod pågår mellan 2018 och 2024. Projektet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten.



Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.

Energimyndighetens projektnummer: P2021-00204 E2B2

SAMMANFATTNING

Verktyget Grön Logik visualiserar energieffektiviseringspotentialen för svensk bebyggelse och den lönsamhet som energieffektiviserande åtgärder leder till. Verktyget, [som finns tillgängligt här](#), visar en kostnadskurva som illustrerar hur ytterligare besparad kWh kan uppnås och den kostnad detta innebär. Många åtgärder illustreras som en negativ kostnad, eftersom dess besparingar överstiger investeringskostnaderna.

Energieffektivisering är ett logiskt första steg för att lätta en ansträngd energimarknad. Inte minst är detta viktigt under den pågående energikrisen. Byggnadsbeståndet står för en betydande del av energianvändningen i Sverige och effektiviseringspotentialen är stor. Energieffektivisering leder till lägre energikostnader för individuella hushåll och byggnadsägare, men också till ytterligare mervärden som gynnar samhället. Genom effektivisering av energianvändningen kan kostnader för ytterligare utbyggnad av energiproduktion och -distribution undvikas, koldioxidutsläpp undviks och förbättrat inomhusklimat från energieffektiviserande renoveringsåtgärder leder också till förbättrad hälsa. Dessa mervärden kan visualiseras i verktyget, tillsammans med kostnadsbesparingar från minskad energianvändning och de investeringskostnader som olika åtgärder medför.

Verktyget visualiserar effektiviseringspotentialen för fyra olika byggnadsbestånd; småhus, flerbostadshus, kontor samt skolor. Energieffektiviserande åtgärder som inkluderas i verktyget är bland annat klimatskålsåtgärder som isolering eller nya energieffektiva fönster och dörrar, konvertering av energi från exempelvis direktverkande el till värmepumpar eller fjärrvärme, samt flera övriga åtgärder.

Beräkningarna i verktyget beror till stor del på antaganden och ett antal viktiga parametrar. Verktyget har därför skapats flexibelt, där parametrar kan justeras och anpassas efter olika antaganden eller scenarioanalyser. Både privat- och samhällsekonomisk lönsamhet kan visualiseras, olika mervärden kan inkluderas eller exkluderas, åtgärder kan filtreras efter olika delar av byggnadsbeståndet, och viktiga parametrar som diskonteringsräntan och energipriser kan justeras. Verktyget är fritt för användning och skapat med öppen källkod för att möjliggöra vidareutveckling.

Med hjälp av detta verktyg kan byggnadsägare få en överblick över energibesparingspotentialen från olika åtgärder och den kostnad eller lönsamhet dessa åtgärder leder till. Verksamhetsutövare och branschorganisationer får både en bredare och djupare inblick i hur dessa åtgärder påverkar både privat- och samhällsekonomiska nytta. Styrmedelsutvecklare kan också använda verktyget för att prioritera vilka åtgärder som bör främjas och för att analysera vilka typer av styrmedel som kan vara lämpliga.

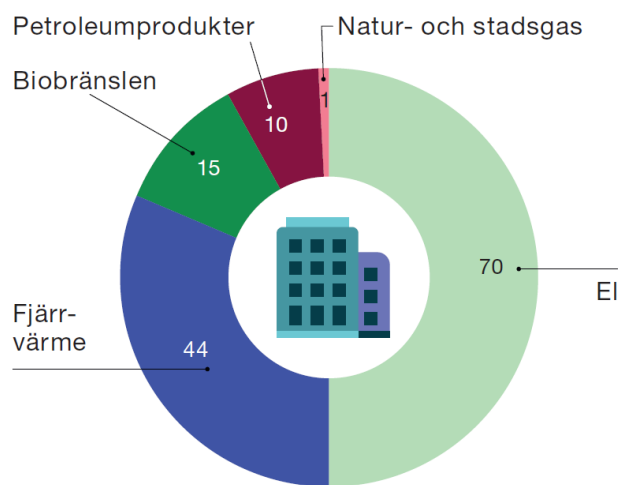
Detta projekt har genomförts av Anthesis AB och Kausal LTD, med finansiering från forsknings- och innovationsprogrammet Energieffektivt Byggnad och Boende (E2B2), som drivs av Energimyndigheten och koordineras av IQ Samhällsbyggnad.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Energieffektivisering i byggnadsbeståndet	5
Verktyget Grön Logik	5
Energieffektiviserande åtgärder	6
Interaktionseffekter	6
Mervärden.....	7
Undvikt utbyggnad av elproduktion	8
Minskade utsläpp av växthusgaser	8
Förbättrat inomhusklimat och hälsoeffekter	8
Icke-kvantifierade mervärden och kostnader	9
Hur verktyget kan användas.....	9
Marginalkostnadskurvor	10
Scenarier	10
Antagna referensvärden	14
Vidare utveckling	16
Analys och slutsatser	16
Referenser	18
Bilaga 1.....	20

ENERGIEFFEKTIVISERING I BYGGNADSBESTÄNDET

Energi- och klimatmål uppsatta både inom EU och Sverige kräver effektivare energianvändning. En omställning av energisystemet är nödvändig för att uppnå bland annat mål kring förnybar energi och möta framtidens elbehov. Effektivisering av nuvarande energianvändning är ett logiskt första steg som bör prioriteras med en stor energieffektiviseringspotential i den svenska bebyggelsen. Endast en liten del av vad som är privatekonomiskt lönsamt, och en ännu lägre andel av vad som är samhällsekonomiskt lönsamt, genomförs i dagsläget. Genom energieffektivisering av bebyggelsen kan belastningen och det prognostiserade utbyggnadsbehovet minska, samtidigt som både individer och samhälle gör stora kostnadsbesparingar. Utöver kostnadsbesparingar för lägre energianvändning bidrar energieffektivisering även med en rad mervärden (multiple benefits) som gynnar hela samhället. Dessa inkluderar bland annat minskade koldioxidutsläpp, förbättrat inomhusklimat, och minskat behov av utbyggnad av energiproduktion och -distribution.



Figur 1. Slutlig energianvändning i bostäder och service m.m 2020, TWh. Källa: (Energimyndigheten, 2022).

Potentialen för energieffektivisering inom byggnadsbeståndet är stor. Figur 1 visar den slutliga energianvändningen för bostäder och service m.m. under år 2020 utifrån energibärare. Den totala energianvändningen inom bostäder och service var omkring 140 TWh varav ungefär hälften av användningen utgjordes av el medan fjärrvärme och biobränslen tillsammans stod för omkring 60 TWh (Energimyndigheten, 2022).

VERKTYGET GRÖN LOGIK

I detta projekt har vi tagits fram ett verktyg som visualiserar potentialen för energieffektivisering i det svenska byggnadsbeståndet. Energieffektiviseringspotentialen beräknas för en rad energieffektiviseringsåtgärder i olika delar av byggnadsbeståndet. I verktyget visualiseras effektiviseringspotentialen tillsammans med den privat- och samhällsekonomiska lönsamheten för åtgärderna. Syftet med denna rapport är att beskriva hur verktyget är tänkt att användas och att redogöra för det underlag och de beräkningar som används. Vi tar utgångspunkt i den tidigare rapporten "Grön Logik - Den Samhällsekonomiska Potentialen från Energieffektivisering i Byggnader" (Gråd, Persson, & Ekelin, 2021). I den rapporten redovisades ett antal energieffektiviserande åtgärder, åtgärdernas energieffektiviseringspotential samt lönsamhet för enskilda individer (privatekonomisk lönsamhet) och samhället i stort (samhällsekonomisk lönsamhet). Med det nya verktyget *Grön Logik* kan man utöver den totala energieffektiviseringspotentialen se hur stor energieffektivisering som kan uppnås

genom respektive åtgärd och jämföra privat- och samhällsekonomisk lönsamhet mellan åtgärder. Dataunderlaget har utökats med fler åtgärder och beräkningarna har justerats med uppdaterade värden. Beräkningarna är starkt beroende av vilka parametervärden som används, som exempelvis vilka framtida energipriser eller emissionsfaktorer för olika energibärare som antas. Detta och flera andra värden är programmerade flexibelt så att användaren själv kan välja nivåer och undersöka hur förändringar påverkar utfallet. Verktøjets förinställda val motiveras senare i denna rapport. Verktøjet har tagits fram med öppen källkod, så kallad open source, vilket innebär att verktøjet är öppet för vem som helst att utveckla vidare.

