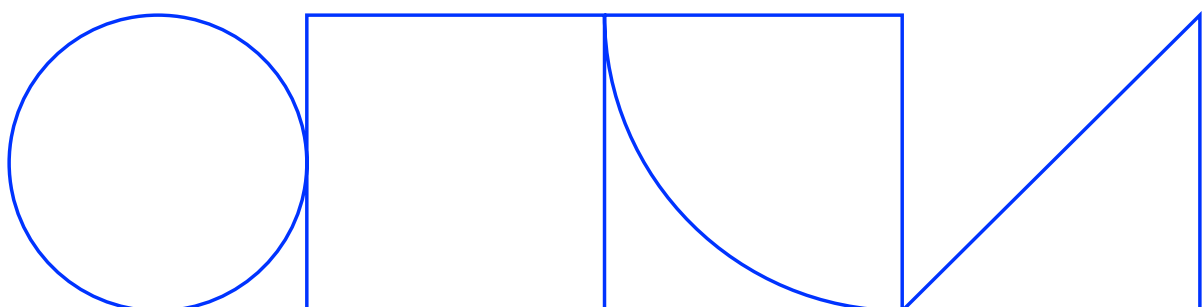


Energiåtgärder med bästa möjliga klimat- och kostnadseffektivitet

Stanislav Proshyn & Rasmus Westin
Skanska Sverige AB

2026-03-02

SKANSKA



FÖRORD

Denna studie har finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond SBUF. Studien genomfördes under åren 2024-2026 med syftet att kartlägga och analysera väletablerade energiåtgärders påverkan på både byggnaders klimatbelastning, byggkostnad och driftkostnad och därigenom visa på de energiåtgärder som bidrar med störst värde ur samtliga dessa perspektiv.

Det huvudsakliga arbetet i studien utfördes av undertecknade som är författare till rapporten.

Stort tack till referensgruppen och ett särskilt tack till Anna Söderström som hjälpt till med kostnadskalkyler i projektet samt Jeanette Sveder Lundin för stöd med klimatfrågor. Alla i referensgruppen har, prestigelöst, bidragit till innehållet i denna rapport.

Referensgrupp:

Jenny Sahlén, energispecialist, Peab

Kjell-Åke Henriksson, energispecialist, JM

Camilla Slunge Dowling, Hållbarhetschef, Caverion

Peter Ylmén, PhD, RISE

Ida Carlsson, PhD, Chalmers, Mistra Carbon Exit

Ulla Janson, universitetslekt. LTH

Björn Berggren, PhD, Energiexpert, Sveriges allmännytt

Eje Sandberg, passivhusexpert, FEBY

Sara Borgström, expert klimatberäkningar och LCA, WSP

Erik Thornström, Energiföretagen Sverige

Mattias Järvinen, Svenska kyl- och värmepumpföreningen

/ Stanislav Proshyn & Rasmus Westin – Energigruppen, Skanska Teknik

Stockholm, 2026-03-02

SAMMANFATTNING

Denna studie analyserar ett urval av väletablerade energiåtgärder för ett flerbostadshus i syfte att identifiera de lösningar som ger bäst sammantagen klimatprestanda, energiprestanda och kostnadseffektivitet ur ett livscykelperspektiv. Analysen omfattar byggnadens energianvändning, investeringskostnader, driftkostnader, underhålls- och reinvesteringskostnader samt klimatpåverkan genom livscykelanalys. Studien bygger på ett typiskt flerbostadshus i Stockholm med grundstandard motsvarande BBR29 och inkluderar 26 olika energieffektiviseringsåtgärder. Resultatet har tagits fram med hjälp av energisimuleringar, klimatberäkningar samt byggkostnadskalkyler.

Resultaten visar att åtgärder som förbättrar klimatskalet, exempelvis ytterväggar med lägre U-värde, ger begränsad energi- samt klimatbesparing och inte alltid är ekonomiskt motiverade. Installationstekniska lösningar är generellt mer effektiva, där särskilt bergvärmepump kopplad till både värmesystem och tappvarmvatten med elpanna som spets uppvisar den största klimatnyttan och uppfyller Energiklass B. Kombinationen av bergvärmepump och solceller ger dessutom den största driftkostnadsbesparingen och är den mest lönsamma av alla studerade alternativ.

Endast ett fåtal åtgärder har visat sig att kunna sänka byggnadens energiprestanda till Energiklass A. I denna studie uppnås detta genom en kombination av värmepump, solceller och batterilagring. Även om dessa åtgärder ger låg energianvändning och avsevärt minskad klimatpåverkan över livscykeln, innebär de samtidigt höga investeringskostnader, långa återbetalningstider och negativa nettonuvärden, vilket gör dem ekonomiskt svaga inom ramen för studiens antaganden.

Analysen visar att byggskedet står för den största delen av den totala klimatpåverkan, vilket innebär att materialval och tekniska installationer får betydande vikt i helhetsbedömningen. Nyttan med installationer och klimatskalsåtgärder måste vara tillräckligt stor för att energibesparingen under livscykeln ska kompensera för den inbyggda klimatpåverkan. Detta innebär att förbättrad energiprestanda inte per automatik leder till minskad klimatpåverkan och att branschens utveckling därför bör fokusera på energiåtgärder med låg inbyggd klimatpåverkan.

Det framgår även att åtgärder med låg energianvändning och hög klimatnytta ofta inte är ekonomiskt motiverade. Trots detta finns möjligheter att identifiera lösningar som ger ett balanserat utfall utifrån alla tre perspektiv. Det är också viktigt att poängtera att denna typ av studie använder sig av flertal parametrar och antaganden som varierar från projekt till projekt. Studiens avgränsningar, som bland annat omfattar antaganden om energipriser, investeringskostnader och avkastningskrav samt begränsad tillgång till klimatdata, innebär att resultaten ska ses som indikation snarare än absoluta värden. Dessa parametrar är dessutom föränderliga över tid och kan påverkas av marknadsutveckling, tekniska förändringar och externa styrmedel. Detta understryker behovet av fortsatta integrerade analyser som väger klimatpåverkan, energiprestanda och kostnad mot varandra och framtagning av verktyg för detta ändamål.

INNEHÅLL

ENERGIÅTGÄRDER MED BÄSTA MÖJLIGA KLIMAT- OCH KOSTNADSEFFEKTIVITET SBUF 14390	1
FÖRORD	2
SAMMANFATTNING	3
1. Bakgrund	5
2. Syfte	6
3. Genomförande	7
Litteraturstudie	8
Referensbyggnad	12
Energieffektiviseringsåtgärder	13
Bygg- och investeringskostnader	15
Energianvändning	16
Driftkostnader och lönsamhetsanalys	17
Klimatberäkningar	19
Avgränsningar	20
4. Resultat	21
Bygg- och investeringskostnader	21
Energianvändning	23
Driftkostnader och lönsamhetsanalys	27
Klimatpåverkan	31
5. Sammanvägt resultat	35
6. Slutsatser och diskussion	38
7. Referenser	40
Bilaga 1. Förklaring av energioptimeringsalternativ	42
Bilaga 2. Indata LCA-beräkning referensbyggnad	47
Bilaga 3. Fördjupade resultat	50
Bilaga 4. Kortfattad sammanfattning av resultat per åtgärd	54
Bilaga 5. Högsta direktavkastningskrav för åtgärden att vara lönsam	55

1. Bakgrund

Det har under flera år varit stort fokus på byggnaders energiprestanda inom byggbranschen och målsättningar avseende energieffektivitet har haft stort inflytande på både utformning av byggnaders klimatskal och tekniska lösningar inom nyproduktion. De senaste åren har dock även kraven på byggnaders klimatpåverkan och redovisning av dessa ökat [1] och vi vet att som en del i Sveriges klimatmål till 2045 kommer dessa fortsatt att öka de kommande åren [2, 3]. Att möta kommande energi- och klimatkrav och samtidigt göra det på ett kostnadseffektivt sätt kommer vara en avgörande faktor för byggbranschens möjlighet att nå uppsatta klimatmål framåt. För att lyckas med detta ställs höga krav på samordning och kunskap hos byggtreprenörer att kunna överblicka hur energiprestanda, klimatbelastning och kostnad (både byggkostnad och driftkostnad) påverkar varandra genom hela byggnadens livscykel och på så sätt kunna göra strategiska vägval som leder till genomförbara energi- och klimatbesparande åtgärder. Det råder en kunskapslucka och svårighet inom byggbranschen idag att överblicka det totala värdet (inkl. sekundära effekter) av energi- och klimatbesparande åtgärder vilket begränsar möjligheten till genomförande. Det finns ett tydligt behov av att lyfta blicken och kartlägga olika energiåtgärders påverkan på inte bara klimat utan också kostnadsaspekter ur ett livscykelperspektiv. Detta skulle öka möjligheten till faktiskt genomförande av energi- och klimatförbättrande åtgärder och därigenom bidra till att möjliggöra byggbranschens klimatresa.

Att möta både klimat- och energiprestandakrav i en byggnad är en komplex fråga som kräver en optimering mellan klimat- och energiprestanda och dessutom även ekonomiska parametrar som produktionskostnad och driftkostnad (indirekt påverkan på fastighetsvärde) eftersom dessa väger tungt vid beslutsfattande kring olika val under byggprocessen. Varje aspekt måste optimeras till lagom nivå med hänsyn till övriga parametrar och klimataspekten trappar upp svårighetsgraden ett snäpp och kräver att vi rannsakar alla beslut ur ett extra perspektiv. Tyvärr granskas idag många lösningar stegvis av sakkunniga inom respektive område och det är inte riktigt någon som har kunskap att överblicka det totala värdet av ett visst vägval, vilket gör att risken för suboptimering är stor. Här finns en tydlig möjlighet till optimering mellan energiprestanda, byggkostnad, driftkostnad och klimatbelastning med syftet att även ta hänsyn till sekundära effekter av ett vägval och på så sätt uppnå ställda krav på mest kostnadseffektiva sätt. Precis som konstateras i tidigare SBUF rapport 12809 [4] är det viktigt att ta hänsyn till sekundära effekter av en förändring i byggnadens designskede eftersom dessa i stor omfattning påverkar resultatet vid utförande av optimeringsstudier för byggnadens utformning.

Det finns anledning att tro att det vid design och produktion av flerbostadshus idag inte tas tillräcklig hänsyn till sekundära effekter när det skruvas på parametrar för bättre energiprestanda. Byggtreprenörer måste lyfta blicken, vidga perspektivet och på ett strukturerat sätt börja samla erfarenheter kring hur alla fyra aspekterna ovan förhåller sig till varandra för att kunna hitta de mest optimerade lösningarna ur alla fyra perspektiv. Om detta görs skulle det finnas möjlighet att på ett överskådligt sätt se vilka energiåtgärder som samtidigt bidrar till både låg klimatpåverkan och hög kostnadseffektivitet ur ett livscykelperspektiv. Åtgärder och arbetssätt för minskad klimatpåverkan och kostnadseffektivitet inom byggprojekt analyseras för nuvarande inom forskningsprogrammet Mistra Carbon Exit [5]. Men det behövs fler studier med fokus på energiåtgärder som tar ett helhetsgrepp genom att samtidigt analysera energiprestanda, byggkostnad, driftkostnad och klimatbelastning. För att skapa bra prisvärda byggnader krävs ett helhetsperspektiv som tar hänsyn till alla dessa aspekter. Det pågår och har publicerats studier som fokuserar översiktligt och i detalj på två av de fyra, t.ex. kring klimatåtgärder och kostnadseffektivitet [6,7, 8, 9, 10], men det saknas idag lättillgängliga, tillförlitliga sammanställningar för olika energiåtgärder som inkluderar alla fyra parametrar samtidigt.

2. Syfte

Projektet syftar till att kartlägga och analysera väletablerade energiåtgärders påverkan på både byggnaders klimatbelastning, byggkostnad och driftkostnad och därigenom visa på de energiåtgärder som bidrar med störst värde ur samtliga dessa perspektiv. Kartläggningen bidrar till att hjälpa byggtreprenörer att i tidiga skeden överblicka det totala värdet, inkl. sekundära effekter, av en energiåtgärd samt minska risken för suboptimering. Underlaget bedöms också som extra viktigt i kommande övergång till möjligheternas byggregler och kommande krav på klimatberäkning av en byggnads hela livscykel eftersom insikterna från detta projekt kan öka möjligheten att göra kostnadseffektiva val och bygga kostnadseffektivt trots nya regleringar, klimatkrav och krav på verifiering av lösningar.

Projektets syfte ligger i linje med SBUF:s fokusområde hållbarhet. Projektets resultat möter väl efterfrågade ämnesområden som minskad klimatpåverkan, minskad energianvändning, livscykelanalys och lägre kostnader. Resultaten är till nytta för alla aktörer i branschen som är involverade i projekt med energi- och klimatkrav, oavsett om det är som entreprenör, byggherre, fastighetsägare eller annan aktör.

Avgränsningar har gjorts i form av val av byggnad för studien, där vi valt att ett typiskt flerbostadshus i syfte att studien ska vara applicerbar i så stor utsträckning som möjligt i branschen. Resultatet väntas dock i stor utsträckning vara applicerbart på även andra byggnadstyper. En annan avgränsning är att studien utgår från ett antal väletablerade energiåtgärder och att man för dessa studerar påverkan på klimat och kostnadseffektivitet, detta för att ha en stabil utgångspunkt för studien.

3. Genomförande

Genomförandet av projektet består av följande 6 steg:

1. Genomförandet inleddes med ett referensgruppsmöte/workshop där branschfarenheter delades.
2. Fördjupande litteraturstudie med råd från referensgruppen. Litteraturstudien omfattas av en genomgång av artiklar och rapporter där fokus ligger på rapportens ämnesområde och metodik som berör klimatberäkning och optimering av energirelaterade åtgärder.
3. Framtagande av modeller och kalkyler för referensbyggnaden. Analyser baseras på ett typiskt flerbostadshus med två trapphus med 6 - 9 våningar som når energiprestandakrav i nivå med BBR-krav. För denna byggnad tas fram:
 - a. En klimatkalkyl i Anavitor för studier av de olika energiåtgärdernas klimatpåverkan
 - b. En byggkostnadskalkyl för studier av de olika energiåtgärdernas byggkostnadspåverkan
 - c. En energisimuleringsmodell i IDA ICE för studier av de olika energiåtgärdernas påverkan på köpt energi, primärenergital och byggnadens värmeförlusttal.
 - d. En energikostnadsmodell för studier av hur byggnadens driftkostnader (differentierade el- och fjärrvärmekostnader) påverkas av de olika energiåtgärderna
4. Beräkningar
 - a. Energiåtgärdernas påverkan på klimatkalkylen under byggskedet (A1-A5)
 - b. Energiåtgärdernas direkta och indirekta investerings- och byggrelaterade kostnader.
 - c. Energiåtgärdernas påverkan på energi- och driftkostnader under användningsskedet.
 - d. Energiåtgärdernas indirekta påverkan på försäljningsintäkter/fastighetsvärde för projektutvecklaren och eller fastighetsägaren som följd av lägre driftskostnader.
 - e. Energiåtgärdernas påverkan på klimatkalkylen under användningsskedet (B2.1, B3, B4, B5 och B6)
5. Analys, sammanställning och visualisering av resultat från punkt 3 och 4 med fokus på entreprenörens perspektiv.
6. Framtagande av denna slutrapport med redovisning av analys och resultat.

Litteraturstudie

Inledning

Syftet med denna litteraturstudie är att ge en samlad bild av forskningsläget kring byggnaders klimatpåverkan och ekonomiska konsekvenser utifrån ett livscykelperspektiv. Särskilt fokus läggs på hur nuvarande forskning behandlar inbyggd klimatpåverkan, driftens och slutskedets påverkan samt energiåtgärders kostnadsaspekter. Dessutom granskas metoder som kan användas som beslutsstöd i tidiga skeden, såsom DCP-metoden. Studien visar att samtidigt som mycket forskning behandlar enskilda aspekter, saknas det fortfarande helhetsanalyser som integrerar alla dessa komponenter. Det finns också ett stort behov av lättillgängliga och praktiska verktyg som kan stödja byggtreprenörer i det tidiga beslutsfattandet.

Metodik och urval av litteratur

Urvalet består av 15 källor, inkluderande EU-projekt, vetenskapliga artiklar, svenska utvecklingsprojekt och offentligt finansierade forskningsinsatser. Urvalskriterier har varit att källorna ska adressera minst två av följande kriterier: (i) inbyggd klimatpåverkan, (ii) påverkan från drift eller slutskede, (iii) ekonomiska konsekvenser av energiåtgärder, (iv) beslutsstöd i tidiga skeden. Litteraturgenomgången har tematiserats i tre huvudsakliga analysområden: livscykelpåverkan, kostnader och metodstöd.