Målgrupper för det digitala verktøjet är aktörer som har rådighet att genomföra energieffektiviserande åtgärder i byggnader, så som fastighetsbolag och hyresrättsföreningar. Även intresseorganisationer som driver på omställningen mot ett hållbart samhälle förväntas kunna dra nytta av resultaten från projektet genom att belysa nyttan av de olika åtgärderna. Beslutsfattare inom myndigheter och experter inom energi och energieffektivisering kan genom verktøjet se vilka åtgärder som leder till vilka effekter och hur stora de privat- respektive samhällsekonomiska nyttorna är. Privata småhusägare bedöms vara en målgrupp som generellt är svårare att nå ut till och karaktäriseras av att varje aktör äger en eller ett fåtal fastigheter. Verktøjet baseras på uträkningar för typhus som representerar ett genomsnittligt bestånd, och ger därför en översiktlig bild för det totala byggnadsbeståndet.

ENERGIEFFEKTIVISERANDE ÅTGÄRDER

Identifieringen av energieffektiviserande åtgärder, potentialer och kostnader grundar sig i tidigare potentialstudier från bland annat HEFTIG, BeSmå-projekt samt potentialstudier för tilläggsisolering och teknisk isolering (Wahlström, m.fl., 2015; Anthesis, 2022; Persson m.fl., 2022). Beräkningarna av energieffektiviseringspotential har gjorts för fyra typer av byggnadsbestånd: småhus, flerbostadshus, kontor och skolor.

Dataunderlag för **småhus** är hämtat från Persson, m.fl., (2020). Investeringskostnader för fasadisolering är hämtat från Wiksells sektionsfakta (Wikells, 2021). Utöver energieffektiviserande renoveringsåtgärder inkluderar underlaget även förbättrad ventilation samt installation av lokal energiproduktion i form av solex och solvärme. Totalt utgör beståndet av småhus cirka 302 miljoner kvadratmeter bostadsarea och biarea. Dataunderlag för åtgärder i **flerbostadshus** är hämtat från Wahlström (m.fl., 2015), Anthesis (2022) och (Persson m.fl., 2022).

Energieffektiviserande renoveringsåtgärder för **kontor** är hämtat från rapporten "Fallstudier till HEFTIG" (Wahlström m.fl., 2015). Totalt utgör kontor ca 33,2 miljoner kvadratmeter (Gråd, Persson, & Ekelin, 2021). Dataunderlaget för åtgärder i **skolor** är uppdelat utifrån om det är träskolor eller stensskolor, där stensskolor utgör omkring 70 procent och träskolor omkring 30 procent. Totalt utgör skolorna ca 42,9 miljoner kvadratmeter byggnadsarea (Gråd, Persson, & Ekelin, 2021). Ytterligare uppgifter om skolors ventilationssystem är hämtade från (Boverket och Energimyndigheten, 2007). Underlaget är baserat på huvudbyggnader vilket innebär att ventilationssystem kan skilja sig något i andra tillhörande byggnader inom fastigheten.

Några exempel på energieffektiviserande åtgärder som analyseras i verktøjet är fasadisolering, vindsisolering, byte av fönster, uppgradering till FTX-ventilation, lågenergilampor, byte av värmeväxlare, och isolering av tekniska installationer så som varmvattenledningar, ventiler och kulvertar. En fullständig lista med åtgärderna för de olika byggnadstyperna finns i bilaga 1. Energibesparingen för åtgärderna delas in i värmebesparing och elbesparing. Vidare i analysen antas att värmebesparing har emissionsfaktor och pris motsvarande de för fjärrvärme samt att elbesparingen har en emissionsfaktor och ett pris motsvarande nordisk elmix, med hänsyn till import och export.

Interaktionseffekter

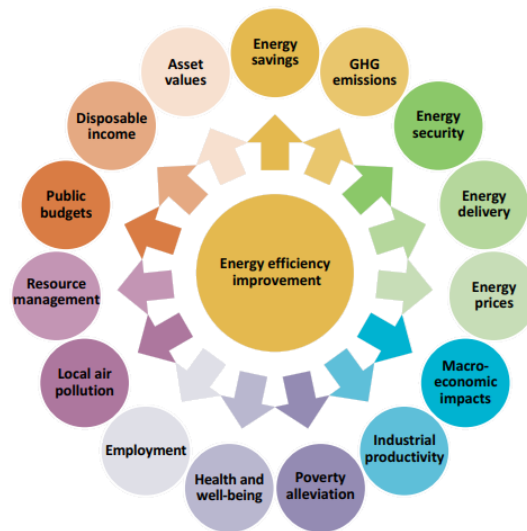
I analysen av den totala potentialen av de energieffektiviserande åtgärderna har vi tagits hänsyn till interaktionseffekter mellan åtgärder. Det innebär att om vissa åtgärder genomförs först påverkas besparingspotentialen för andra åtgärder. Ett sådant exempel är att potentialen av att konvertera från direktverkande el till fjärrvärme är lägre om man först har genomfört tilläggsisolering på fasaden, genom

att det totala energibehovet har minskat. Interaktionseffekten har i denna studie beräknats utifrån ett antagande om att klimatskalsåtgärder genomförs i första hand och att åtgärderna genomförs i de hus som är minst energieffektiva först. Utifrån antagandet om att klimatskalsåtgärder genomförs först räknas potentialen ner med 30% för ett antal åtgärder som bedöms ha interaktion med klimatskalsåtgärderna. På så sätt skapas en mer rättvisande bild av den totala potentialen för energieffektiviseringsåtgärderna. Interaktionseffekter kan tillämpas på mer ingående nivå men inom ramen för detta uppdrag har vi behövt göra ett förenklat antagande kring dessa.

MERVÄRDEN

Energieffektivisering har en rad effekter som inte enbart berör den som äger och brukar fastigheten utan samhället i stort. Ett ramverk för att identifiera mervärden av energieffektiviseringsåtgärderna kommer från bland annat International Energy Agency (2015). Exempel på sådana mervärden är minskat effektbehov, minskade växthusgasutsläpp, minskat behov av att bygga ut ny el- eller fjärrvärmeproduktion samt förbättrad produktivitet, inomhusmiljö och hälsa. Figur 2 visar fler av dessa mervärden.

Flera av mervärdena i ramverket ryms inom både privata- och samhällsekonomiska nyttor, så som energibesparing, privatekonomisk kostnadsbesparing (disposable income) och energipriser. I analysen av mervärden har vi eftersträvat att kvantifiera mervärdena utifrån samhällsekonomiska schablonvärden för nyttor och kostnader, som exempelvis Trafikverkets ASEK-värden och studier kring förbättrat inomhusklimat (Mzavanadze, 2018; Trafikverket, 2020; EA Energianalyse, 2019).



Figur 2. Mervärden av energieffektiviserande renoveringsåtgärder. Källa: (International Energy Agency (IEA), 2015)

För utvecklingen av verktyget Grön Logik har ett urval av mervärden gjorts. Detta beror dels på utmaningar för att kvantifiera och värdera vissa mervärden, men också att flera mervärden går in i varandra. Exempelvis är förändringar i fastighetsvärden tack vare energieffektivisering en reflektion av att andra värden ökar, så att räkna med detta tillsammans med andra värden skulle innebära en dubbelräkning. Mervärden så som trygg energiförsörjning, energifattigdom och vissa aspekter inom hälsa och välmående har inte kunnat kvantifierats och det finns därför skäl att anta att de totala samhällsekonomiska nyttorna i analysen är något underskattade. Nedan beskrivs de mervärden som har kvantifierats och hur beräkningarna har gjorts.