Byggnaders klimatpåverkan över livscykeln

“Whole Life Carbon Assessment and Life Cycle Cost Analysis of a Single-family Building”

Denna avhandling undersöker ett enfamiljshus i nordiskt klimat och visar att upp till 79 % av växthusgasutsläppen kommer från byggskedet, särskilt från betong- och stålkonstruktioner. Driftens klimatpåverkan minskas genom ett effektivt klimatskal och biobränslebaserad energiförsörjning. Fördelen med träbaserade material som CLT och cellulosaisolering tydliggörs, inte bara genom lägre inbyggda utsläpp utan även genom att de fungerar som koldioxidlager. När även återvinningsfasen (D-modulen) inkluderas i analysen kan de totala utsläppen bli negativa, vilket lyfter fram betydelsen av att använda ett fullständigt livscykelperspektiv i klimatberäkningar [11].

“Explorative life-cycle assessment of renovating existing urban housing-stocks”

Studien analyserar renoveringsscenarier för flerbostadshus i Göteborg fram till år 2050. Den visar att även om energianvändningen kan minska med 23 % genom renovering, kan upp till 65 % av klimatbesparingarna förloras om hänsyn inte tas till utsläpp från nyinstallerade material. Solceller nämns som särskilt problematiska om de produceras i länder med fossil elmix. Studien betonar behovet av integrerade bedömningar som väger klimatpåverkan från materialanvändning mot den faktiska energibesparingen under drift. Slutsatsen är att kombinerade åtgärds paket med hänsyn till både klimat och ekonomi är nödvändiga [12].

“European energy renovation of multi-dwelling building from a Swedish life cycle perspective”

Denna artikel jämför fyra renoveringsscenarier som varierar i renoveringsdjup (grundläggande kontra omfattande) och materialflöden (linjära kontra cirkulära). De bästa resultaten uppnås vid djup renovering med cirkulära materialflöden, där växthusgasutsläppen minskar mest och klimatpåverkan från nyproduktion undviks. Dock visar studien att endast en tredjedel av de utvärderade åtgärderna är ekonomiskt lönsamma inom sin tekniska livslängd. Därför förespråkas ett beslutsunderlag som inkluderar underhållsbehov, klimatnytta och energiprisutveckling i en och samma modell [13].

”Nettonollenergi för byggnaders livscykel (E2B2)”

Publik information

Projektet syftade till att utveckla verktyg som kombinerar LCA och LCC i byggprojekt. Det visar att målet om nettonollutsläpp är uppnåeligt, men endast genom integrerad designprocess där samtliga aktörer tidigt enas kring klimat- och kostnads mål. Ett särskilt fokus lades på samverkan mellan drift och byggskede – förbättrad isolering och ventilationssystem minskade driftens klimatpåverkan, men ökade den inbyggda. Studien framhåller vikten av kompromisser och systemtänkande vid val av tekniska lösningar [14].

”TVL-projekt: Metodik för klimatberäkning av hela livscykeln”

Detta projekt resulterade i gemensamma, verktygsneutrala anvisningar för klimatberäkningar inom byggsektorn. Dessa inkluderar alla livscykelfaser: A1-A5 (produktions- och byggskede), B1-B7 (användning, drift och underhåll) samt C1-C4 (slutskede). Anvisningarna är särskilt viktiga för att uppfylla EU-taxonomin krav. Projektet identifierar också ett behov av förbättrad datakvalitet, särskilt avseende klimatpåverkan från återbrukade och biobaserade material [15].

Ekonomiska konsekvenser av energiåtgärder*”NEED4B – Demonstrationsprojekt i Borås och Varberg”*

NEED4B var ett EU-finansierat projekt som inkluderade uppförandet av två lågenergihus i Sverige: ett i Borås som användes som laboratoriemiljö och ett i Varberg som befolkades av en vanlig familj. Båda byggnaderna var prefabricerade trävillor med avancerade energilösningar som solceller, solfångare och värmepumpar. I Borås uppmättes energianvändningen till endast 18 kWh/m²/år – långt under Boverkets krav på 55 kWh/m²/år. I Varberg uppgick energianvändningen initialt till 30 kWh/m²/år, men förbättrades efter justeringar av ventilationssystemet. Projektet visade att teknikvalen kunde göras kostnadseffektiva genom industrialiserad byggteknik. Investeringar i solceller och värmepumpar visade sig ha en rimlig återbetalningstid, särskilt i ljuset av stigande energipriser och tillgängliga stödprogram. Viktigt var också att brukarbeteende hade stor påverkan på faktisk energianvändning och därmed både klimatpåverkan och ekonomiskt utfall [16].

”SBUF 13685 – Klimatpåverkansbedömning av energieffektivisering”

Denna studie betonar att resultaten från klimatberäkningar i hög grad beror på vilken metodik som används. Konsekvensbaserade metoder som analyserar förändringar i energisystemet över tid kan visa helt andra resultat än bokföringsmetoder baserade på statiska emissionsfaktorer. Studien pekar också på att typsystem för fjärrvärme ofta missvisar klimatpåverkan om de inte återspeglar verkliga lokala förhållanden. Det föreslås därför att användningen av förändringsorienterade GWP-värden, baserade på ”Tidsstegen”-metoden, kan ge ett bättre beslutsunderlag vid investeringar i energieffektivisering [17].

”Driftskedets klimatpåverkan och dess relation till värmeförlusttal”

Ett relaterat E2B2-projekt visade att det är svårt att fastställa ett tillförlitligt samband mellan en byggnads värmeförlusttal och dess klimatpåverkan från driftenergi. Variationen i GWP-värden för el och fjärrvärme mellan olika metoder kan ge upp till tio gånger skillnad i resultat, vilket gör det olämpligt att använda statiska klimatvärden som beslutsunderlag. Studien föreslår istället skärpta krav på energieffektivitet (t.ex. genom värmeförlusttal) och att klimatvärdering fokuseras på byggskedet snarare än driften [18].

Återbruk, materialval och arbetskraftskostnader

I studien *”Whole Life Carbon Assessment and Life Cycle Cost Analysis of a Single-family Building”* framhålls att arbetskraften står för upp till 50 % av totala livscykelkostnaden. Trä kan vara dyrare än betong, men snabba byggtider och minskade transporter ger indirekta ekonomiska vinster. Återbruk av material är inte bara klimatmässigt effektivt – upp till 92 % lägre utsläpp – utan även kostnadsbesparande i rätt sammanhang [11].

Beslutsstöd i tidiga skeden: DCP och andra metoder

Studien “Managing Uncertainty in Environmental and Cost Life Cycle Studies of Building Design” argumenterar för att traditionella optimeringsmetoder i byggdesign är otillräckliga när de ignorerar osäkerheter i antaganden, systemgränser och indirekta konsekvenser. Författarna föreslår två metoder: Effects and Consequences Evaluation (ECE) och Decision Choices Procedure (DCP). ECE används för att identifiera sekundära effekter av designbeslut, såsom förändringar i volym, energibehov, inomhusmiljö eller fuktrisk. DCP strukturerar sedan valmöjligheter och jämför dem utifrån osäkerheter i klimat- och kostnadsparametrar. En fallstudie på isoleringsåtgärder visade att vissa till synes positiva alternativ förlorade sin attraktionskraft när alla konsekvenser vägdes in [19].

Inom projektet “*Verktyg för klimatsmart byggdesign*” har verktyget Leaf Cutter Ant (LCAnt) utvecklats. Det möjliggör integrerade klimat- och kostnadsbedömningar i tidiga skeden, kopplat till geometrisk design och byggelement med kända klimatprofiler. LCAnt kan även hantera osäkerheter och ge indikationer om värmeförluster, vilket gör det särskilt värdefullt för arkitekter och konstruktörer i projekteringsfasen [20]

Datordrivna optimeringar och multikriterieanalys

Projektet “*Datordrivna optimeringar för ökad hållbarhetsprestanda*” visar att multikriterieoptimering kan förena miljömässiga, ekonomiska och funktionella mål i byggprojekt. Genom att koppla BIM-data till algoritmer som analyserar material, energi och klimatpåverkan, kan tusentals designalternativ analyseras automatiskt. Verktyget ger också beslutsfattare möjlighet att se tydliga kompromisser mellan t.ex. klimatnytta och initial investeringskostnad, vilket bidrar till mer transparenta beslut [21]

Diskussion och slutsatser

Genomgående visar den granskade litteraturen vikten av ett livscykelperspektiv vid bedömning av klimatpåverkan och kostnadseffektivitet i byggsektorn. En återkommande slutsats är att klimatpåverkan från byggskedet ofta dominerar över driftskedet, särskilt i nyproduktion, medan driftens betydelse kvarstår i äldre byggnader och vid renovering. Samtidigt kan klimatnyttan från energieffektivisering förloras om de nya teknikerna eller materialen har hög inbyggd klimatpåverkan – särskilt när tillverkningen sker i regioner med fossil energimix. Det visar på vikten av geografisk differentiering i klimatbedömningar.

Flera studier (t.ex. NEED4B, Whole Life Carbon Assessment, Nettonollenergi för byggnaders livscykel) belyser möjligheterna att kombinera låga klimatutsläpp med god ekonomisk lönsamhet, särskilt genom optimerad design, prefabricering och samordning av investeringar med naturliga underhållsbehov. Men dessa vinster förutsätter också korrekt brukarbeteende och att byggnader förvaltas enligt plan. Studien av lågenergihus i Varberg visar t.ex. hur ett dåligt injusterat ventilationssystem initialt fördubblade energianvändningen jämfört med designvärdet.

På methodsidan erbjuder verktyg som DCP och LCAnt stor potential, men används ännu i begränsad omfattning. För att dessa ska få verkligt genomslag behöver de integreras i befintliga projekteringsrutiner och upphandlingssystem. Dessutom krävs kompetenshöjande insatser för att förstå hur man tolkar och hanterar resultat från LCA och LCC i praktiken.

En annan tydlig slutsats är att mycket få studier integrerar alla aspekter samtidigt: klimatpåverkan från byggskede, drift och slutskede, kombinerat med ekonomisk analys av investering och framtida energikostnader. Oftast behandlas en eller två av dessa aspekter, vilket riskerar att leda till suboptimala beslut i praktiken. Det saknas särskilt studier som också beaktar osäkerheten i underliggande antaganden, t.ex. framtida energiprisutveckling, klimatfaktorer för el eller livslängder för bygghälsor.

Publik information

Branschen efterfrågar i allt högre grad lättanvända verktyg som kopplar samman klimatpåverkan och kostnad i ett tidigt skede. Demonstrationsprojekt som NEED4B visar vikten av att kombinera teknisk innovation med användbar metodik. Samtidigt krävs en samsyn mellan lagstiftare, myndigheter och branschens aktörer kring vilka metoder och data som ska användas i klimatberäkningar, för att öka jämförbarheten och minska risken för feltolkningar.

Litteraturen bekräftar att både inbyggd klimatpåverkan och klimatpåverkan från byggnaders drift- och slutskede behöver beaktas för att ge en rättvisande bild av en byggnads miljöpåverkan. Samtidigt behöver investeringar i energiåtgärder analyseras utifrån både klimatnytta och ekonomisk bärkraft. Metoder som DCP, ECE och verktyg som LCant kan erbjuda viktiga beslutsunderlag, särskilt i tidiga skeden då de största påverkansmöjligheterna finns. Dock saknas integrerade studier som kombinerar alla dessa perspektiv. Det är en tydlig forskningslucka. För att entreprenörer och byggherrar skall kunna fatta välgrundade beslut krävs metodik som inte bara är vetenskapligt robust, utan också praktiskt tillgänglig för byggentreprenörer och projekterande konsulter. Ett fortsatt fokus på tillämpbarhet, samordnade beräkningsanvisningar och ökad branschkompetens är avgörande för att driva omställningen mot klimatneutralt och kostnadseffektivt byggande.

Energieffektiviseringsåtgärder

Detta avsnitt beskriver alternativ som har undersökts, inklusive grundalternativet samt ett antal fall med olika energioptimeringsåtgärder.

Grundalternativet

Grundalternativet är det alternativ som alla förändringar i parameterstudien utgår från (även kallad Grundfall och Baseline i denna rapport). Grundalternativet motsvarar en byggnad som precis klarar BBR29 krav gällande genomsnittlig värmegenomgångskoefficient på 0,4 W/(m² K). I grundalternativet används fjärrvärme till värme, tappvarmvatten och VVC. I följande avsnitt redovisas indataparametrar i grundfallet.

Tabell 1. Flerbostadshusmodellens klimatskal.

Klimatskalsdelar	U-värde [W/(m ² K)]	% av totalt UxA-värde
Fläktrumsvägg	0,17	1,2
Utfackningsvägg 45 mm mineralull + 220 mm mineralull med stålreglar	0,21	24,3
Källarvägg 100 mm	0,24 (0,33)*	4,3
Tak, 400 mm lösull på betongbjälklag u=0,11	0,11	3,8
Källargolv mot mark 100 mm markisolering	0,16 (0,32)*	5,7
Metallglaspartier	1,1	0,6
Fönster och balkongdörrar	0,9	30,4
Dörr metallpartier	1,5	0,6
Ytor mot ej uppvärmda zoner	-	0,0
Köldbryggor		29,0
Total	0,4	100,0

* inom parentes värde exkl. markens motstånd.

Studerade energiåtgärder

Energiåtgärder undersökta i denna rapport kan delas i två grupper: optimering av klimatskal samt installationslösningar. Även olika kombinationer av installationslösningar har studerats.

Tabell 2 nedan sammanfattar de alternativ som har undersökts. För varje åtgärd ändras endast den byggnadskomponent/system som anges i tabellen, övrigt motsvarar grundalternativet. För vissa åtgärder ges hänvisning till *Bilaga 1*, där en mer detaljerad information redovisas.

Tabell 2. Introduktion av de undersökta energioptimeringsåtgärderna.

Benämning i rapporten	Beskrivning <i>Kommentar</i>
Baseline	Grundalternativet, <i>se Bilaga 1</i>
1 - YV U=0,17 stålreglar	Utfackningsvägg med stålreglar, U-värde = 0,17 W/m ² /K <i>Innebär en tjockare ytterväggskonstruktion, se Bilaga 1</i>
2 - YV U=0,17 träreglar	Utfackningsvägg med träreglar, U-värde = 0,17 W/m ² /K <i>Träreglar tillåter en tunnare ytterväggskonstruktion än i åtgärd 1, se Bilaga 1</i>
3 - YV U=0,14 träreglar	Utfackningsvägg med träreglar, U-värde = 0,14 W/m ² /K, <i>se Bilaga 1</i>
4 - YT U=0,07 600mm lösull	Kallvind ~600 mm lösull, U-värde 0,07 W/m ² /K

Publik information

5 - Grund 200mm EPS	200 mm EPS S80 under plattan
6 - Källarvägg 200mm EPS	200 mm dränerande EPS
7 - Fönster U=0,8	Sammantaget U-värde fönster 0,8 W/m ² /K
8 - Fönster U=0,7	Sammantaget U-värde fönster 0,7 W/m ² /K
9 - SFPv=1,27 eta=84,3%	FTX-aggregat med temperaturverkningsgrad 84,3 % och SFPv = 1,27 kW/m ³ /s. <i>Aggregatet uppskattas kräva 6 m² ökad fläktrumsarea jämfört med grundalternativet, se Bilaga 1</i>
10 - LVVP mot VS	2 st luft-vatten värmepumpar kopplade mot värmesystem. <i>ca. 24% effekt täckningsgrad för uppvärmning; fjärrvärme till spetsvärme, TVV och VVC, se Bilaga 1</i>
11 - LVVP mot VS och TVV	2 st luft-vatten värmepumpar kopplade mot både värmesystem och tappvarmvattensystem samt 2 st slingtankar. <i>Samma storlek som i åtgärd 10, ca. 50% total energitäckningsgrad; fjärrvärme till spetsvärme, se Bilaga 1</i>
12 - Liten BVP mot VS	Bergvärmepump kopplad mot värmesystem. <i>ca. 24% effekt täckningsgrad för uppvärmning; fjärrvärme till spetsvärme, TVV och VVC, se Bilaga 1</i>
13 - BVP mot VS	Bergvärmepump kopplad mot värmesystem. <i>ca. 72% effekt täckningsgrad för uppvärmning; fjärrvärme till spetsvärme, TVV och VVC, se Bilaga 1</i>
14 - BVP mot VS och TVV + elpanna	Bergvärmepump kopplad mot både värmesystem och tappvarmvattensystem samt 4 st slingtankar. <i>ca. 65% effekt täckningsgrad totalt för uppvärmning, TVV och VVC; 6x380 m borrhål, 70 kW elpanna för spetsvärme, se Bilaga 1</i>
15 - Stor BVP mot VS och TVV + elpanna	Bergvärmepump kopplad mot både värmesystem och tappvarmvattensystem samt 4 st slingtankar. <i>ca. 95% effekt täckningsgrad totalt för uppvärmning, TVV och VVC; 8x350 m borrhål, 12 kW elpanna för spetsvärme, se Bilaga 1</i>
16 - Solceller liten	Monokristallina solceller ~14,1 kWp, monterade takparallellt mot väst. <i>Producerad solenergi motsvarar ca. 15% av fastighetsel</i>
17 - Solceller medel	Monokristallina solceller ~50,2 kWp, ~50% monterade takparallellt mot väst samt ~50% takparallellt mot öst. <i>Dimensionerad för ca. 95% egenanvändning</i>
18 - BVP(14) + Solceller medel	Kombination av åtgärd 14 och åtgärd 17
19 - Solceller max	Monokristallina solceller ~168 kWp, 53% monterat takparallellt mot väst och 47 % takparallellt mot öst. <i>Dimensionerad för maximal storlek på taket</i>
20 - BVP(14) + Solceller max	Kombination av åtgärd 14 och åtgärd 19
21 - Solceller max + 1st batteri endast fastighet	Kombination av åtgärd 19 med ett batteri, 64 kW/ 82kWh. Batteriet används endast för fastighetsel, se Bilaga 1
22 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri endast fastighet	Kombination av åtgärd 14 och 21
23 - Solceller max + 1st batteri	Samma som åtgärd 21 men batteriet får användas även till hyresgäst
24 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri	Samma som åtgärd 22 men batteriet får användas även till hyresgäst
25 - Solceller max + 2st batteri	Kombination av åtgärd 19 med två batterier á 64 kW/ 82kWh. Batterier används till både fastighetsel och hyresgäst.
26 - BVP(14) + Solceller max + 2st batteri	Kombination av åtgärd 19 och åtgärd 25

Bygg- och investeringskostnader

Bygg- och investeringskostnader har beräknats med hjälp av vedertagna kalkylmetoder inom byggprojekt baserade på enhetspriser, erfarenhetsvärden och branschpraxis. För samtliga alternativ har, utöver de framtagna kostnaderna, även påslag för index, risk, oförutsett samt tekniska och ekonomiska marginaler lagts till. Även kostnader för fjärrvärmecentral och anslutningsavgift för fjärrvärme har inkluderats.