Undvikta utbyggnad av elproduktion

Med en kraftigt ökande elektrifiering krävs utbyggnad av både elproduktion och eldistribution. Genom energieffektiviserande åtgärder kan behovet av ny elproduktion minska. North European Energy Perspective Project (NEPP) (2020) har uppskattat kostnader för utbyggnad av elproduktion i Sverige. För att möta ett ökat produktionsbehov på ytterligare 50 TWh per år har NEPP uppskattat att investeringsbehovet för ökad elproduktionskapacitet i Sverige mellan åren 2021 och 2050 uppgår till mellan 560 och 640 miljarder SEK. Det motsvarar omkring 0,4 SEK/kWh/år för de fasta kostnaderna. Utöver dessa kostnader tillkommer även ökade kostnader för elnät och distribution. Genom att endast inkludera investeringskostnader för produktionen gör vi en försiktig uppskattning av de totala undvikta kostnaderna, och vi undviker risk för dubbelräkning då de löpande kostnaderna bör täckas av slutkundernas energikostnader.

Den undvikta kostnaden för utbyggnad av elinfrastruktur tillämpas för de åtgärder som har direkt elbesparing. Värmebesparing för fastigheter som använder fjärrvärme kan skapa möjlighet för fler att koppla på sig på befintliga fjärrvärmenät. En sådan konvertering kan leda till att elbesparing görs i hus och lokaler som tidigare hade direktverkande el som uppvärmning. Analysen har inte beaktat att sådan konvertering genomförs, vilket innebär att den totala elbesparingen kan vara något underskattad. Det är svårt att förutsäga i vilken grad konvertering skulle ske då kostnader och förutsättningar för konvertering och påkoppling på fjärrvärmenät varierar över bebyggelsen.

Minskade utsläpp av växthusgaser

Ett resultat av energibesparingar är minskade utsläpp av växthusgaser från den svenska bebyggelsen. Emissionsfaktorer för växthusgasutsläpp från el och värme hämtas från Sandgren och Nilsson (2021) genom Svensk Miljöemissionsdata (SMED) och Energiföretagen (2022). Emissionsfaktorn för el, med hänsyn till import och export, uppskattas till 93,2 g CO₂e/kWh och motsvarande emissionsfaktor för fjärrvärme uppskattas till 52 g CO₂e/kWh. Beräkningen av utsläpp från olika energikällor och åtgärder som minskar energianvändningen är dock komplex. För fjärrvärme produceras energin främst från förnybara källor och avfallsförbränning. Avfallsförbränningen har två syften, dels energiförsörjning, dels avfallshantering. Utsläppen rapporteras dock generellt på energiförsörjningen, vilket leder till att fjärrvärmens emissionsvärden bär hela utsläppsbördan för såväl energiförsörjning som avfallshantering.

För att främja enkelhet och tydlighet har vi använt emissionsfaktorn för fjärrvärme trots att vi är medvetna om att värdet potentiellt är överskattat. För att sätta ett socialt värde på minskade utsläpp av växthusgaser har vi tillämpat en skadekostnad enligt det rekommenderade värdet på 7 000 SEK/ton CO₂e från ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020). För att beakta att en del av den samhällsekonomiska kostnaden redan har internaliseras i energipriset, genom att energiproducenterna deltar i handel med utsläppsrätter, har vi subtraherat det genomsnittliga priset för europeiska utsläppsrätter från skadekostnaden. Det genomsnittliga priset på utsläppsrätter år 2021 var 550 SEK/ton CO₂e, vilket innebär en skadekostnad på 6450 SEK/ton CO₂e (Naturvårdsverket, 2022).

Förbättrat inomhusklimat och hälsoeffekter

Energieffektiviserande åtgärder har ofta effekter i form av förbättrat inomhusklimat. Ett förbättrat inomhusklimat medför positiva hälsoeffekter genom förbättringar av exempelvis temperatur, luftfuktighet, lufttäthet och föroreningar m.m. Beräkningen av värdering av hälsoeffekter från energieffektivisering och förbättrat inomhusklimat och beskrivningen av denna värdering är hämtade från den första Grön Logik-rapporten (Gråd m. fl., 2021).

Mzavanadze (2018) har i COMBI-rapporten översiktligt kartlagt sådana effekter. I rapporten kvantifieras olika åtgärders effekt på kyla och luftfuktighet, och de hälsoeffekter som kan uppnås genom energieffektiviserande renoveringsåtgärder. Rapporten visar att förbättrad isolering och värmesystem som bidrar till att uppnå rätt nivå av värme minskar risken för kardiovaskulära sjukdomar, andningssjukdomar, samt psykiska hälsoförsämringar. Bättre isolering och förbättrade värme- och ventilationssystem förbättrar även luftfuktigheten, vilket kan leda till minskad risk för astma.

För att mäta hälsorelaterade nyttor används normalt metoder för att värdera hälsoanpassade levnadsår. En sådan metod användes i COMBI-projektet, med utgångspunkt i uppskattningar av vinteröverdödlighet och dess orsaker. Vinteröverdödlighet (EWD) innebär att fler människor dör under vintermånaderna än övriga månader. Detta kan bero på förhöjda nivåer av luftföroreningar på grund av efterfrågan på värme under vintern, exponering av kyla både inomhus och utomhus samt utökad exponering av smittsamma sjukdomar (The Eurowinter Group, 1997). Generellt har nordiska länder lägre vinteröverdödlighet än övriga europeiska länder, vilket brukar förklaras av bättre isolering och värmesystem i de nordiska bostäderna. Vinteröverdödlighet beräknas enligt följande:

$$EWD_i = \frac{\text{Dödsantal vinter (Dec – Mar)} - 0.5 * \text{Dödsantal ej vinter (Apr – Nov)}}{0.5 * \text{Dödsantal ej vinter (Apr – Nov)}}$$

Metoden kan även anpassas efter antal varma och kalla dagar, vilket då leder till ett mått på Excess Cold Weather Deaths (ECWD). För Sverige uppskattas det med denna metod att 9,4 procent fler personer dör under kalla dagar jämfört med varma.

Uppskattningar av olika orsaker till överdödligheten är svåra att genomföra, men tidigare studier har genom expertutlåtanden uppskattat hur mycket bristande inomhusklimat bidrar till denna överdödlighet. Dessa uppskattningar rör sig mellan 10 och 50 procent för europeiska länder (Mzavanadze, 2018). Årliga ECWDs som kan attribueras till inomhuskyla i Sverige uppskattas i COMBI-projektet till 600 dödsfall per år (Mzavanadze, 2018).

I tillägg till förhöjda dödsantal uppskattar COMBI-rapporten även förekomsten av astma och andra sjukdomar med förhöjda risker från undermåligt inomhusklimat samt dess orsaker. För värderingen av hälsoeffekter av förbättringar av inomhusklimat värderas ett statistiskt levnadsår, anpassat efter tid med olika sjukdomar (DALY, Disease Adjusted Life Years). När den danska rapporten Analyse af det samfundsøkonomiske potentiale for energibesparelse av EA Energianalyse (2019) uppskattade mervärden kopplade till energieffektivisering utgick de för hälsorelaterade värden ifrån COMBI-projektet och uppskattade ett värde av ca 0,05 DKR per minskad kWh. Eftersom vi inte har hittat ett mer ingående underlag för hur stora hälsovinsterna från olika isoleringsåtgärder är i Sverige följer vi denna metod för kvantifiering, vilket översatt till svenska valuta motsvarar cirka 0,07 SEK/kWh.

Icke-kvantifierade mervärden och kostnader

För energieffektiviseringsåtgärderna finns några mervärden som inte har kvantifieras. Exempel på sådana mervärden är värdet av trygg energiförsörjning, effekter på energifattigdom, effekter på arbetsmarknad och påverkan på energipriser. En studie från Energiforsk visar till exempel att en minskning av elanvändningen i Europa på 10% skulle kunna innebära att energipriset i södra Sverige minskar med upp till 50%. Studien visar även att elpriset skulle sjunka med ca 40 öre/kWh om södra Sverige minskade elförbrukningen med 5% (Energiforsk, 2022).