Kostnader för installationer av de studerade energioptimeringsåtgärderna har undersökts och adderats till kalkylen. Stora variationer har observerats beroende på entreprenör, plats, tidpunkt med mera. För bedömning av investeringskostnader för installationer har erfarenhetsvärden och referenser från tidigare projekt använts, tillsammans med tillgängliga offentliga data. För systemlösningar med bergvärmepump har externa experter assisterat med dimensionering och grov prissättning.

Energianvändning

Energianvändningen har beräknats med hjälp av programvaran IDA ICE 4.8. Med programmet simuleras byggnaden dynamiskt under ett normalår under givna förutsättningar på bl.a. klimat, planlösning, byggnadskonstruktion, VVS-system och verksamhet. Byggnaden delas in i 111 zoner. Beräkningen motsvarar Boverkets krav på detaljnivå för beräkning av primärenergital. Analysort i parameterstudien är Stockholm. Klimatdata i simuleringen är normalårsfil (Sveby/SMHI) Stockholm 102612.

Följande energirelaterade beräkningar utförs i parameterstudien:

- Värme till radiatorsystem och eftervärmningsbatterier i ventilationen, el till fläktar simuleras enligt BBR/BEN och Sveby 2.0 i IDA ICE 4.8.
- Solcellsproduktion beräknas i programvaran PVSOL.
- Värmepumpssystem, matchning av solel, batterilagring och dess prestanda beräknas timvis mot byggnadens simulerade energibehov. I beräkningen tas hänsyn till värmepumptillverkarnas NIBE och Thermias prestandakurvor som funktion av framledningstemperatur och uppskattade köldbärartemperaturer.
- Utöver el till fläktar i FTX-aggregat som simuleras i IDA ICE hämtas data för övriga fastighetselposter, hushållselposter och dess timvisa profil från uppmätta timvis data från motsvarande verkliga flerbostadshusprojekt i syfte att ge en realistisk bild av elanvändningen och dess behovsprofil.

Det timvisa resultatet från energisimuleringen och energiberäkningarna används som ingångsvärden i driftkostnadskalkylen.

Driftkostnader och lönsamhetsanalys

Driftkostnadsmodellen inkluderar energikostnader, underhållskostnader samt avsättning för reinvestering, liksom intäkter från försäljning av solel.

Beräkningen av energikostnader bygger på resultaten från energiberäkningarna, där den årliga energianvändningen (kWh) för respektive energislag multipliceras med relevant energipris. Tariffernas struktur för både fjärrvärme och el är komplex och omfattar, utöver pris per kWh, även fasta avgifter såsom effektavgifter. Dessa avgifter har fördelats på den årliga energianvändningen för respektive åtgärdsalternativ. Det medför att de specifika kostnaderna för el och fjärrvärme varierar beroende på energiprofil – en lägre total användning kan ofta ge en högre kostnad per kWh, särskilt vid höga effektuttag.

För grundfallet uppgår det beräknade fjärrvärmepriset till 1,17 kr/kWh. Det högsta fjärrvärmepriset erhålls för alternativ 11 (1,65 kr/kWh), medan det lägsta gäller för alternativ 13 (1,03 kr/kWh).

Elpriset för grundfallet är 1,80 kr/kWh, med det högsta priset för alternativ 25 (2,10 kr/kWh) och det lägsta för alternativ 11 (1,78 kr/kWh). Samtliga energipriser anges inklusive moms.

Utöver energikostnader omfattar beräkningarna även underhållskostnader kopplade till respektive energilösning samt avsättningar för reinvestering, exempelvis för utbyte av komponenter. Dessa kostnader har beräknats som årliga belopp uttryckta som en procentsats av den ursprungliga investeringen. Tabellen nedan redovisar den procentuella årliga underhållskostnaden inklusive avsättning för reinvestering för de systemlösningar som ingår i projektet.

Tabell 3. Underhållskostnader inklusive avsättning för reinvestering.

System	Underhåll och avsättning för reinvestering, %/år	Kommentar/Antagande
Solceller	2,5%	Byte av växelriktare efter 15 år, byte av resten av systemet efter 25 år
Solceller + 1 st batteri	3,1%	Byte av växelriktare och batteri efter 15 år, byte av resten av systemet efter 25 år
Solceller + 2st batteri	3,4%	Byte av växelriktare och batterier efter 15 år, byte av resten av systemet efter 25 år
Värmepump (luft-vatten)	5,5%	Byte av kompressor efter 13 år, byte av hela VP efter 18 år
Värmepump (bergvärme)	3,2%	Byte av hela VP efter 25 år, ingen större komponentutbyte under dessa år
Fjärrvärmecentral (UC)	1,9%	Byte av t.e. värmeväxlare efter 20 år, byte av hela centralen efter 30 år
Ventilation FTX	4,9%	Byte av hela aggregatet efter 20 år, ingen större komponentutbyte under dessa år

Utöver detta har intäkter från solcellsproduktion inkluderats i beräkningarna.

Publik information

Varje åtgärd innebär ökade bygg- och investeringskostnader samtidigt som fastighetsvärdet förändras jämfört med grundalternativet. För att bedöma lönsamheten av investeringen kapitaliseras förändringen i driftnetto med ett antaget direktavkastningskrav på 5 %, vilket motsvarar hur driftkostnadsbesparingar värderas på fastighetsmarknaden. Lönsamhetsanalysen beaktar även förändringar i säljbar boarea (BOA) som kan uppstå till följd av ändrad väggjocklek eller behov av teknikutrymme, där varje m² BOA antas ha ett värde på 55 000 kr. Den totala fastighetsvärdeförändringen jämförs därefter med investeringskostnaden för att avgöra om åtgärden är ekonomiskt motiverad och därefter jämföra åtgärder mellan varandra.

Dessutom beräknas återbetalningstiden med hjälp av payback-metoden, där de ökade investeringskostnaderna divideras med minskningen i driftnetto. I investeringskostnaderna i detta fall ingår även fastighetsvärdeförändring kopplad till ändrad säljbar BOA.

Klimatberäkningar

Klimatberäkningar genomförda i detta projekt följer IVL:s ”Anvisningar för LCA-beräkning av byggprojekt” i högsta möjliga grad. Anvisningarna ger vägledning för hur klimatberäkningar under hela livscykeln bör utföras inom byggsektorn med syftet att säkerställa att beräkningarna håller tillräckligt hög kvalitet för att kunna jämföras mellan olika projekt och användas i upphandlingar, klimatdeklarationer och miljöbedömningar [15].

Beräkning av klimatpåverkan för byggskede (A1-A5) har utförts med hjälp av programmet Anavitor, som är ett verktyg för att beräkna ett projekts klimatpåverkan framtaget av NORDIC BIM GROUP. För byggdelar som omfattas av lagen om klimatdeklaration används emissionsfaktorer enligt Boverkets klimatdatabas (v. 02.06.000), dock ej konservativa utan typiska värden.

När det gäller installationer (byggdel 8) beräknas klimatpåverkan för grundalternativet med hjälp av ett schablonvärde (28 kgCO₂ekv/m²Atemp). Klimatpåverkan från ett standard FTX-aggregat förutsätts att ingå i det schablonvärdet, därför för åtgärd med effektivare luftbehandlingsaggregat används skillnaden i klimatpåverkan mellan två motsvarande aggregat (enligt EPD:er) och läggs på schablonvärdet. Klimatpåverkan från övriga installationstekniska åtgärder beräknas enligt externa klimatdatabaser (t.ex. finska, tyska) samt EPD:er och adderas till schablonvärdet. Sammanställning av klimatdata för installationer redovisas i *Tabell 4*.

Tabell 4. Sammanställning av klimatdata som har använts för installationstekniska åtgärder.

Ventilationsaggregat	Referensbyggnad = 7781 kgCO ₂ e (ca. 5,9 kgCO ₂ e/kg) Åtgärd = 12078 kgCO ₂ e (ca. 6,2 kgCO ₂ e/kg)
Luft-luftvärmepump	4314 kgCO ₂ e (ca. 135 kgCO ₂ e/kW)
Akkumulatortank	497 kgCO ₂ e/1000L tank
Bergvärmepump	Värmepump = 3,9 kgCO ₂ e/kg Borrhål = 2,6 kgCO ₂ e/m Övrigt = ca. 2% påslag
Solceller	Solceller = 97,6 kgCO ₂ e/m ² Infästningssystem = 22,9 kgCO ₂ e/m ² solceller Växelriktare = 24,5 kgCO ₂ e/kg
Batteri	14,1 kgCO ₂ e/kg eller 132 kgCO ₂ e/kWh batterikapacitet

För beräkning av klimatpåverkan under byggnadens hela livscykeln (LCA) används IVL:s beräkningsverktyg för hel livscykel, som är ett i dagsläget Excelbaserat låst verktyg för beräkning av B- och C-skedet och som följer IVL:s anvisningar nämnda ovan. Verktyget använder som indata en övergripande info om byggnaden, resultat av klimatberäkning för byggskede, energiberäkning mm. D-skedet ingår inte i verktygets omfattning och inte heller i omfattning av detta projekt. Beräkningsperiod är 50 år. Detaljerade indata till LCA-beräkning för grundalternativet redovisas i *Bilaga 2*.

Anvisningarna rekommenderar användning av lokala emissionsvärden för fjärrvärme i driftskede (B6). Eftersom betydande variationer förekommer mellan olika fjärrvärmenät har projektet, i syftet att möjliggöra generaliserbara resultat, valt att använda det nationella medelvärdet enligt Boverkets klimatdatabas (0,056 kgCO₂e/kWh). För el har emissionsfaktor för svensk elmix använts (0,037 kgCO₂e/kWh), vilket är i linje med anvisningarna.

Resultat för LCA tas fram för två framtidsscenario: Klimatförbättringsscenario – förutsätter minskning av viss klimatpåverkan under B- och C-skede baserat på beslutade åtgärder; Business as usual (BAU) – klimatpåverkan utan minskning i framtiden. Läsaren hänvisas till IVL:s anvisningar för mer information om framtidsscenario.

Avgränsningar

Studien är avgränsad på flera punkter som kan ha betydelse för resultatens generaliserbarhet och tolkning. Analysen utgår från ett specifikt flerbostadshus med en viss utformning. Variationer i byggnadstyp, byggnadsform och arkitektoniska lösningar kan ge avvikande resultat och omfattas därför inte av denna studie.

Den geografiska kontexten är begränsad till Stockholm. Resultaten, särskilt avseende energianvändning och klimatpåverkan, kan därför skilja sig om samma åtgärder tillämpas i andra delar av landet med andra klimatförutsättningar.

Vid beräkning av driftkostnader har aktuella energipriser använts. Då energipriserna är volatila och påverkas av marknadsutvecklingen kan kostnadsresultaten förändras över tid. Ekonomiska parametrar såsom marginal, avkastningskrav och kalkylränta har antagits utifrån generella antaganden och är inte anpassade till ett specifikt projekt.

Tillgången till klimatdata, särskilt för installationer och tekniska system, är begränsad, vilket kan medföra osäkerheter i beräkningarna. Vidare omfattar studien inte en fullständig livscykelanalys (LCA), då exempelvis skede D (återanvändning, återvinning och energiåtervinning efter livslängdens slut) inte inkluderas.

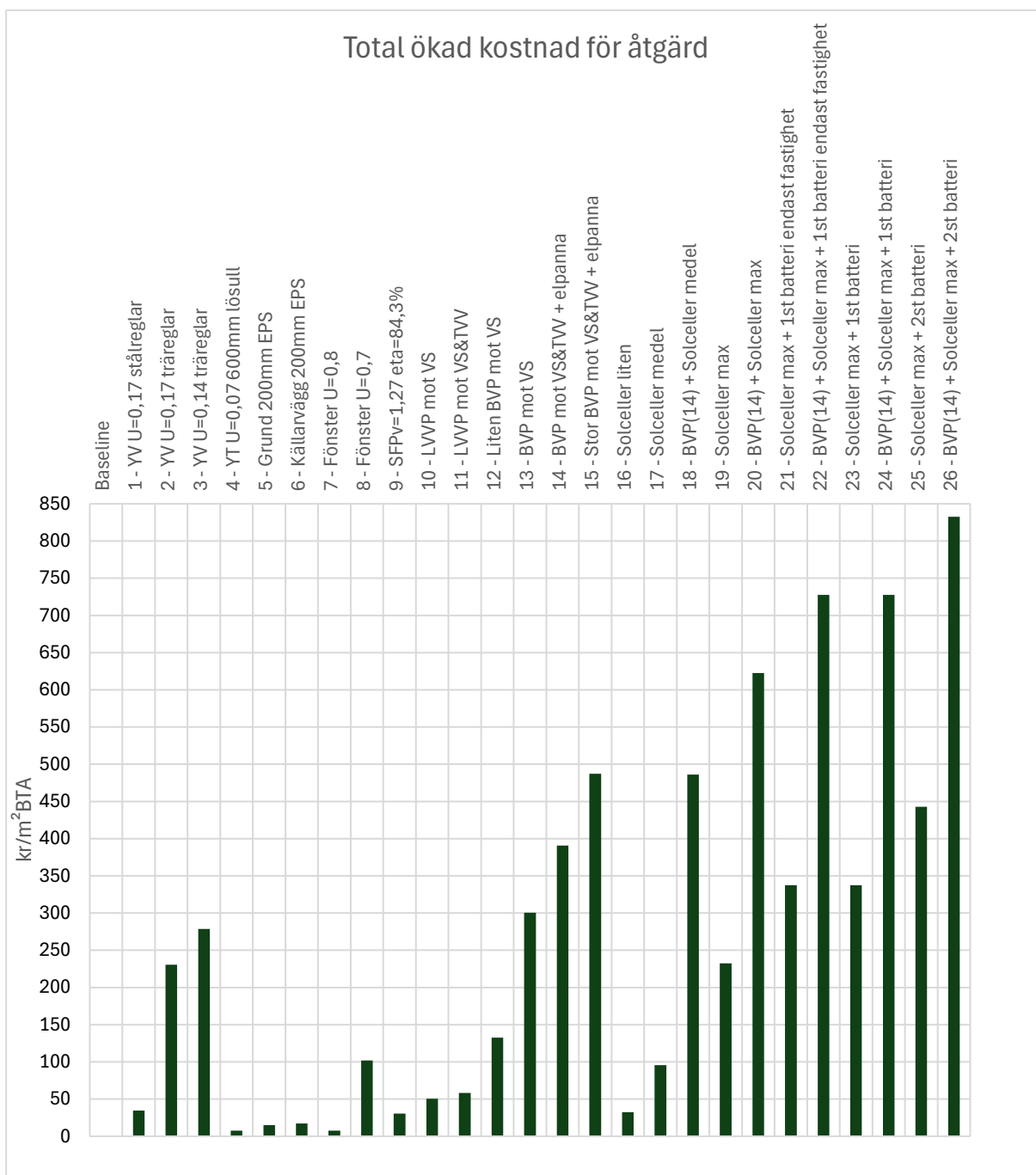
En ytterligare avgränsning gäller valet av elmix. Resultaten redovisas för svensk elmix, men skillnader i klimatpåverkan kan observeras beroende på vilken mix som används som referens.

Slutligen beaktar studien inte eventuella framtida förändringar i Boverkets byggregler (BBR) eller i nationella energikrav, vilka kan komma att påverka både tekniska lösningar och ekonomiska kalkyler.

4. Resultat

Bygg- och investeringskostnader

Detta kapitel presenterar resultat av de beräknade ökade kostnader för samtliga övervägda åtgärder i jämförelse med grundfallet. Resultatet redovisas i kr/BTA.



Figur 2. Total ökad kostnad för implementering av de studerade åtgärder jämfört med Baseline, redovisad per BTA.

Publik information

Tabellen nedan redogör uppdelning av de extra kostnaderna förknippade med motsvarande klimatskärmsåtgärd eller installationsval, i kr/BTA. Även kostnaden för fjärrvärmecentral och anslutningsavgift för fjärrvärme är inkluderad. Ökad byggkostnad pga. behov av extra teknikutrymme särredovisas.

Tabell 5. Redogörelse av extra kostnader för de studerade energieffektiviseringsåtgärder, kr/BTA.

	Klimatskal	Värmepump*	Solceller	Batterier	Luftbehandlingsaggregat	Fjärrvärmecentral exkl. anslutning	Anslutningsavgift för fjärrvärme	Byggkostnad för ökat utrymme
Baseline						39	26	
1 - YV U=0,17 stålreglar	34					39	26	
2 - YV U=0,17 träreglar	231					39	26	
3 - YV U=0,14 träreglar	278					39	26	
4 - YT U=0,07 600mm lösull	8					39	26	
5 - Grund 200mm EPS	15					39	26	
6 - Källarvägg 200mm EPS	17					39	26	
7 - Fönster U=0,8	8					39	26	
8 - Fönster U=0,7	102					39	26	
9 - SFPv=1,27 eta=84,3%					28	39	26	3
10 - LVVP mot VS		50				39	26	
11 - LVVP mot VSochTVV		68				34	21	
12 - Liten BVP mot VS		132				39	26	
13 - BVP mot VS		306				36	24	
14 - BVP mot VSochTVV + elpanna		448						8
15 - Stor BVP mot VSochTVV + elpanna		545						8
16 - Solceller liten			32			39	26	
17 - Solceller medel			96			39	26	
18 - BVP(14) + Solceller medel		448	95					8
19 - Solceller max			232			39	26	
20 - BVP(14) + Solceller max		448	232					8
21 - Solceller max + 1st batteri endast fastighet			232	105		39	26	
22 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri endast fastighet		448	232	105				8
23 - Solceller max + 1st batteri			232	105		39	26	
24 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri		448	232	105				8
25 - Solceller max + 2st batteri			232	210		39	26	
26 - BVP(14) + Solceller max + 2st batteri		448	232	210				8

*inkl. acktankar och ev. elspets.

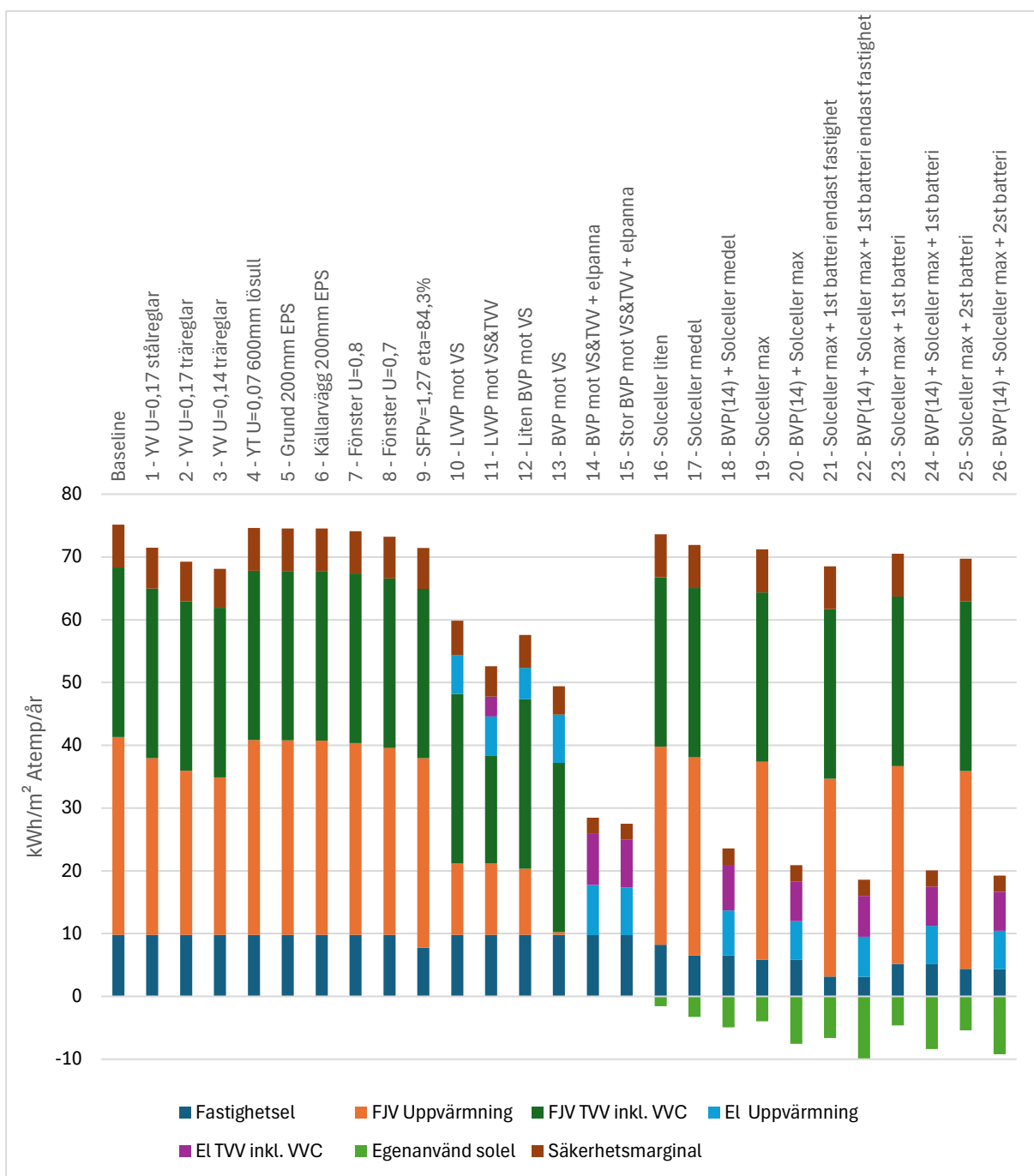
Energianvändning

I detta kapitel presenteras resultat av energiberäkningar för samtliga studerade alternativ. Först görs en analys av byggnadens energianvändning som indikator av behovet av köpt energi, direkt relaterad till driftkostnader, sedan analyseras primärenergital enligt Boverkets definition (EP_{pet}) för jämförelse av byggnadens energiprestanda mot myndighetens energikrav.

Byggnadens energianvändning

Figur 3 illustrerar fördelning av byggnadens specifika energianvändning, uttryckt i kWh/m²Atemp per år, för studerade energieffektiviseringsåtgärder. Energiposterna omfattar fastighetsel, fjärrvärme (FJV) för uppvärmning, fjärrvärme för tappvarmvatten (TVV) inklusive VVC, el för uppvärmning, el för tappvarmvatten inklusive VVC. Egenanvänd solex redovisas som en negativ post för att visa den delen av energibehovet som täcks av solenergi. Samtliga el posterna är reducerade med egenanvänd solex där det är relevant. Den totala stapeln representerar därav byggnadens energibehov, medan den positiva delen – köpt energi. Även säkerhetsmarginal har redovisats för jämförbarhet av totalen med andra beräkningar.

Publik information



Figur 3. Byggnadens beräknade energianvändning för samtliga studerade alternativ. Egenanvänd solex avser den delen av producerad solenergi som används till byggnadens energianvändning. Den positiva delen av stapeln representerar därmed köpt energi.

I grundfallet uppgår den totala energianvändningen till ca. 75 kWh/m²/år. De inledande åtgärderna med förbättrad yttervägg visar en tydlig minskning av energianvändningen tack vare minskat uppvärmningsbehov. Energibesparing ligger på ca. 4 till 7 kWh/m²/år (5–9% av totalen). Övriga klimatskalsrelaterade åtgärder ger inte lika tydlig effekt, där tilläggsisolering av tak, grund, källarvägg visar knappt någon förbättring och alternativ med bättre fönster resulterar i ca. 1 respektive 2 kWh/m²/år energibesparing.

Systemlösningar med luft-vatten värmepumpar samt liten bergvärmepump (fall 10-12) visar potential att minska den totala energianvändningen med ca. 20% till 30%, där uppkoppling av värmepumpen till tappvarmvattensystem är att föredra.

Publik information

Stor energibesparing uppnås med hjälp av standarddimensionerad värmepump kopplad till både uppvärmning och tappvarmvatten (fall 14) – minskning av energianvändningen är ca. 47 kWh/m²/år, motsvarande 63% besparing jämfört med Baseline. En större bergvärmepump (fall 15) resulterar i endast 1 kWh/m²/år lägre energianvändning jämfört med standarddimensionerad.

Kombinerad med en solcellanläggning ger bergvärmepumpslösningen (fall 14) ännu större energibesparingar. Här alternativ 22 - som inkluderar även ett batteri använt endast för fastighetsenergi – resulterar i lägsta köpt energi bland studerade åtgärder, nämligen ca. 75 % eller 57 kWh/m²/år minskning från Baseline. Begränsning av batterianvändningen mot endast fastighet resulterar i en lägre byggnadens energianvändning bland samtliga fall med batteri. Detta är pga. att en del av solenergi går till hyresgästel i ett annat fall.

Primärenergital

Primärenergital redovisas i jämförelse med BBR-krav samt krav för Energiklass A och B och följer i huvudsak ett liknande mönster som byggnadens energianvändning, men eftersom el och fjärrvärme viktas med olika primärenergifaktorer blir vissa åtgärder mer eller mindre attraktiva sett utifrån EPpet perspektivet (se *Figur 4*).

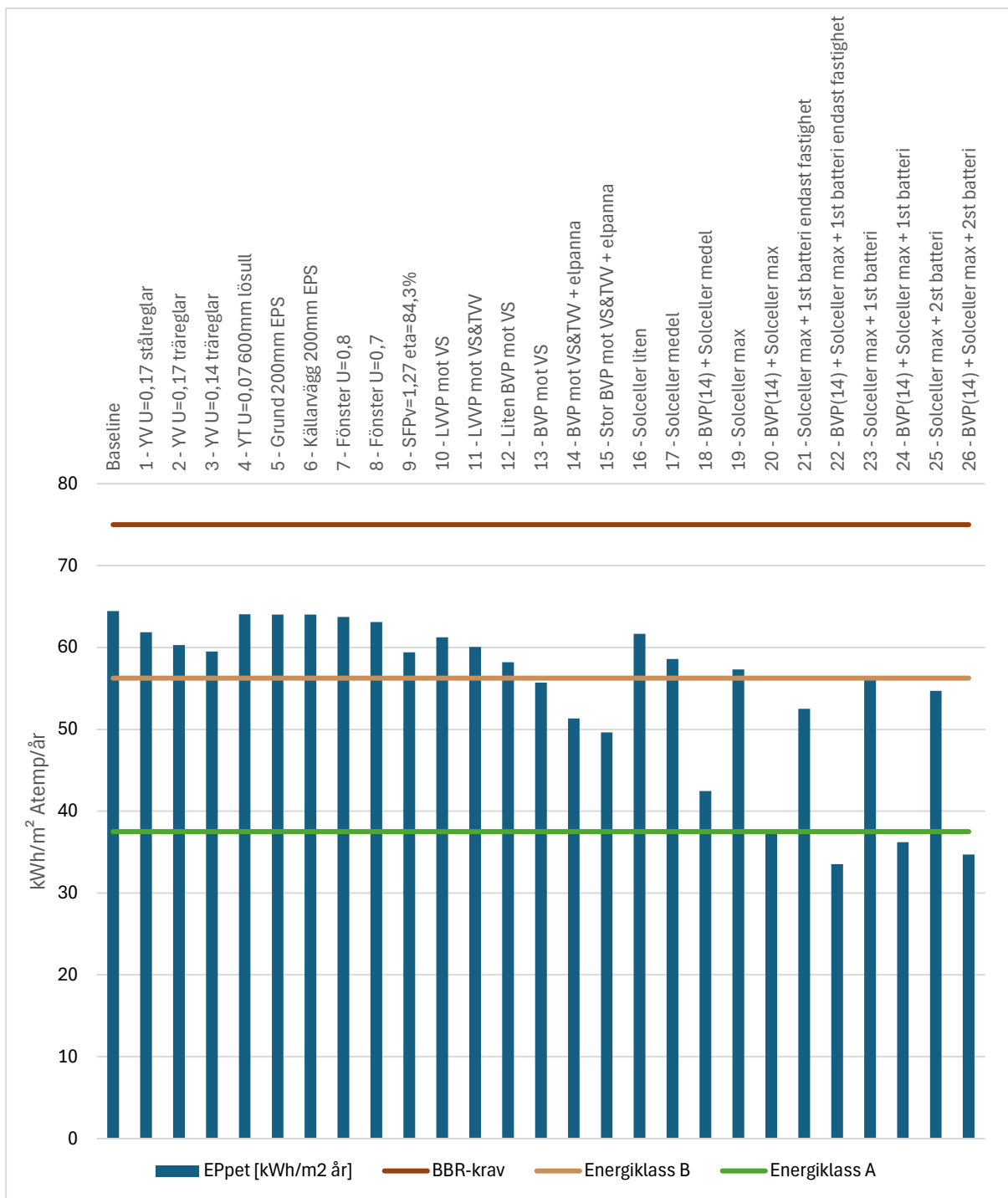
Ett tydligt exempel är system med effektivare ventilationsaggregat (fall 9) som ger mer betydlig besparing i EPpet pga. reducerad elanvändning för fläktar. Detta alternativ ligger nu i nivå med tilläggsisolerad yttervägg med U=0,14 (fall 3). Minskning av EPpet mot Baseline är ca. 8% motsvarande 5 kWh/m²/år.

Alternativ med luft-vatten värmepumpar (fall 10–11) ger inte lika bra besparing på EPpet än de gör på köpt energi, bland annat pga. större andel elanvändning. Detta är fallet även för samtliga bergvärmepump-alternativ.

Standarddimensionerad bergvärmepump uppkopplad endast mot VS-system resulterar i ca. 14% minskning av EPpet (motsv. 9 kWh/m²/år), och det förblir fördelaktigt att koppla upp värmepumpen även mot tappvarmvattensystem, då besparingen når upp till 20% (motsv. 12 kWh/m²/år). Dessa systemlösningar sänker byggnadens primärenergital till Energiklass B.

Solcellsanläggningar har en positiv effekt på primärenergitalet, där maximal solcellsytta i kombination med ett batteri kan också säkerställa Energiklass B för byggnaden utan behov av andra åtgärder. Kombination av bergvärmepump och solcellsanläggningar resulterar i kraftig sänkning av EPpet, där systemlösning 22 når det lägsta resultatet bland studerade åtgärder – EPpet för alternativet ligger på 34 kWh/m²/år, en minskning på ca. 48% från grundfallet.