Vid en sammanställning av alla mervärden finns en risk för överlapp. I denna studie har vi inkluderat de mervärden som har kunnat kvantifieras med hänsyn till underliggande data och risk för överlapp. Vidare finns utrymme för kompletterande studier av nyttor och kostnader som relaterar till energieffektivisering.

HUR VERKTYGET KAN ANVÄNDAS

Verktyget *Grön Logik* visar potentialen för energieffektivisering och den tillhörande privat- och samhällsekonomiska lönsamheten. Varje åtgärds bidrag visualiseras i en marginalkostnadskurva. I verktyget kan man välja vilket byggnadsbestånd som ska analyseras samt om man vill visualisera den ekonomiska besparingspotentialen utifrån energibesparing eller utsläppsminskning av åtgärderna. Under ”lista” kan grundläggande parametrar som social kostnad för utsläpp av koldioxid, elpris och fjärrvärmepris sättas. I listan finns även möjligheten att exkludera specifika åtgärder för analysen.

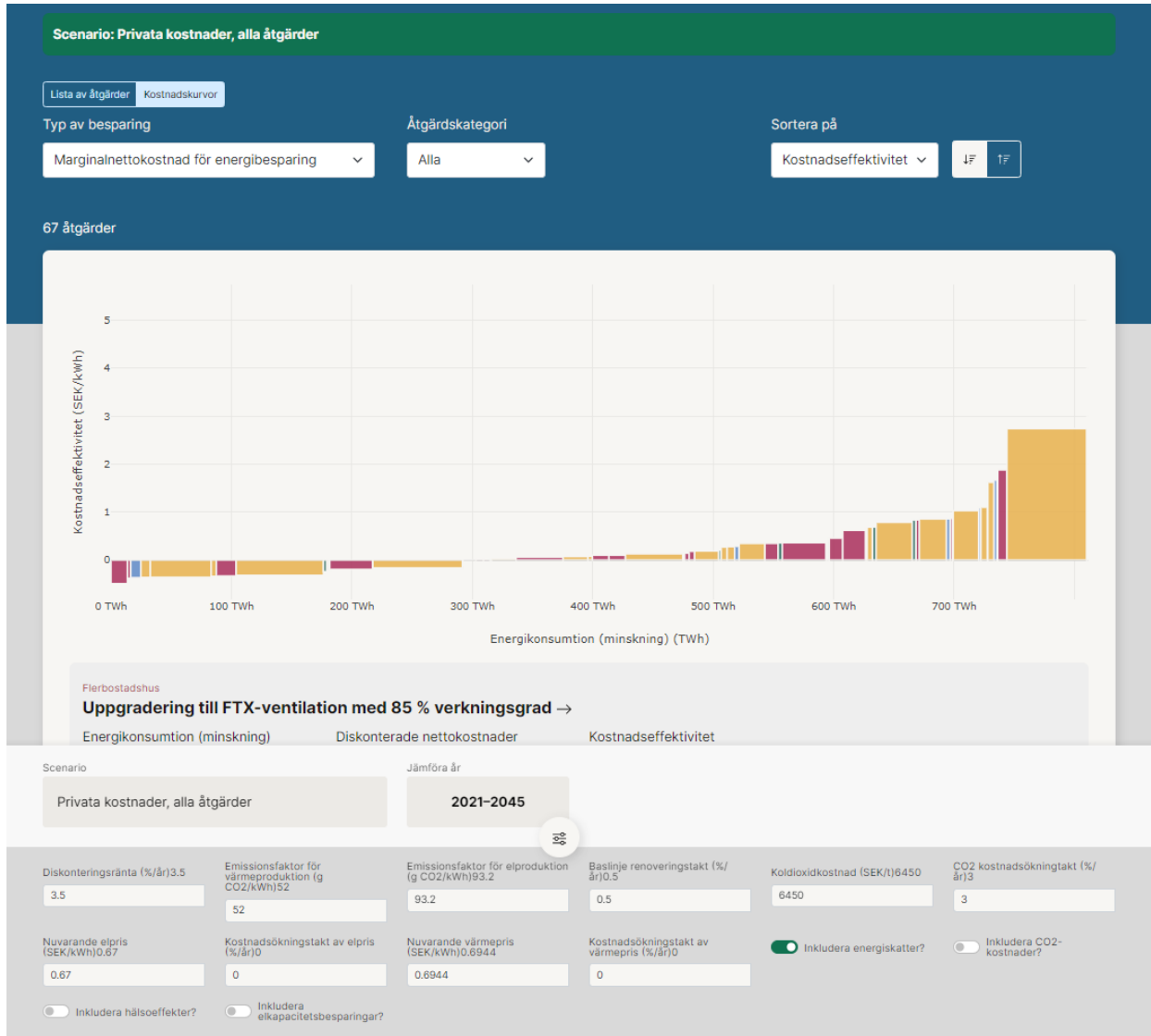
Marginalkostnadskurvor

En marginalkostnadskurva visar kostnaden för att minska ytterligare kWh energi. Varje energieffektiviserande åtgärd representeras av en stapel i diagrammet. Stapelns bredd motsvarar hur mycket energi som kan besparas genom åtgärden, och höjden motsvarar kostnaden för att genomföra åtgärden. För kostnaden räknar vi på investeringskostnader minus diskonterad besparing från minskade kostnader genom lägre energianvändning. Detta gör att vissa åtgärder är netto-lönsamma med större minskningar i löpande kostnader, och andra innebär en netto-kostnad, med högre investeringskostnader. Åtgärderna sorteras utifrån lönsamhet för att enkelt kunna urskilja vilka åtgärder som bör prioriteras utifrån lönsamhetsperspektiv. De lönsamma åtgärderna hamnar under X-axeln, vilket tolkas som en negativ kostnad.