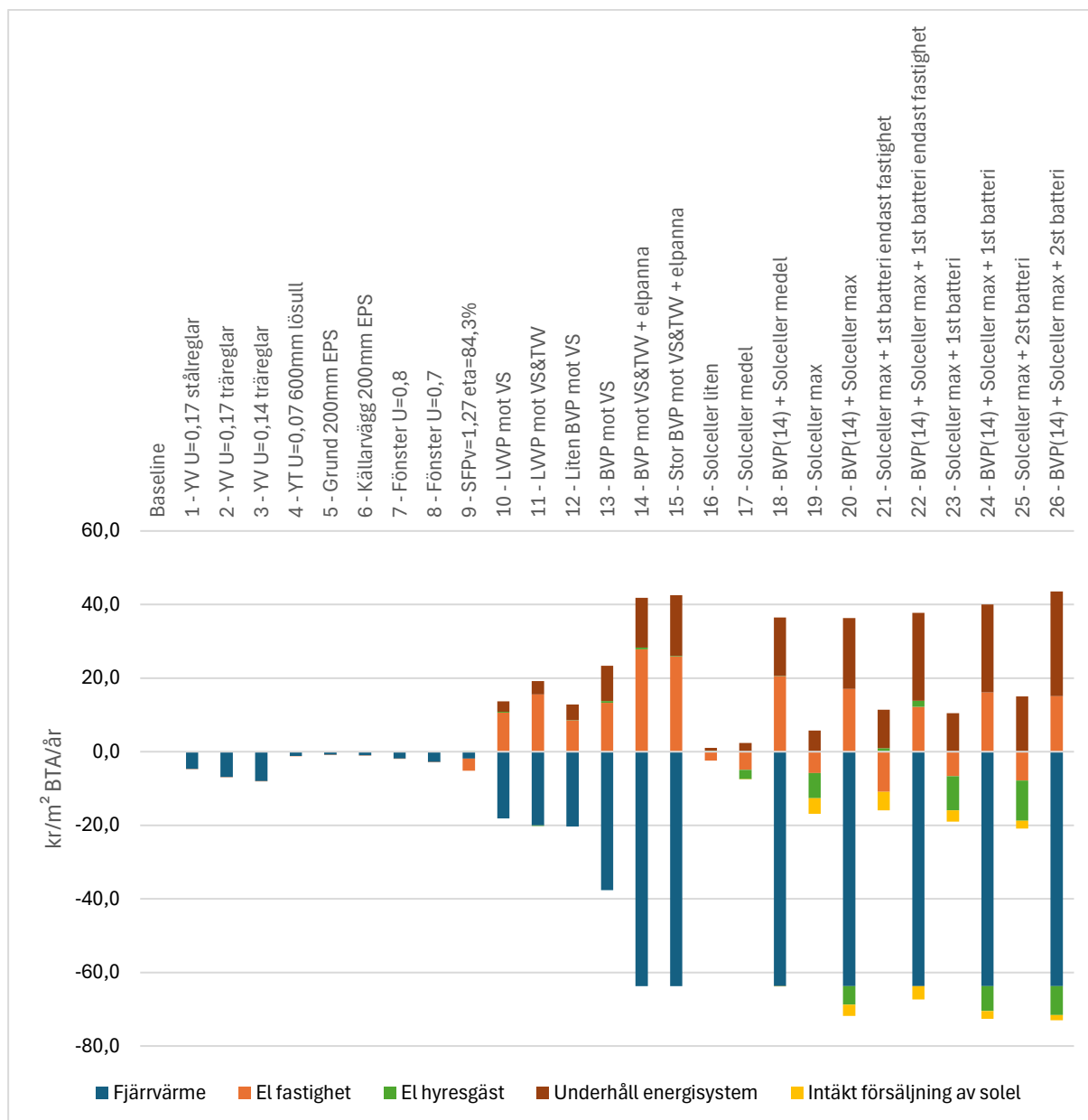
Publik information



Figur 4. Beräknat primärenergital i jämförelse mot myndighetskravet.

Driftkostnader och lönsamhetsanalys

Diagram nedan redovisar beräknad förändring i årliga drift- och underhållskostnader (DoU) för samtliga energiåtgärder jämfört med grundfallet. Kostnader redovisas i följande kategorier: fjärrvärmekostnader, elkostnader för fastighet- respektive hyresgästenergi, underhåll och intäkter från försäljning av solet. Kategorin Underhåll energisystem inkluderar även årlig avsättning för reinvestering. Positiva värden innebär en ökad kostnad för åtgärden, medan negativa – besparingar jämfört med grundfallet.

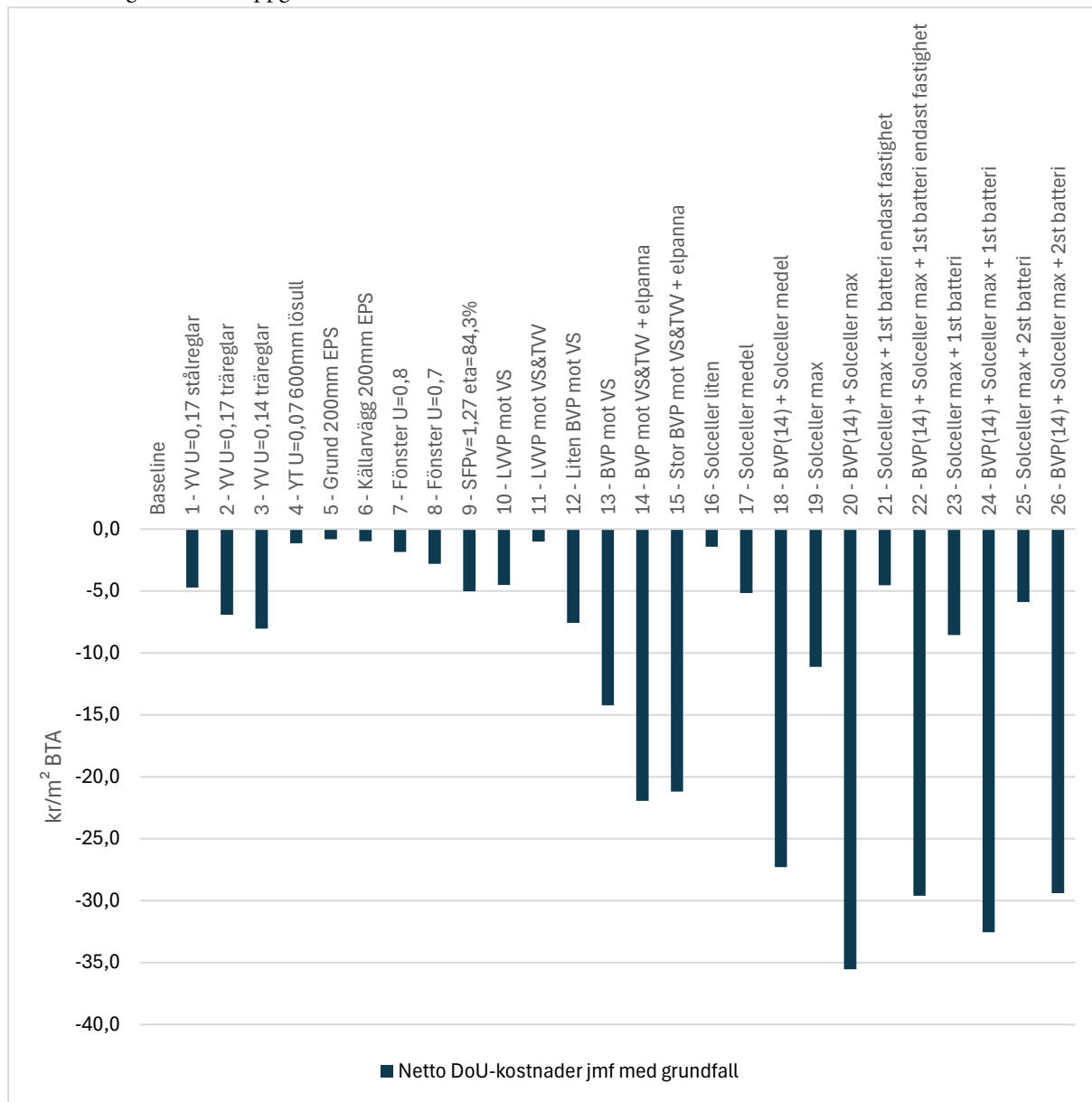


Figur 5. Beräknad förändring av årliga drift- och underhållskostnader för energiåtgärder jämfört med grundfallet.

Klimatskåtgärder och utbyte av ventilationsaggregat ger relativt små förändringar i driftkostnader jämfört med andra åtgärder. Alternativ med värmepumpar resulterar i betydande minskningar av fjärrvärmekostnaderna, men detta är förknippat med ökade elkostnader och avsevärt högre underhålls- och reinvesteringskostnader än för övriga åtgärder. För alternativen med solceller syns tydliga minskningar av elkostnader både för fastigheten och för hyresgästerna, samtidigt som högre DoU-kostnader observeras i de alternativ där batterilagring ingår.

Publik information

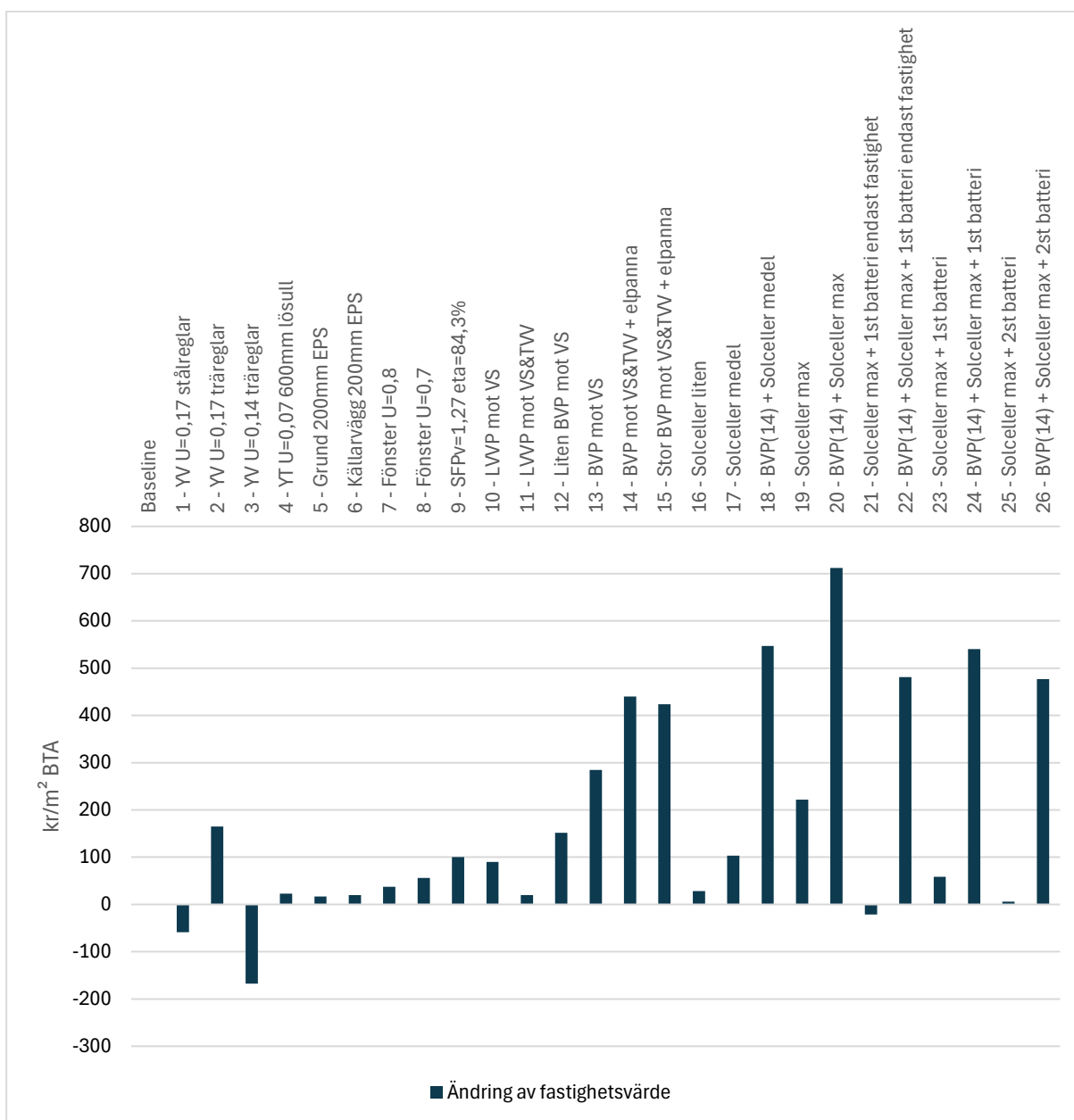
Generellt sett överväger energikostnadsbesparingarna de ökade DoU-kostnaderna för samtliga åtgärdsalternativ. Diagrammet nedan visar nettominskningen av drift- och underhållskostnader jämfört med grundfallet. Alternativ 20, som kombinerar bergvärmepump med solceller, ger den största driftkostnadsbesparingen av alla studerade åtgärder som uppgår till över 35 kr/m² BTA.



Figur 6. Nettominskning av DoU-kostnader jämfört med grundfall.

Motsvarande ändring av fastighetsvärde redovisas i Figur 7, där hänsyn även har tagits till förändringen av säljbar BOA. Negativ påverkan på fastighetsvärdet till följd av förlorad säljbar area uppstår för åtgärderna 1 och 3 samt 21–26. För vissa av dessa åtgärder är minskningen av driftnettot inte tillräcklig för att kompensera värdebortfallet, vilket resulterar i en negativ förändring av fastighetsvärdet för åtgärderna 1, 3 och 21.

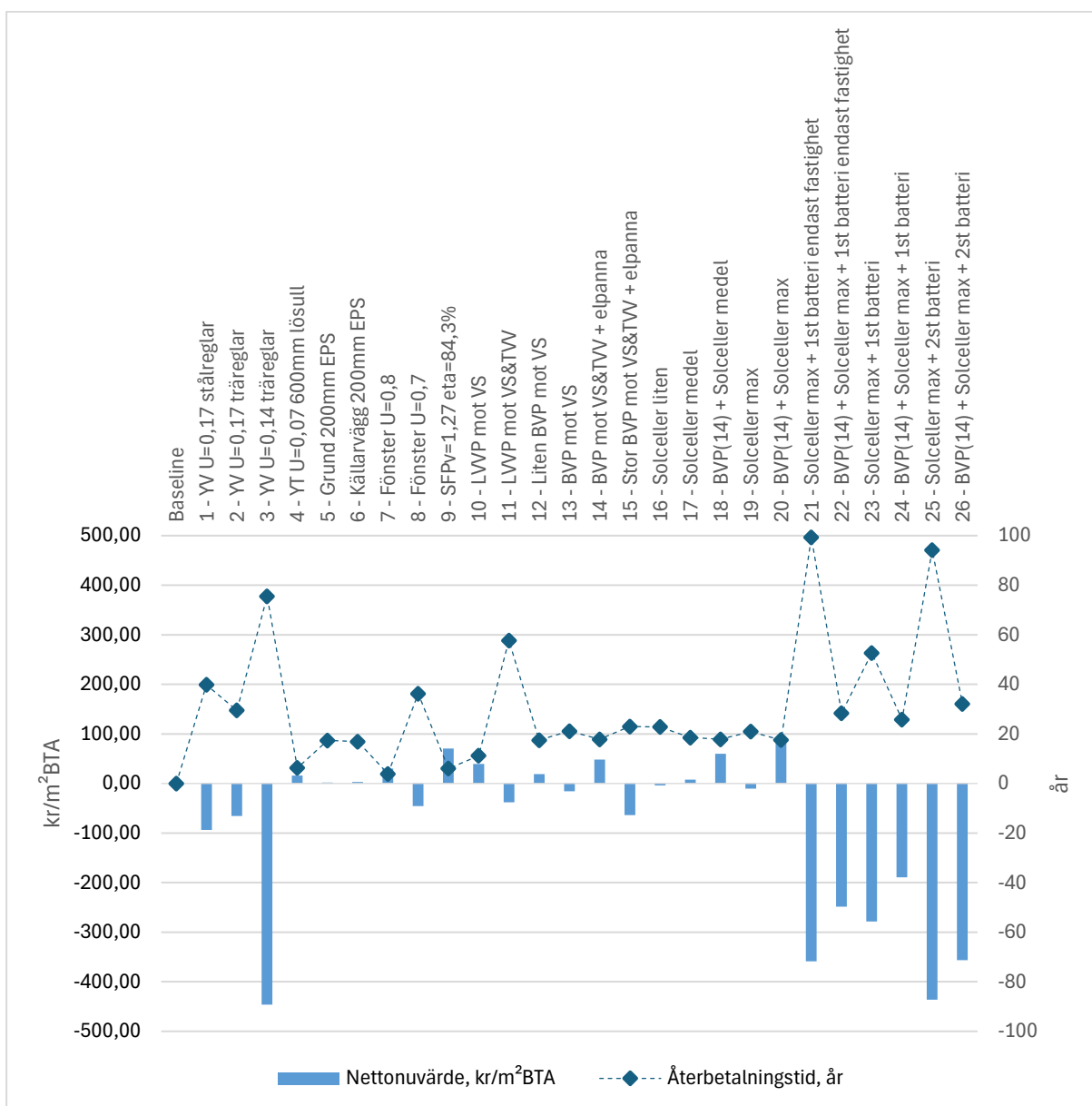
Publik information



Figur 7. Ändring av fastighetsvärde som följd av minskad driftnetto samt ändrad säljbar BOA.

Diagrammet i Figur 8 nedan visar skillnaden mellan fastighetsvärdeökning och investeringskostnaden för åtgärden – alltså åtgärdens nettonuvärde uttryckt i kr/m² BTA. Ett positivt värde innebär en lönsam investering, medan ett negativt värde indikerar att kostnaderna överstiger den värdeökning som åtgärden genererar. Dessutom redovisas respektive återbetalningstid för åtgärden.

Publik information



Figur 8. Åtgärdens nettonvärde med respektive återbetalningstid. Optimalt för en åtgärd är att nettonvärde är positivt och återbetalningstid är kort.

Flera av de analyserade åtgärderna uppvisar bristande lönsamhet. Särskilt framstår alternativ 3 som det minst fördelaktiga, med ett negativt nettonvärde på cirka $-446 \text{ kr/m}^2 \text{ BTA}$. Åtgärder som omfattar förbättringar av ytterväggen visar generellt låg eller obefintlig lönsamhet. Övriga åtgärder relaterade till klimatskalet genererar små positiva nettonvärden eller ligger nära noll, där alternativ 8 dessutom är olönsamt. Samtliga alternativ som inkluderar batterilagring uppvisar betydande negativ lönsamhet, särskilt vid större installerad batterikapacitet.