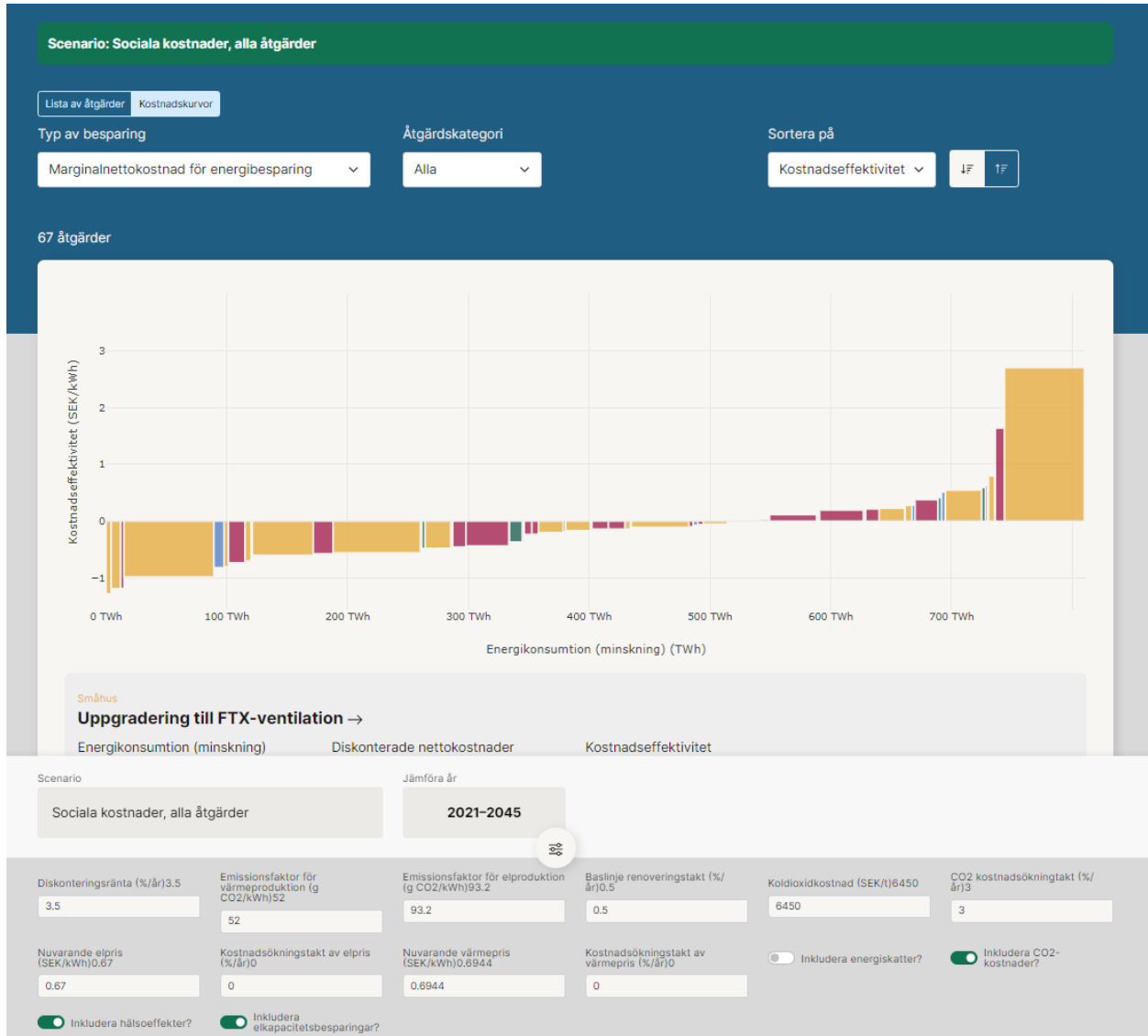
Marginalkostnadskurvor kan genereras för alla åtgärder samlat eller utifrån olika kategorier av byggnader (småhus, flerbostadshus, kontor och skolor) och kan beräknas utifrån marginalkostnad för energibesparing, eller utsläppsminskningar. I verktyget kan tidsram för beräkningar anges och antaganden kring energipris, diskonteringsränta, emissionsfaktorer och referensvärde för förväntad energieffektiviseringstakt kan anpassas av användaren genom justeringar i sidans nedre rad. Här finns också möjlighet att inkludera de samhällsekonomiska mervärdena CO₂-kostnader, hälsoeffekter och undvikta kostnader för utbyggnad av kapacitet i elnätet. Alternativet att inkludera energiskatter finns med för att skilja på energipriset i beräkningarna av privat- och samhällsekonomisk lönsamhet. I den privata lönsamhetsberäkningen inkluderas energiskatten i energipriset då besparingen för en enskild individ även inkluderar undvikt skatt. Ur det samhällsekonomiska perspektivet är det dock inte rimligt att betrakta skatten som en direkt kostnad då den fungerar som en omfördelningsmekanism snarare än en kostnad. Vid beräkningen av den samhällsekonomiska besparingen exkluderas därför energipriset moms och energiskatter. I verktyget kan man också välja mellan att visualisera effekterna av att alla åtgärder genomförs kontinuerligt eller att allt genomförs redan första året. Ett kontinuerligt genomförande är mer realistiskt och praktiskt genomförbart. Beräkningarna och visualiseringen missgynnar dock då åtgärder med lång livstid, eftersom kostnadsbesparingarna och övriga mervärden från åtgärder mot slutet av tidsperioden inte hinner ackumuleras. Av detta skäl kan visualiseringen också ske genom att alla åtgärder genomförs redan första året, som då mer rättvist återspeglar de ekonomiska effekterna av åtgärder.

Scenarier

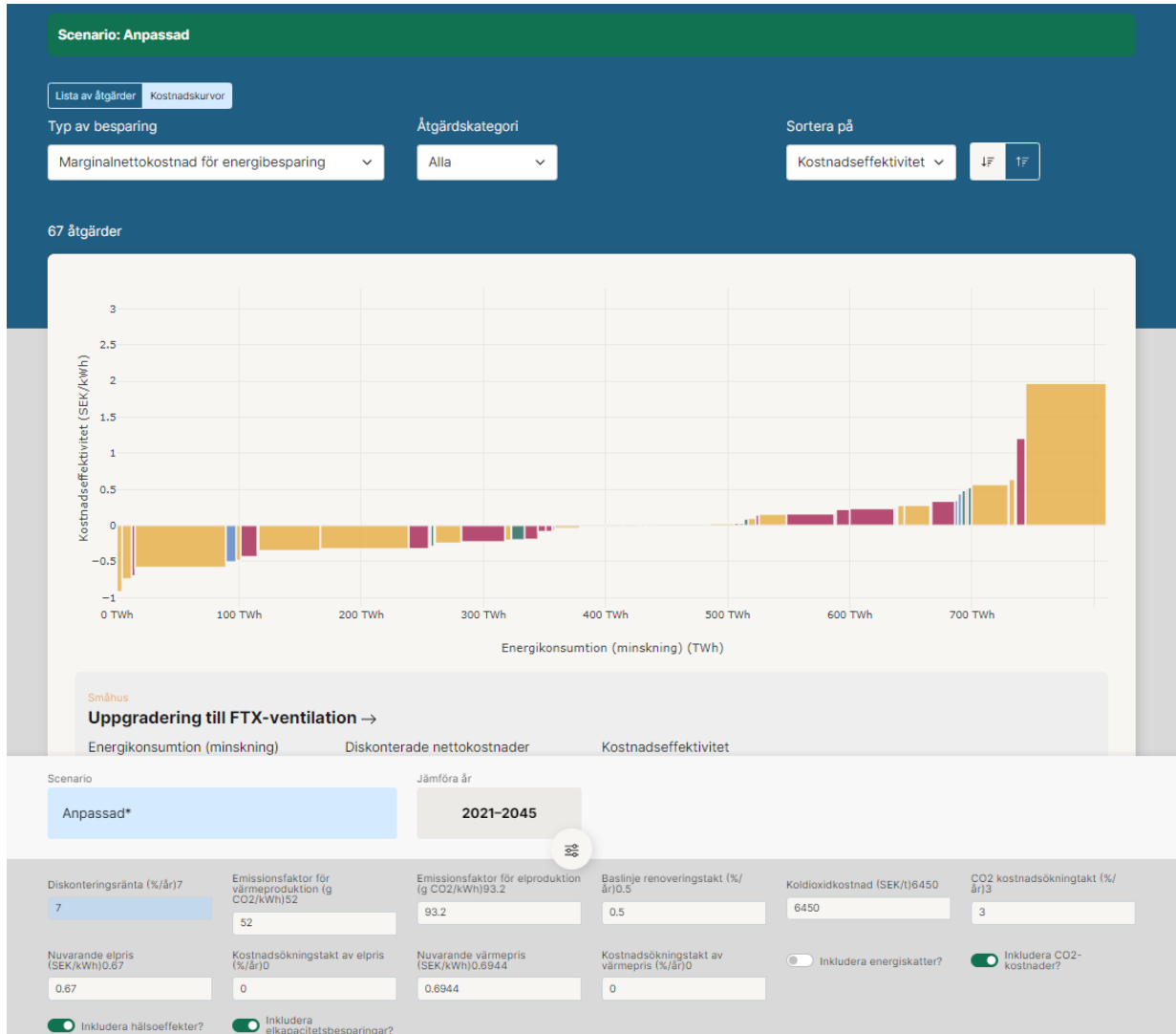
Nedan visas några av de scenarier som är möjliga att visualisera i verktyget. Samtliga av dessa visualiserar alla inkluderade byggnadsbestånd, där figur 3 visar den totala energibesparingspotentialen och den privatekonomiska lönsamheten från åtgärder. Figur 4 visar referensscenariot och inkluderar samhällsekonomiska mervärden. I figur 5 är diskonteringsräntan högre (7% i stället för 3,5%). I normalfallet rekommenderas en diskonteringsränta runt 3,5% för samhällsekonomiska analyser, medan privata aktörer ofta tillämpar högre avkastningskrav. I figur 6 har energipriserna justerats till högre värden för att illustrera energibesparingens effekter om energikrisens höga priser skulle bestå över tid.



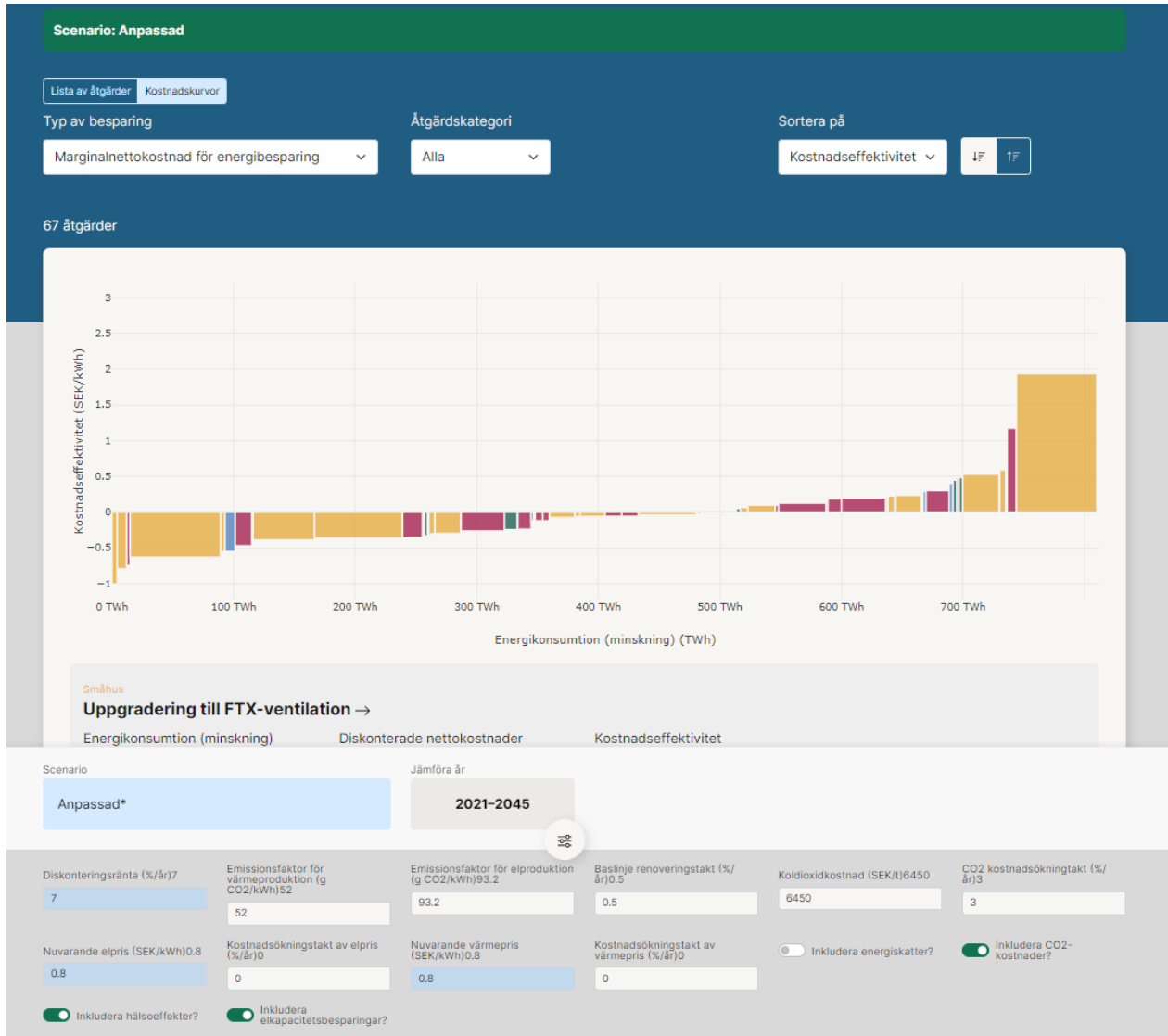
Figur 3. Referensscenario privata kostnader



Figur 4. Referensscenario inkl. samhällsekonomiska kostnader



Figur 5. Alternativt scenario inkl. samhällsekonomiska och högre diskonteringsränta



Figur 6. Alternativt scenario inkl. samhällsekonomiska kostnader, med högre energipriser

Antagna referensvärden

Även om verktyget *Grön Logik* är flexibelt genom att användaren själv kan variera olika parametrar, är verktyget förinställt med ett antal referensvärden. Dessa värden utgår från ett genomsnitt av 2021 års energipriser, emissionsfaktorer och indexjusterade värden. I Tabell 1 och Tabell 2 framgår vilka referensvärden som har använts i den privat- och samhällsekonomiska analysen i kapitel 3.1. Tabell 2 visar pris för el och fjärrvärme med uppdelning utifrån energipris och olika avgifter och skatter. De värden som presenteras här fungerar som basvärden för de olika parametrarna i visualiseringsverktyget, vilka inkluderar koldioxidpris, diskonteringsränta, emissionsfaktorer för respektive energibärare, energipris samt skatter och avgifter.

Tabell 1. Referensvärden för beräkningar

Parameter	Antaget värde:	Källa:
Social kostnad för koldioxid*	6450 SEK/ton CO ₂ e	Trafikverket (2020) och Naturvårdsverket (2022)
Real diskonteringsränta	0,035 (3,5%)	Trafikverket (2020)
Emissionsfaktor elproduktion	93,2 g CO ₂ e/kWh	Sandgren & Nilsson (2021)
Emissionsfaktor fjärrvärme	52 g CO ₂ e/kWh	Energiföretagen (2021)
Värde av förbättrat inomhusklimat	0,07 SEK/kWh	EA Energianalyse (2019)
Värde av undvikt utbyggnad av elinfrastruktur	0,4 SEK/kWh	North European Energy Perspective Project (2020)

*Beräknat som (ASEK 7.0-värde - kostnad 2021 för utsläppsrätter (EU ETS) = 7 000 SEK/ton CO₂e - 550 SEK/ton CO₂e)

Tabell 2. Enerkipris för el och fjärrvärme, uppdelat utifrån energipris, skatter och avgifter.

	El, (SEK/kWh)	Fjärrvärme, SEK/kWh
Enerkipris	0,67 ¹	0,69 ²
Moms (25%)	0,17	0,17
Nätavgifter	0,99*	
Elhandelsavgifter	0,23*	
Elcertifikat	0,03*	
Energiskatt	0,45*	
Summa	2,54	0,87

* Uppskattade kostnader för skatter och avgifter i elområde 3 utifrån Nils Holgersson-rapporten, (2021a), Nils Holgersson-rapporten, (2021b) och Konsumenternas energimarknadsbyrå (2021).

I beräkningarna av privat- och samhällsekonomisk lönsamhet tillämpas två olika värden för energipriset. Det privatekonomiska priset, som ligger till grund för den direkta besparingen av minskad energianvändning, inkluderar energipriset och alla tillhörande skatter, dvs. moms, nätavgifter, elhandelsavgifter, elcertifikat och energiskatt. Enerkipriset i beräkningarna av den samhällsekonomiska lönsamheten inkluderar inte skatter och avgifter då detta ur ett samhällsperspektiv är att betrakta som en omfördelning av resurser, alternativt ett styrmedel för att påverka jämvikter på marknaden. Skatter och avgifter bör därför inte betraktas som en samhällsekonomisk kostnad. Det samhällsekonomiska priset inkluderar spot-priset på energi samt nätavgifter som motsvarar samhällets kostnader för att upprätthålla en fungerande energiinfrastruktur.

¹ <https://www.elbruk.se/elpris-historik-2021>

² <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/fjarrvarmepriser/>

Vidare utveckling

I detta projekt har vi lagt en grund för beräkning och visualisering av energibesparing och lönsamhet av energieffektiviserande åtgärder genom att utveckla ett digitalt verktyg. Analysen av potentialer och lönsamhet beror på vilka antaganden som görs och genom ett flexibelt digitalt verktyg kan sådana antaganden varieras. Källkoden för verktyget *Grön Logik* är öppen, vilket innebär att verktyget kan vidareutvecklas och förfinas om ytterligare kunskap om åtgärder eller mervärden tillkommer.