Ett byte till ett mer effektivt ventilationsaggregat (alternativ 9) framstår däremot som en av de mest lönsamma åtgärderna. Åtgärden genererar ett nettonvärde på cirka $70 \text{ kr/m}^2 \text{ BTA}$ och har dessutom en kort återbetalningstid på omkring sex år. Den mest lönsamma åtgärden i studien är alternativ 20, som resulterar i en ökning av nettonvärdet med cirka $88 \text{ kr/m}^2 \text{ BTA}$ och en återbetalningstid på ungefär 18 år.

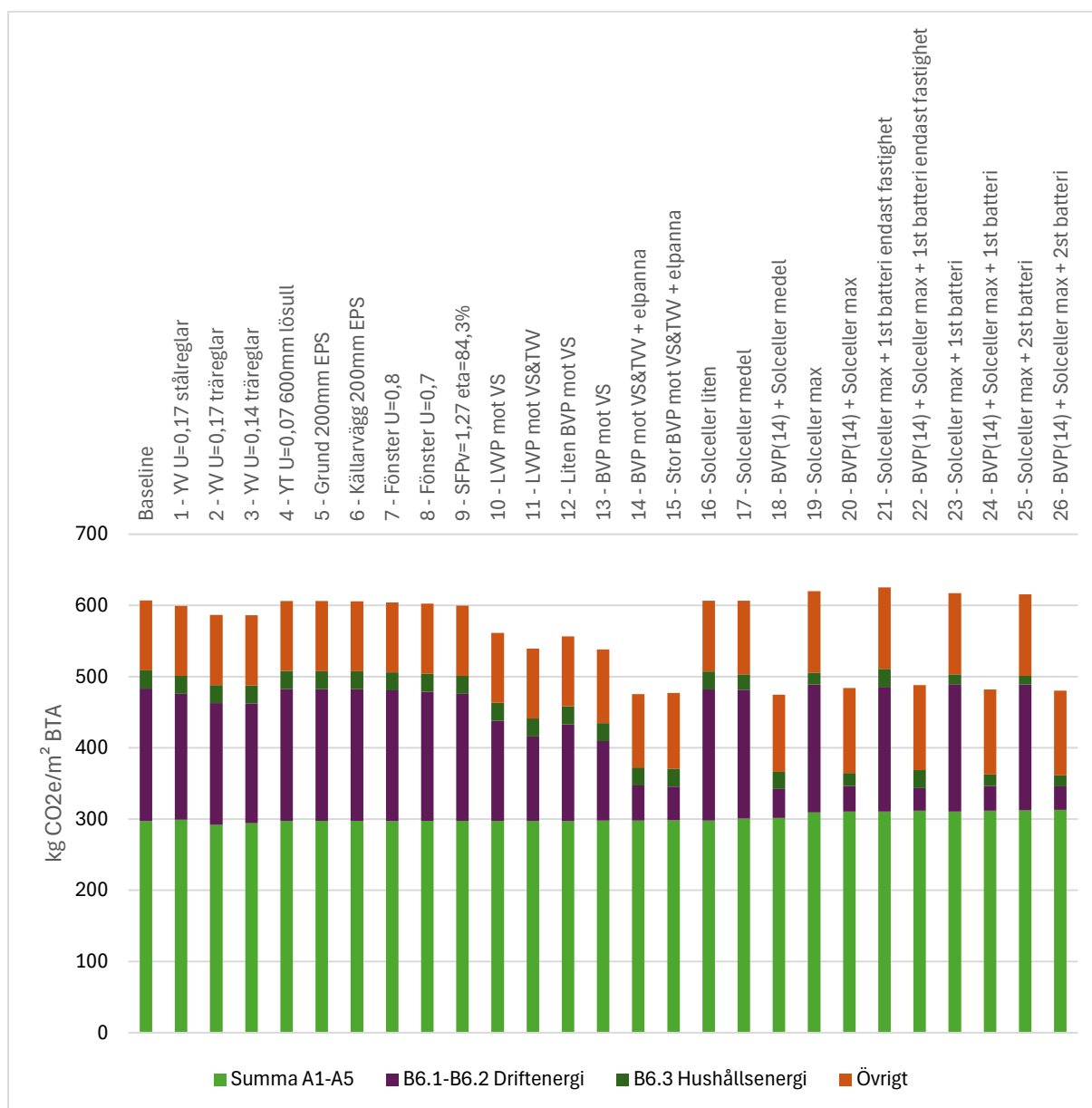
I Bilaga 5 redovisas vid vilket direktavkastningskrav åtgärderna blir lönsamma, det vill säga när nettonvärdet överstiger noll.

Klimatpåverkan

I detta kapitel presenteras resultat av livscykelanalys för samtliga studerade alternativ för både BAU-(Business as Usual) och klimatförbättringsscenario.

BAU

Diagram nedan illustrerar LCA-resultat för BAU-scenario med focus på A-skede och B6-skede.



Figur 9. Livscykelanalys - Business as Usual (BAU)

Byggskede utgör, som förväntat, den största posten i klimatkalkylen och motsvarar ca. 50% av den totala klimatpåverkan för referensfallet (Baseline). Den förblir relativt konstant mellan olika systemalternativ, men ökar synbart i de fall som inkluderar omfattande installation av solceller – benämns i projektet med "Solceller max", dvs. där solceller täcker hela takytan. Solcellsanläggning av en sådan omfattning beräknas uppgå till ca. 4% av hela A-skede.

Publik information

Minskad klimatpåverkan från A-skede kan observeras i alternativ med yttervägg av träreglar (fall 2-3). Lägre U-värde av yttervägg i alternativ 3 jämfört med alternativ 2 ger dock ingen förbättring i den totala utsläppen från byggnaden pga. att minskning i driftenergi uppväger ökad påverkan från material.

Driftenergi (B6.1–B6.2) uppgår i Baseline till cirka en tredjedel av den totala klimatpåverkan. Denna post reduceras kraftigt (till ca. 10%) i alternativ som inkluderar standarddimensionerad bergvärmepump (BVP) med elpanna som spetsvärme, vilket speglar betydande reduktion i energianvändningen med samtidig övergång från fjärrvärme till el. En märkbar minskning av klimatpåverkan från driftenergi noteras även i alternativ med mindre bergvärmepump och luft-vattenvärmepump (fall 10-12) där posten reduceras till ca. 22-25% av den totala klimatpåverkan från byggnaden.

Systemalternativ med endast solceller visar ingen förbättring i LCA-resultat jämfört med grundfallet trots minskning av driftenergi. Detta är pga. ökad klimatpåverkan från solcellsanläggningen. Alternativ 21 (stor solcellsanläggning med ett batteri) är den enda som överstiger referensfallet.

Reducerat utsläpp från hushållsenergi uppnås i alternativ med stor solcellsanläggning och batterier, men posten är relativt liten och alla besparingar vägs upp av ökad påverkan från dessa installationer.

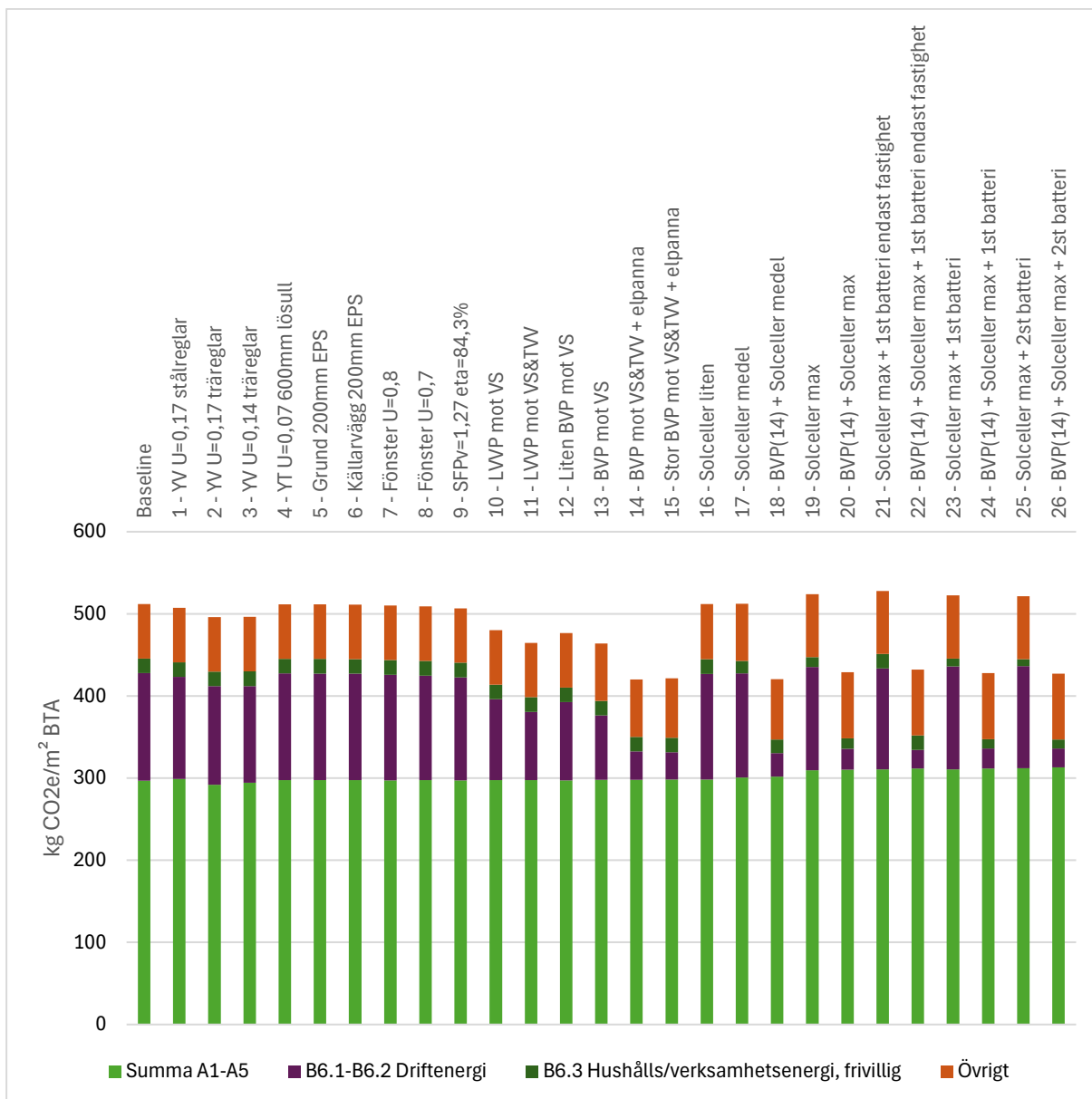
Klimatförbättringsscenario

I Figur 10 nedan fortsätter resultat för klimatförbättringsscenario med fokus på A-skede och B6-skede.

Precis som i BAU-scenariot ligger byggskede som den största posten, men dess vikt i klimatförbättringsscenario blir ännu större då A-skede motsvarar cirka 60–75 % av den totala klimatpåverkan från byggnaden.

Vikten av energibesparingar blir på samma sätt mindre och de åtgärder som vägs upp ökar klimatpåverkan för material genom minskad drift- och hushållsenergi gör inte det längre i klimatförbättringsscenario. Fyra systemalternativ med stor solcellsanläggning (fall 19, 21, 23, 25) överstiger nu referensfallet med ca. 2-8 kgCO₂e/m²BTA.

Publik information

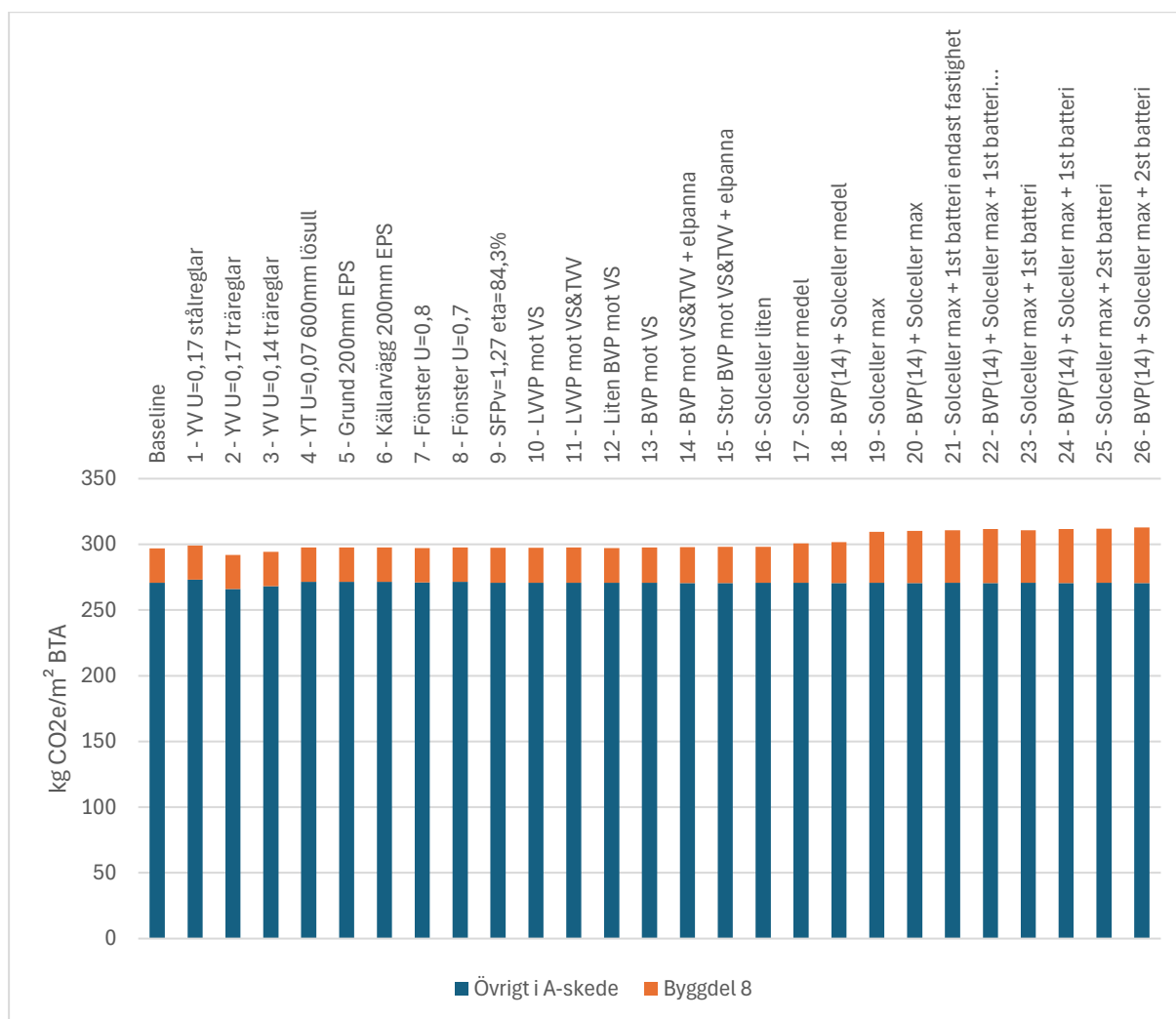


Figur 10. Livscykelanalys - Klimatförbättringsscenario

Publik information

Bygghel 8 – Installationer

Nedan följer en redovisning av klimatpåverkan från Bygghel 8 – Installationer som en del av A-skede.



Figur 11. Klimatpåverkan från Bygghel 8 – Installationer. OBS: y-axeln är avkortad.

Klimatpåverkan från installationer resulterar i ca. 9-14% av A-skede bland de studerade fallen. Alternativen med värmepumpar visar marginell ökning av klimatpåverkan från installationer sett per BTA. Detta är även pga. att Atemp och BTA är något större här för att täcka behovet av extra teknikutrymme. Ökad klimatpåverkan från värmepump resulterar i ca. 1 kg CO2e/m² BTA jämfört med Baseline. Solcellssystem som täcker hela taket ger störst klimatpåverkan bland studerade åtgärderna och adderar ca. 14 kg CO2e/m² BTA. Ett batteri ger ytterligare ca. 1-2 kg CO2e/m² BTA.

5. Sammanvägt resultat

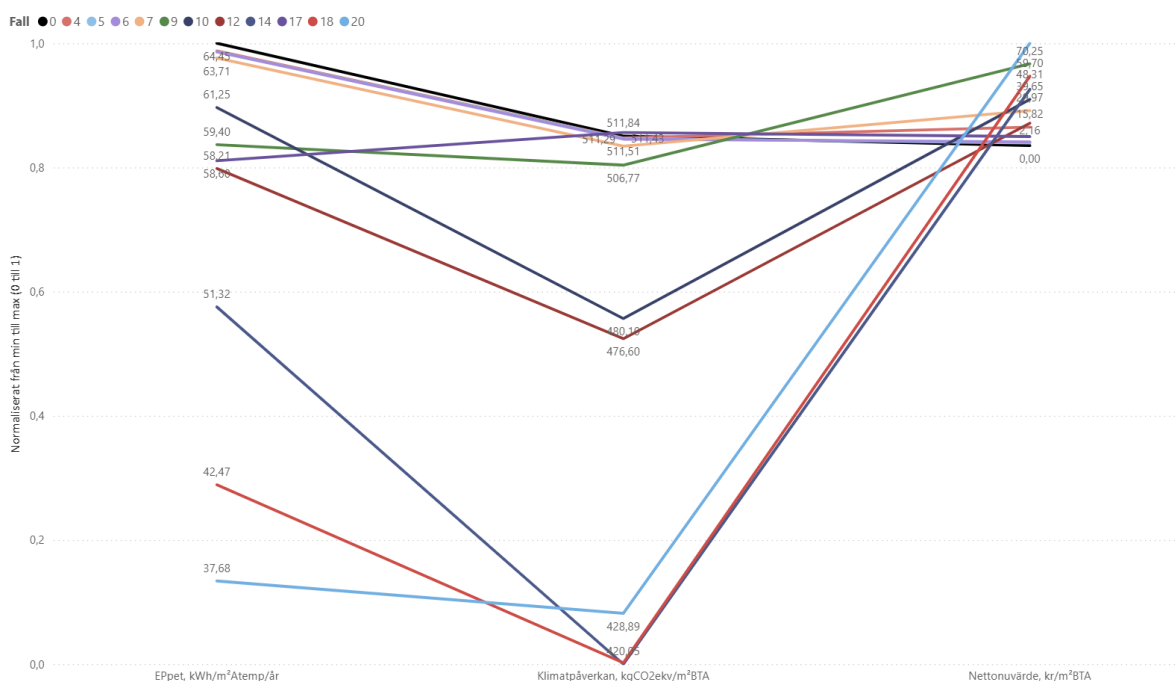
I detta avsnitt presenteras en samlad och övergripande bild av hur åtgärderna presterar utifrån tre perspektiv: energianvändning, klimatpåverkan och kostnadseffektivitet. Analysen genomförs med hjälp av diagram i form av parallella koordinater, en metod som möjliggör visualisering och jämförelse av flerdimensionella datamängder. I dessa diagram representeras varje variabel av en separat vertikal axel, placerad parallellt med övriga axlar.

De tre variabler som analyseras är primärenergital, nettonuvärde samt klimatpåverkan över hela livscykeln (LCA). Resultat för klimatpåverkan är enligt klimatförbättringsscenario. Varje åtgärd visualiseras som en linje som förbinder dess värden på respektive axel.

Eftersom variablerna har olika enheter och storleksordningar normaliseras samtliga värden till ett intervall mellan 0 och 1, där respektive variabels minimum motsvarar 0 och maximum motsvarar 1. Vid varje datapunkt anges även de absoluta värdena för respektive variabel.

Resultat för samtliga åtgärder redovisas i *Bilaga 3*, där även resultat per åtgärdsgrupp presenteras. I *Bilaga 4* ges en kort sammanfattning av resultat för varje alternativ.

För att underlätta analysen delas resultaten in i mindre kluster och presenteras i följande diagram. Som ett första steg filtreras åtgärder med negativt nettonuvärde bort, det vill säga åtgärder vars investeringskostnader överstiger den värdeökning de genererar för fastigheten. Detta möjliggör en mer fokuserad jämförelse mellan de ekonomiskt motiverade alternativen, se *Figur 12* nedan.

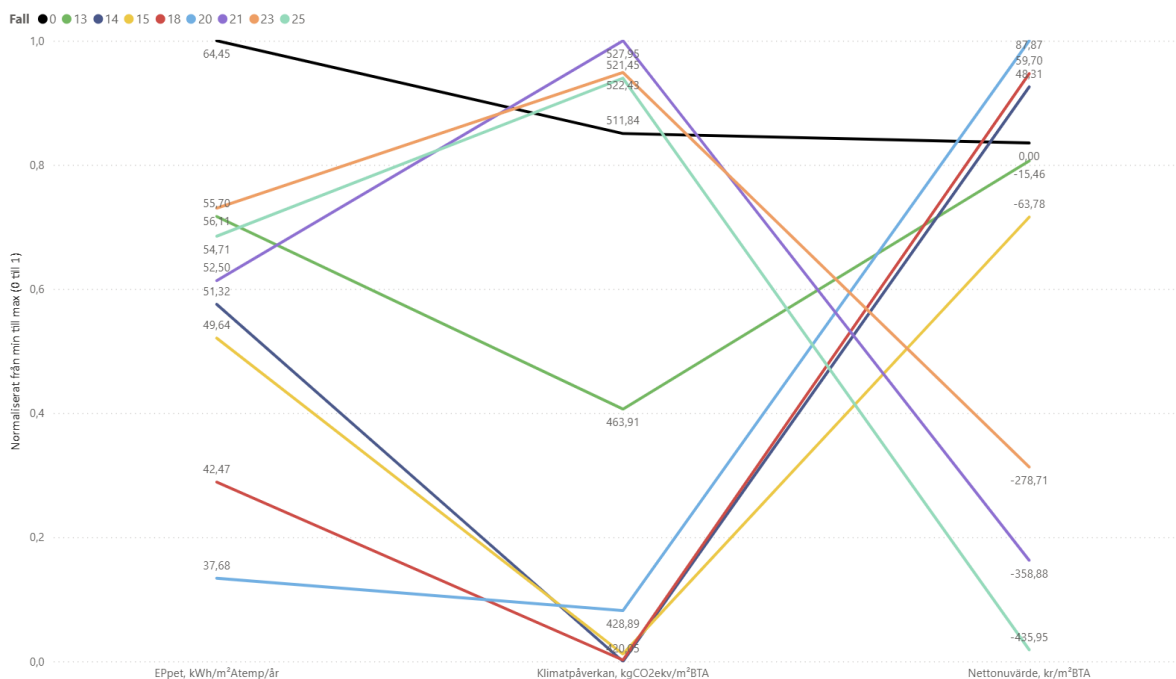


Figur 12. Åtgärder med positivt nettonuvärde, det vill säga åtgärder som bedöms vara lönsamma. För dessa åtgärder är den beräknade ökningen av fastighetsvärdet lika med eller högre än de motsvarande investeringskostnaderna.

Alternativ 14, 18 och 20 visar bland de högsta nettonuvärdena, där samtliga inkluderar bergvärmepump, och alternativ 18 och 20 även i kombination med solceller. Dessa tre åtgärder resulterar dessutom i den lägsta klimatpåverkan bland de studerade alternativen och uppfyller Energiklass B. Av dessa är alternativ 20 det mest lönsamma enligt analysen. Näst högsta nettonuvärde uppnås med alternativ 9 som motsvarar ett mer effektivt ventilationsaggregat.

Publik information

Vidare redovisas de åtgärder vars energiprestanda uppfyller Energiklass B (Figur 13). Detta ger en inblick vad energikravet innebär för ett flerbostadshusprojekt avseende klimat och kostnadseffektivitet.



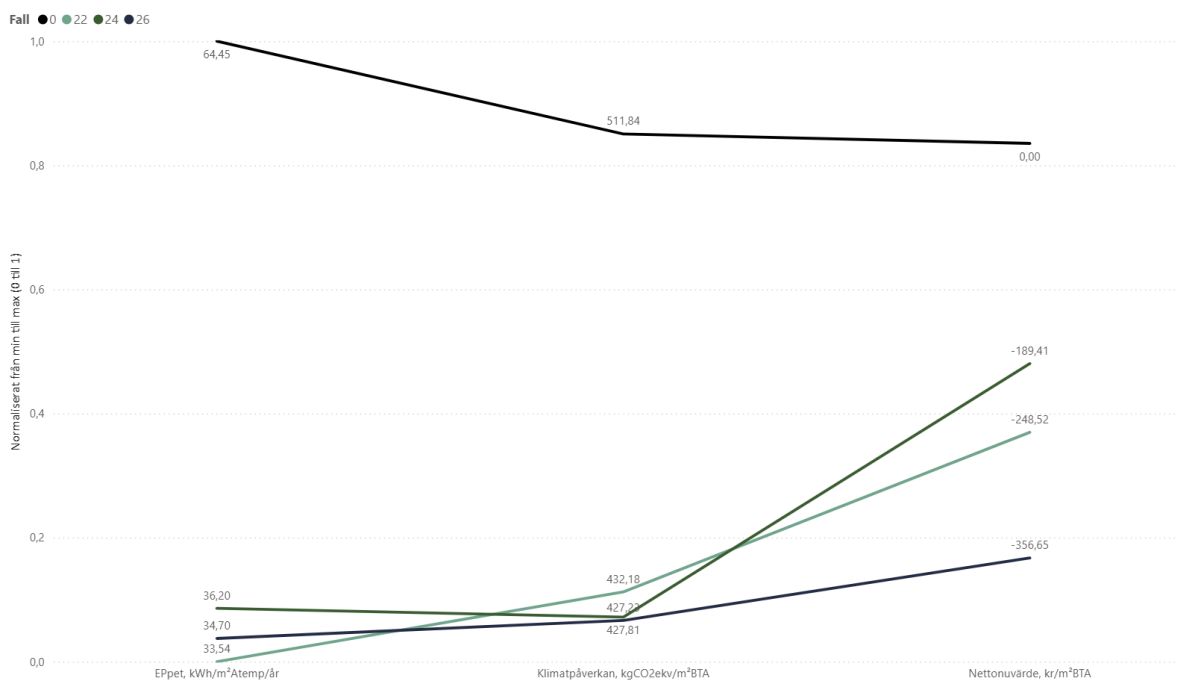
Figur 13. Åtgärder som uppfyller Energiklass B men når inte till Energiklass A ($56,3 \leq EP_{pet} < 37,5 \text{ kWh/m}^2\text{Atemp/år}$). Även resultat för grundfall redovisas för jämförelse.

Här framträder tydliga kluster där alternativ 14, 18 och 20 visar de mest fördelaktiga resultaten avseende både nettonvärde och klimatpåverkan. I kontrast resulterar åtgärderna 21, 23 och 25 i den högsta klimatpåverkan i jämförelse med övriga alternativ, vilket dessutom överstiger grundfallet. Samtliga utgår från solcellsanläggning med batterilagring utan värmepump Dessa alternativ uppvisar även ett tydligt negativt nettonvärde.

Alternativ 15 (Stor BVP mot VS&TVV + elpanna) uppfyller Energiklass B med bra marginal och ger bland den lägsta klimatpåverkan, men resulterar i ett negativt nettonvärde.

Publik information

Vidare redovisas de åtgärder vars energiprestanda uppfyller Energiklass A (Figur 14).



Figur 14. Åtgärder som uppfyller Energiklass A ($EP_{pet} \leq 37,5 \text{ kWh/m}^2\text{Atemp/år}$). Även resultat för grundfall redovisas för jämförelse.

Endast tre alternativ i denna studie uppfyller Energiklass A, dessa är alternativ 22, 24 och 26, som alla inkluderar en kombination av bergvärmepump och solcellsanläggning med batterilaggring. Samtliga åtgärder ger tydligt negativt nettonvärde, men visar samtidigt betydligt minskning i klimatpåverkan jämfört med grundfallet.

6. Slutsatser och diskussion

Studien visar att det är möjligt att identifiera energiåtgärder som kombinerar god klimatprestanda med kostnadseffektivitet. Den mest fördelaktiga lösningen i detta projekt är en kombination av bergvärmepump och solcellsanläggning (alternativ 20), som ger betydande energibesparing, låg klimatpåverkan och är dessutom den mest lönsamma av alla studerade alternativ. Ett effektivare ventilationsaggregat (alternativ 9) framstår också som en lönsam åtgärd med relativt låg investeringskostnad och kort återbetalningstid. Åtgärder som förbättrar klimatskalet, exempelvis ytterväggar med lägre U-värde, ger däremot begränsade energi- samt klimatbesparingar och är generellt mindre ekonomiskt motiverade än installationstekniska åtgärder.

Endast ett fåtal åtgärder har visat sig att kunna sänka byggnadens energiprestanda till Energiklass A. I denna studie är det kombinationen av bergvärmepump, solcellsanläggning och batterilagring som möjliggör detta. Förutom låg energianvändning ger dessa lösningar en betydande minskning av klimatpåverkan. Trots dessa fördelar är åtgärderna förknippade med höga kostnader, lång återbetalningstid och negativt nettonuvärde, vilket gör dem ekonomiskt omotiverade. Resultaten påvisar generellt att åtgärder med låg energianvändning och hög klimatnytta ofta är svåra att motivera ekonomiskt.

Samtidigt är det viktigt att understryka att bedömningen av lönsamhet baseras på ett antaget direktavkastningskrav om 5 %, vilket i hög grad påverkar vilka åtgärder som bedöms som lönsamma. Varje åtgärd har dock en identifierad potential att uppnå lönsamhet vid ett lägre direktavkastningskrav. Även om det valda avkastningskravet påverkar den absoluta lönsamheten, ger resultaten vid 5 % ändå en tydlig bild av hur åtgärderna presterar i förhållande till varandra.

Analysen visar att byggskedets klimatpåverkan dominerar livscykelanalysen och att installationernas bidrag utgör cirka 9–14 % av klimatpåverkan i detta skede. Detta understryker att materialval och installationer har stor betydelse för den totala miljöpåverkan. Resultatet indikerar att förbättrad energiprestanda inte nödvändigtvis medför en minskad klimatpåverkan. Detta är särskilt tydligt när klimatförbättringsscenario används i livscykelanalysen, där vikten av energibesparingar minskar till följd av lägre utsläpp i driftskede. Nyttan med installationer och klimatskalsåtgärder måste därför vara tillräckligt stor för att energibesparingen under livscykeln ska kompensera för den inbyggda klimatpåverkan.

Det är värt att poängtera att samtliga klimatskalsåtgärder som undersökts i detta projekt avser användning av jungfruliga material. Med en snabbt växande marknad för återvunna och återbrukade material kan det vara relevant att undersöka hur sådana alternativ påverkar klimatalkylen samt klimatskalsåtgärdernas relativa placering i förhållande till övriga åtgärder.

Även emissionsfaktorer för el och fjärrvärme har en stor påverkan på resultatet i klimatalkylen. I detta projekt har ett svenskt medelvärde använts för fjärrvärme, men stora variationer förekommer beroende på lokalt fjärrvärmenät. I de fall där det lokala fjärrvärmenätet uppvisar lägre utsläpp än det nationella medelvärdet minskar skillnaden i klimatpåverkan mellan klimatskalsåtgärder och åtgärder som inkluderar värmepump. Resultatet är på motsvarande sätt känsligt för antaganden om elmix – nordisk elmix, som har högre utsläpp än svensk elmix, försämrar klimatalkylen för åtgärder baserade på värmepump.

En ytterligare aspekt vid användning av värmepump är valet av spetsvärme. Höga effektagifter och anslutningsavgifter för fjärrvärme gör att kostnadsbesparingen vid minskat fjärrvärmeuttag inte alltid blir så stor som förväntat. Detta förstärker fördelen med att använda elpanna som spetsvärme i kombination med värmepump. Samtidigt behöver dimensioneringen av värmepumpen vägas in i ett systemperspektiv: elpannor används främst under kalla vinterdagar när elnätet redan är hårt belastat. En utbredd användning av lösningar

Publik information

där värmepumpen dimensioneras för att täcka cirka 60 % av byggnadens effektbehov, med elpanna som spets, riskerar att öka topplasterna på elnätet och därmed tränga undan annan viktig elektrifiering och försvåra den gröna omställningen. Denna lösning visar dock bland de bästa resultaten avseende både klimatpåverkan och lönsamhet (alternativ 14, 18 och 20). Att i stället dimensionera värmepumpen för cirka 100 % effekttäckning (alternativ 15) minskar den ovan beskrivna systemproblematiken, men framstår som mindre lönsamt. Därmed blir den första lösningen mer attraktiv så länge fjärrvärmekostnader kopplade till effekt och anslutning fortsatt är höga och har avgörande betydelse för den totala ekonomin.

Projektet har visat på komplexiteten att analysera och väga samman både energi, klimat och ekonomi, men också att det finns möjligheter att identifiera lösningar som ger ett balanserat utfall utifrån alla tre perspektiv. Det är viktigt att betona att denna typ av studie bygger på ett flertal parametrar och antaganden som varierar från projekt till projekt samt beroende av vald metod. Studiens avgränsningar innebär att resultaten ska ses som indikation snarare än absoluta värden. De ger riktning för vilka åtgärder som är mest lovande, men kommer variera beroende på projektspecifika förutsättningar.

Framtida utveckling bör lägga fokus på cirkulära material samt tekniska systemlösningar med låg inbyggd klimatpåverkan. Vidare finns behov av att utveckla lättanvända verktyg för integrerade analyser av energiprestanda, klimatpåverkan och kostnad i tidiga skeden, för att undvika suboptimering och säkerställa välgrundade beslut. Det finns även behov av mer omfattande känslighetsanalyser av parametrar såsom geografisk placering, lokala fjärrvärmenät, ekonomiska förutsättningar och metoder, återbrukade material, energiprisutveckling. Dessutom bör framtida analyser omfatta ett bredare spektrum av åtgärder, inklusive mer innovativa lösningar, för att identifiera nya möjligheter till klimat- och kostnadseffektivitet.