Scenariot och visualiseringsverktyget har implementerats med hjälp av Kausal Paths-plattformen. Plattformen använder kraftfulla Python- och React-paket och publiceras som öppen källkod i två komponenter. Backend innehåller dataset och beräkningsmoduler och kan hittas på <https://github.com/kausaltech/kausalkpaths>. Denna komponent erbjuder beräkningarna via ett API (Application Programming Interface) som används av frontend, som finns på <https://github.com/kausaltech/kausalkpaths-ui>. Båda komponenterna kan laddas ner och installeras på en persondator eller en server genom att använda instruktionerna som är bifogade till källkoden. Båda komponenterna publiceras med copyleft-licens AGPLv3, som tillåter vem som helst att kopiera, använda och utveckla koden så länge de publicerar den ändrade koden med en liknande licens.

SLUTSATSER

I tider med höga energipriser och oro för framtiden är det viktigt att ta vara på de lågt hängande frukterna som energieffektivisering erbjuder i form av ekonomisk besparing genom minskat energibehov. Genom verktyget Grön logik hoppas vi bidra till en ökad förståelse för den energieffektiviseringspotential som finns för olika delar av det svenska byggnadsbeståndet. Många åtgärder är lönsamma på privatekonomiska grunder, och ännu fler åtgärder är lönsamma när man tar i beaktning de samhällsekonomiska mervärden som energieffektiviseringen medför. Beräkningarna påverkas av antaganden om bland annat energipriser, emissionsfaktorer, diskonteringsränta, samt vilka mervärden som inkluderas. Genom att låta användare av verktyget få möjlighet att justera grundläggande parametrar ges förutsättningar för att skapa en dynamisk bild av effektiviseringspotentialen och dess lönsamhet under olika förutsättningar, vilket kan användas för bland annat scenarioanalyser. Vi hoppas att verktyget blir till nytta för aktörer med inflytande över energieffektiviserande åtgärder, som exempelvis fastighetsägare eller hyres-/bostadsrättsföreningar. Andra aktörer som förväntas dra nytta av verktyget är intresseorganisationer, beslutsfattare på myndigheter och energiexperter, där verktyget kan användas som ett stöd för att visualisera potentialen och den ekonomiska besparingen samt prioritera energieffektiviserande åtgärder utifrån både privat- och samhällsekonomiska perspektiv.

Trots att syftet med verktyget är att ge en heltäckande bild av energieffektiviseringspotentialen i byggnadsbeståndet och dess lönsamhet, finns det en stor utvecklingspotential. Av de mervärden som kommer med energieffektivisering har denna studie inkluderat det direkta värdet av minskad energianvändning, minskade utsläpp av växthusgaser, förbättrat inomhusklimat och undvikta utbyggnad av energiinfrastruktur. Några samhällsekonomiska mervärden och kostnader som inte har kvantifierats är bland annat effekter på energifattigdom, trygg energiförsörjning, arbetsmarknad, luftföroreningar och effekter på energipriset för övriga konsumenter. Ett lägre energipris kan, utöver sänkta kostnader för konsumenter, ha en positiv påverkan på energifattigdom, något som kan medföra ytterligare välfärdseffekter. Sammantaget är det sannolikt att det samhällsekonomiska värdet av energieffektivisering är högre än vad som framgår av analysen.

Studier kring ytterligare åtgärder, uppdaterade dataunderlag och mer forskningsinriktade studier på värdet av olika mervärden skulle kunna förfinas analysen kring den stora energieffektiviseringspotentialen och de samhällsekonomiska mervärden som följer av energieffektivisering i det svenska byggnadsbeståndet. Projektet har inte syftat till att analysera energieffektiviseringens effekter på olika aktörer och betraktar det samhällsekonomiska värdet som ett aggregerat värde, utan hänsyn till exempelvis fördelning av resurser eller frågor om ansvar. I de fall en åtgärd motiveras av ett högt samhällsekonomiskt värde men inte av den privatekonomiska besparingen kan det vara av nytta att undersöka hur potentialen kan tillvaratas genom exempelvis ekonomiska stöd. Trots en tydlig privatekonomisk lönsamhet för flera åtgärder genomförs faktiska investeringar inte i den utsträckning

som vore rationellt. Vi ser ett behov studier för att vidare analysera vägar för att överkomma olika hinder för energieffektivisering, så som beteenderelaterade aspekter och inlåsnings effekter i form av förutsättningar i infrastruktur eller långsiktiga investeringscykler.

REFERENSER

- Anthesis (2022). *Åtgärdskostnader tilläggsisolering*. Stockholm.
- Boverket och Energimyndigheten (2007). *Energianvändning & inomhusmiljö i skolor och förskolor – Förbättrad statistik i lokaler, STIL2*. Statens energimyndighet.
- EA Energianalyse (2019). *Analyse af det samfundsøkonomiske potentiale for energibesparelser*.
- Elbruk (2022). *Elpriser 2021*. Hämtat 2022-10-25 från: <https://www.elbruk.se/elpris-historik-2021>
- Energiforsk (2022). *Lowering prices in a hurry*. Report 2022-886. Lviv, Ukraina.
- Energiföretagen (2022). *Fjärrvärmepreiser*. Hämtat från <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmest Statistik/fjarrvarmepreiser/> den 25 10 2022
- Energimyndigheten (2022). *Energiläget 2022 - en översikt*. Hämtat från <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=208636> den 31 10 2022
- Gråd, E., Persson, A., & Ekelin, S. (2021). *Grön Logik - den samhällsekonomiska potentialen för energieffektivisering byggnader. Rapport 2021:06*. Stockholm.
- International Energy Agency (IEA). (2015). *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*. Hämtat 2022-10-31 från: <https://www.iea.org/reports/capturing-the-multiple-benefits-of-energy-efficiency>
- Konsumenternas energimarknadsbyrå (2021). *Elcertifikat - Priser och kostnader*. Hämtat 2022-10-30 från: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elrakningen/elcertifikat-priser-och-kostnader/>
- Mzavanadze, N. (2018). *Final report: Quantifying energy poverty related health impacts of energy efficiency (WP5 Social welfare). COMBI (Calculating and Operationalising the Multiple Benefits of Energy Efficiency in Europe)*.
- Naturvårdsverket (2022). *Utsläppen ökade med 10,6 procent i EU:s utsläppshandel 2021*. Hämtat 2022-11-01 från: <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pessmeddelanden/utslappen-okade-med-106-procent-i-EUs-utslappshandel-2021/>
- Nils Holgersson-rapporten (2021a). *Fjärrvärme*. Hämtat 2022-10-31 från: <https://nilsholgersson.nu/rapporter/rapport-2021/fjarrvarme-2021/>
- Nils Holgersson-rapporten (2021b). *El*. Hämtat 2022-10-31 från: <https://nilsholgersson.nu/rapporter/rapport-2021/el-2021/>
- North European Energy Perspective Project (NEPP) (2020). *Det krävs stora, men inte historiskt unika, investeringar*. Hämtat 2022-11-04 från https://www.nepp.se/pdf/Det_krävs_stora_investeringar.pdf
- Persson, A., Eriksson, A., Balata, D., & Nyberg, P. (2022). *Grön logik - Teknisk isolering*. Stockholm.
- Persson, A., Westling, H., Göransson, A., & Westerbjörk, K. (2020). *Potential för energieffektivisering i småhus*. Stockholm: Anthesis, Profu & WSP.
- Sandgren, A., & Nilsson, J. (2021). *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export*. Norrköping: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.

The Eurowinter Group (1997). Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. *Lancet*, ss. Vol. 349(9062), 1341-1346.

Trafikverket (2020). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0*. Trafikverket.

Wahlström, Å., Persson, A., Glader, K., Westerbjörk, K., & Göransson, A. (2015). *Fallstudier till HEFTIG*. Göteborg.

Wikells (2021). *Sektionsfakta*. <https://wikells.se/boker/bestall-kalkylbocker-sektionsfakta/>

BILAGA 1

Åtgärder och potentialberäkningar

Utifrån den tidigare Grön logik-rapporten och uppdaterade åtgärder från två nytillkomna studier, Anthesis, (2022) och Persson, m.fl., (2022), har ett antal energieffektiviseringsåtgärder sammanställts. Nedan listas renoveringsåtgärderna för respektive fastighetstyp, tillsammans med den förväntade tekniska livslängden, kostnader, energibesparingspotentialer, fördelning mellan värme och elbesparing samt en bedömning av hur stor andel av lokalerna som kan genomgå renoveringen.

Småhus

Renoveringsåtgärd	Livslängd	Investeringskostnad (SEK/m ²)	Energi-effektivisering (kWh/m ² , år)	Värme-eff.	El-eff.	Andel av småhus
Förbättrad ventilation	15	411	-15,7		-15,7	0,66
Tilläggsisolering av fasad	40	306,9	11,28	11,28		0,75
Tilläggsisolering av vind	40	119,7	11	11		0,85
Byte till mer energieffektiva fönster	40	611	19,5	19,5		0,38
Tilläggsisolering fönster	40	176	13,3	13,3		0,38
Nya energieffektiva dörrar	40	49	3,3	3,3		1,0
Uppgradering till FTX-ventilation	15	865	16,1	21,8	-5,7	0,79
Varmvattenåtgärder, byta vv-beredare	15	65	17,1		17,1	0,85
Snålspolande tappvattenarmaturer	15	25	10,4	10,4		1,0
Styr- och regleråtgärder i direktelvärmda hus	15	62,5	9,5		9,5	0,14
Styr- och regleråtgärder för värmepanna	15	52,6	23,6	23,6		0,86
Termostatventiler och injustering	15	47,5	5,9	5,9		1,0
Byte från direktvärme till bergvärmepump med vattenburen värmedistribution	15	1361	101,6		101,6	0,05
Byte från vattenburen elvärme till bergvärmepump	15	823	78,3		78,3	0,03
Byte från direktvärme till fjärrvärme och vattenburen värmedistribution	15	943	1,5	-1,5	1,5	0,05
Byte från direktverkande el till luft/luftvärmepump	15	144	33,6		33,6	0,08
Byte från direktvärme till fjärrvärme	15	296	4,5	-4,5	4,5	0,03

Solceller (25%)	20	421	18		18	0,25
Solvärme (25%)	20	476	38	38		0,25
Mer energieffektiv kyl/frys & belysning	10	36	3,8		3,8	1,0
Mer energieffektiv diskmaskin	10	11	0,8		0,8	1,0
Mer energieffektiv tvätt/tork	10	23	0,9		0,9	1,0
Mer energieffektiv spis	10	19	1		1	1,0
Byte till LED-belysning	10	0,7	1,4		1,4	1,0

Flerbostadshus

Renoveringsåtgärd	Livslängd	Investeringskostnad (SEK/m ²)	Energieffektivisering (kWh/m ² , år)	Värme-eff.	El-eff.	Andel av flerbostadshus
Tilläggsisolering av vind inkl takfot	40	46,4	3,58	3,58		1,0
Nya mer energieffektiva entré-/källardörrar	40	48	5	5		1,0
Byte till lågenergilampor	20	0	1		1	1,0
Injustering ventilationssystem	20	0	5	5		1,0
Snålspolande tappvattenarmaturer	20	18	6	6		1,0
Uppgradering till FTX-ventilation med 85 % verkningsgrad	40	565	30	34	-4	0,5
Byte termostater/ventiler + injustering av värmesystemet	20	73	13	13		1,0
Tilläggsisolering av fönster	40	322	15	15		1,0
Målning/tätning fönster/dörrar	20	19	2	2		1,0
Frånluftsvärmepump, COP 3,0	20	296	32	48	-16	0,5
Byte till tryckstyrda fläktar	20	55	4		4	1,0
Värmeväxlare spillvatten	20	56	5	5		1,0
Individuell mätning och debitering av varmvatten	20	56	5	5		1,0
Närvarostyrd LED-belysning	20	23	1		1	1,0
Tilläggsisolering av fasad	40	162	8,86	8,86		0,7

Byte till mer energieffektiva fönster	40	275	6	6		1,0
Tilläggsisolering av VVC-system	50	47,7	3,9	3,9		0,81
Tilläggsisolering av kulvert	50	52,6	2	2		0,81
Tilläggsisolering av kanaler på kallvind	50	27,4	1,2	1,2		0,27
Tilläggsisolering av flänsar och ventiler	50	13,6	0,48	0,48		0,81
Tilläggsisolering av fjärrvärmeundercentral	50	8,75	0,73	0,73		0,81

Kontor

	Livslängd	Investeringskostnad (SEK/m ²)	Energi-effektiviserings (kWh/m ² , år)	Värme-eff.	El-eff.	Andel av kontor
Renoveringsåtgärd						
Behovsanpassad styrning av ventilation	10	19,5	14	9	5	1,0
Driftoptimering av kylan	10	11	1,5	0,5	1	1,0
Uppgradering av ventilation	40	276	19	15	4	1,0
Uppgradering av belysningen i allmänna utrymmen	15	85	3,5	-0,5	4	1,0
Uppgradering av belysningen i kontorsytor	15	161	5	-5	10	1,0
Byte till mer energieffektiva fönster	40	411	16	13	3	1,0

Skolor

Renoveringsåtgärd	Livslängd	Investeringskostnad (SEK/m ²)	Energi-effektivisering (kWh/m ² , år)	Värme-eff.	El-eff.	Andel av skolor
Stenskola: Byte termostater & injustering värmesystem	10	18	7	7		0,7
Träskola: Byte termostater & injustering värmesystem	10	25	9	9		0,3
Stenskola: Behovsstyrd ventilation	10	120	19	15	4	0,7
Träskola: Byte av FTX-ventilation	40	65	8	5	3	0,22
Stenskola: Installation av strålsamlare på tappvattenarmaturer	20	3,5	0,5	0,5		0,7
Träskola: Installation av strålsamlare på tappvattentemperaturer	20	3,5	0,5	0,5		0,3
Träskola: Behovsstyrd ventilation	10	72	8,5	6,5	2	0,3
Stenskola: Byte från FT-ventilation till FTX-ventilation	40	295	22	22		0,05
Träskola: Byte från FT-ventilation till FTX-ventilation	40	272	18	17	1	0,02
Stenskola: Byte av FTX-ventilation	40	235	13,5	10	3,5	0,52
Stenskola: Tilläggsisolering tak/vind	40	100	6	6		0,7
Stenskola: Byte från F-ventilation till FTX-ventilation	40	688	27,5	30	-2,5	0,11
Träskola: Byte F-ventilation till FTX-ventilation	40	688	27,5	30	-2,5	0,05
Stenskola: Byte till mer energieffektiva fönster	40	307	12	12		0,7
Stenskola: Mer energieffektiv belysning	15	33	1		1	0,7
Träskola: Mer energieffektiv belysning	15	33	1		1	0,3

Forskning, utredning och innovation för en hållbar framtid

Anthesis AB är ett konsultföretag med rötterna i forskningsvärlden. Vi är ett växande företag med cirka 15 medarbetare i Sverige. Vi tillhör koncernen Anthesis Group som har verksamhet i 19 länder och totalt cirka 800 medarbetare.

Vi erbjuder tjänster inom områdena miljöekonomi, resursekonomi, hållbara energisystem och hållbara samhällen. Inom dessa områden erbjuder vi såväl strategisk rådgivning som affärsutveckling, analys, utredning samt forskning.

Vi har både bred och djup kunskap inom samhällsekonomiska analyser, social hållbarhet och innovationsupphandling m.m.

Vidare har vi mycket stor erfarenhet av projekt- och processledning av multidisciplinära projekt.

Vi har kontor i Stockholm och Göteborg men åtar oss uppdrag inom hela Sverige och internationellt.

Anthesis

Barnhusgatan 4, 111 23 Stockholm

Mässans gata 10, 412 51 Göteborg

anthesisgroup.com/se/