7. Referenser

1	Boverket (2023)	PBL och klimatdeklarationer. https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/pbl-och-klimatdeklarationer/ . Hämtad 2024-02-05.
2	EU (2016)	Revidering av EPBD inom 'Fit for 55': Council and Parliament reach deal on proposal to revise energy performance of buildings directive - Consilium (europa.eu)
3	Boverket (2023)	Gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan och en utökad klimatdeklaration. https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2023/gransvarde-klimatpaverkan/ . Hämtad 2024-02-15.
4	SBUF (2017)	Optimera byggnader ur ett livscykelperspektiv. https://www.sbuf.se/projektresultat/projekt?id=bef4f1c1-1a15-43c4-95b8-949ebab592fb/ . Hämtad 2024-04-29.
5	Chalmers, Mistra Carbon Exit (2021)	Karlsson, I., Rootzén, J., Johnsson, F. et al (2021) Achieving net-zero carbon emissions in construction supply chains – A multidimensional analysis of residential building systems
6	SBUF (2021)	SBUF 13685 Slutrapport Klimatpåverkan av energieffektivisering
7	E2B2 (2023)	Datordrivna-optimeringar-för-ökad-hållbarhetsprestanda_slutrapport-2023-04-04-1
8	E2B2 (2023)	Sandberg, E (2023), Driftskedets klimatpåverkan och dess relation till värmeförlusttalet
9	Energimyndigheten, Boverket (2017)	Utvärdering av lågenergibygnader – fallstudie 2017, https://citrenergy.se/app/uploads/2023/03/Utvardering-av-lagenergibygnader-%E2%80%93-fallstudie-2017.pdf
10	Boverket (2018)	Kostnadsoptimala nivåer för krav på byggnaders energiprestanda. Länk: https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/kostnadsoptimala-nivaer-for-krav-pa-byggnaders-energi-prestanda---jamforelse-med-foreslagna-krav-2021.pdf
11	Bojana Petrović (2024)	Whole Life Carbon Assessment and Life Cycle Cost Analysis of a Single-family Building. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1848305/FULLTEXT01.pdf
12	Magnus Österbring (2019)	Explorative life-cycle assessment of renovating existing urban housing-stocks. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319306018
13	Björn Berggren, R Bernardo, Ulla Jansson	European energy renovation of multi-dwelling building from a Swedish life cycle perspective
14	E2B2, Farshid Shadram (2024)	E2B2-projektet "Nettonollenergi för byggnaders livscykel". https://www.e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2/design-och-byggprocess/nettonollenergi-for-byggnaders-livscykel/
15	IVL	IVL: "Utveckling av metodik för klimatberäkning av en byggnads hela livscykel" https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/hallbart-samhallsbyggande/klimatberakning-av-en-byggnads-hela-livscykel.html
16	NEED4B EU-projekt (2018)	NEED4B-projektet, NEED4B Site Borås och Varberg Smart Cities Marketplace

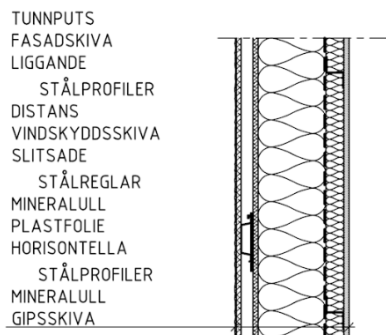
Publik information

17	Magnus Österbring (2020)	SBUF 13685 Slutrapport "Klimatpåverkansbedömning av energieffektivisering"
18	Eje Sandberg (2023)	Rapporten "Driftskedets klimatpåverkan och dess relation till värmeförlusttal" https://www.e2b2.se/media/potpamz5/rapport-vft-lca-2023.pdf
19	Peter Ylmén (2020)	Managing Uncertainty in Environmental and Cost Life Cycle Studies of Building Design: : https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/84683441/Peter_Ylm_n_web.pdf
20	IVL (2022)	Klimatsmart byggdesign (IVL), https://klimatsmartbyggdesign.se/projekt/klimatsmart-byggdesign.html
21	E2B2, Farshid Shadram (2022)	E2B2: "Datordrivna optimeringar för ökad hållbarhetsprestanda" https://e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2/design-och-byggprocess/datordrivna-optimeringar-for-okad-hallbarhetsprestanda/intervju/

Bilaga 1. Förklaring av energioptimeringsalternativ

Grundalternativ för yttervägg, U=0,21

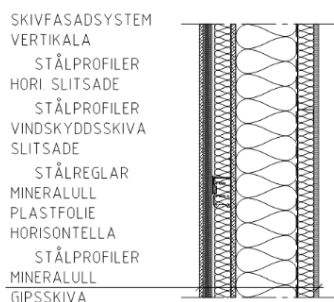
Utfackningsvägg 220 stomme med stålregel +45 installationsskikt med liggande z-profil, regler cc 450.



Figur 15. Ytterväggskonstruktion för grundalternativet.

1 - YV U=0,17 stålreglar

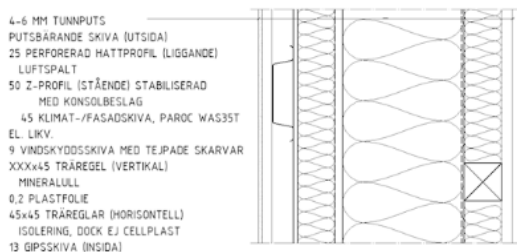
Utfackningsvägg stålregel 45 mineralull med liggande z-profil +195 stomme med stålregel +45 installationsskikt med liggande z-profil, regler cc 450.



Figur 16. Ytterväggskonstruktion för åtgärd 1.

2 - YV U=0,17 träreglar

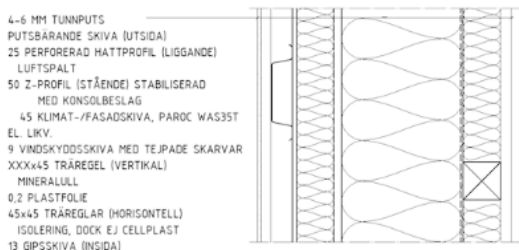
Stålregel 45 mineralull med liggande z-profil +170 stomme med träregel +45 installationsskikt med träregel



Figur 17. Ytterväggskonstruktion för åtgärd 2.

3 - YV U=0,14 träreglar

Stålregel 45 mineralull med liggande z-profil + 220 stomme med träregel +45 installationsskikt med träregel



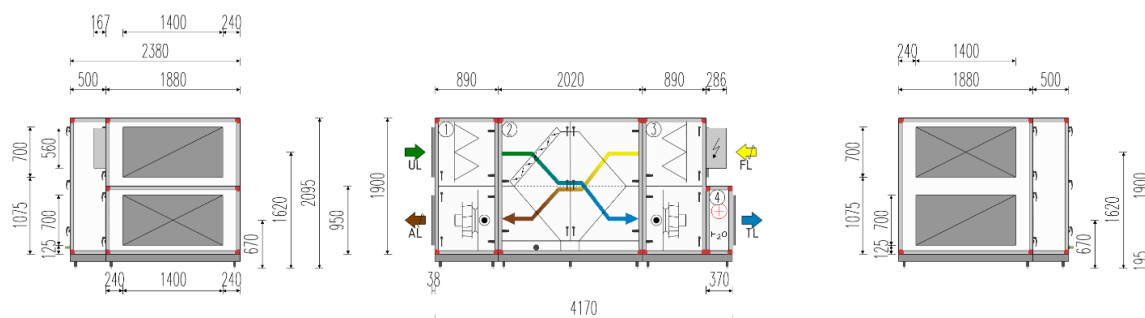
Figur 18. Ytterväggskonstruktion för åtgärd 3.

Grundalternativ för luftbehandlingsaggregat

CAV-ventilation, 3360 l/s, 200 Pa Externt tryckfall i anslutande kanaler på både till- och frånluftssidan.

FTX-aggregat Envistar Flex Home 400 med motströmsvärmväxlare och eftervärmningsbatteri.

Temperaturverkningsgrad torr (enligt EN308) 81,3 %. FTX SFP_v = 1,82 kW/m³/s.

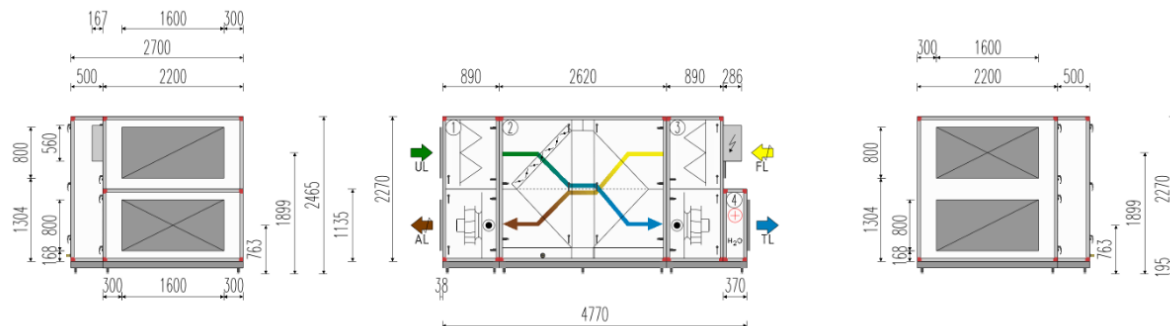


Figur 19. Konstruktion av luftbehandlingsaggregat för grundalternativet.

9 - SFP_v=1,27 eta=84,3%

FTX-aggregat Envistar Flex Home 600 med motströmsvärmväxlare och eftervärmningsbatteri.

Temperaturverkningsgrad torr (enligt EN308) 84,3 %. FTX SFP_v = 1,27 kW/m³/s.



Figur 20. Konstruktion av luftbehandlingsaggregat för åtgärd 9.

Flex Home 600 uppskattas kräva 6 m² ökad fläktrumsarea jämfört med grundalternativet.

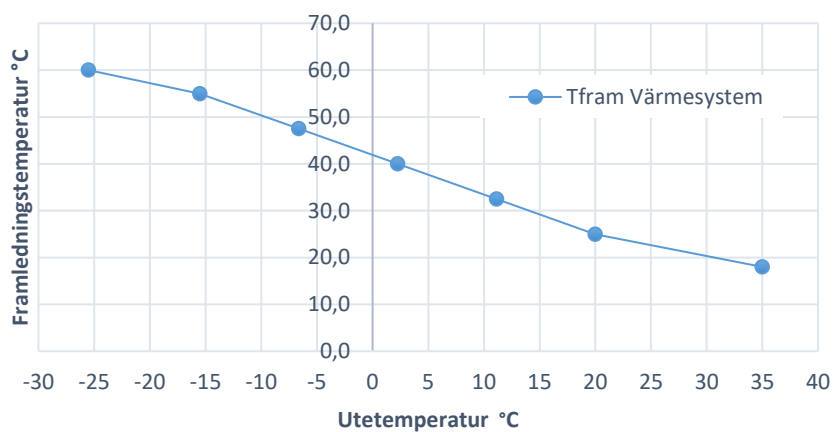
Grundalternativ för systemlösning VVS

Fjärrvärme för uppvärmning, tappvarmvatten och varmvattencirkulation.

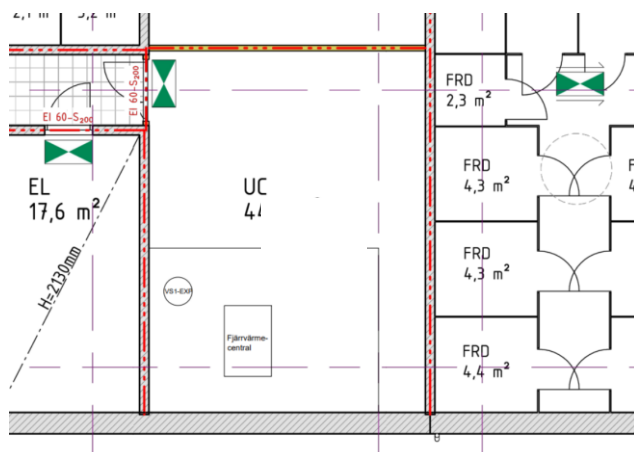
Tabell 6. Sammanfattning av värmeeffekterna för dimensionering av VVS-system.

Byggnadens högsta VS-effektbehov (timmedel) [kW]	Byggnadens högsta VS+VV+VVC effektbehov (timmedel) [kW]	Fjärrvärmeväxlare dimensionerande tappvarmvatteneffekt [kW]	Fjärrvärmeväxlare VS+VV+VVC [kW]	Debiteringsgrundande effekt fjärrvärme [kW]
137	169	152	289	~160

Värmekurvan nedan gäller för alla fall.



Figur 21. Byggnadens värmekurva.



Figur 22. Teknikrumsytan för UC uppgår till 16 m².

10 - LVVP mot VS

2 st luft-vatten värmepumpar (i beräkningar används Nibe F2120-20 2x16kW = 32 kW) kopplade mot värmesystemet. Utedel placeras på innergård. Detta alternativ uppskattas kräva samma teknikrumsyta som

Publik information

grundalternativet. Beräknad årsvärmefaktor på levererad energi till värme: 3,2; effekttäckningsgrad: ca. 24%; energitäckningsgrad för uppvärmning: ca. 64%.

11 - LVVP mot VSochTVV

Samma som åtgärd 10 men värmepumparna kopplas mot både värmesystemet och mot tappvarmvattensystemet. Systemet inkluderar även 2 st slingtankar á 1000 l för avsättning av värme mot tappvarmvattensystemet. Utedel placeras på innergård. Detta alternativ uppskattas kräva 1 m² ökad teknikrumsarea jämfört med grundalternativet. Beräknad årsvärmefaktor på levererad energi: 3,2; energitäckningsgrad totalt: ca. 50%.

12 - Liten BVP mot VS

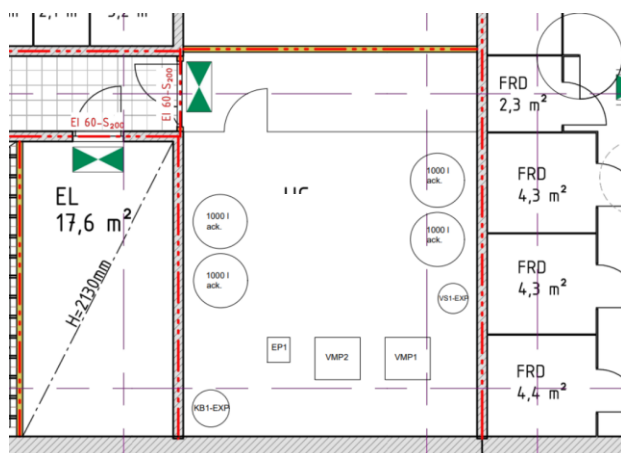
Bergvärmepump med värmeeffekt på 33 kW kopplad mot värmesystem. Effekttäckning av värmebehov ca. 24%. Fjärrvärmespets mot värmesystem, 100% fjärrvärme mot tappvarmvatten och varmvattencirkulation. I beräkningar antas 1 st Thermia MEGA S och 3 borrhål á 300 m. Detta alternativ uppskattas kräva 1 m² ökad teknikrumsarea jämfört med grundalternativet. Beräknad årsvärmefaktor på levererad energi: 4,2.

13 - BVP mot VS

Bergvärmepump med värmeeffekt på 98 kW mot värmesystem. Effekttäckning av värmebehov ~72%. Fjärrvärmespets mot värmesystem, 100% fjärrvärme mot tappvarmvatten och varmvattencirkulation. I beräkningar antas 1 st Thermia MEGA L och 1 st Thermia MEGA M samt 4 borrhål á 350 m. Detta alternativ uppskattas kräva 1 m² ökad teknikrumsarea jämfört med grundalternativet. Beräknad årsvärmefaktor på levererad energi: 4,1.

14 - BVP mot VSochTVV + elpanna

Bergvärmepump 111 kW mot värmesystem samt tappvarmvatten och VVC. Effekttäckning av uppvärmningsbehov, tappvarmvatten och VVC ~65%, spetsvärme med elpanna. I beräkningar antas 2 st Thermia MEGA L samt 2 st acktankar á 1000 l för förvärmning av tappvarmvatten och 2 st acktankar á 1000 l för slutvärmning av tappvarmvatten. Värmepumpar med hetgas mot slutvärmningstankar. 6x380 m borrhål, 70 kW elpanna. Detta alternativ uppskattas kräva 18 m² ökad teknikrumsarea jämfört med grundalternativet. Beräknad årsvärmefaktor på levererad energi: 3,6.



Figur 23. Teknikrumsytan för UC uppgår till 35 m²

Publik information

15 - Stor BVP mot VSochTVV + elpanna

Bergvärmepump 162 kW mot värmesystem, tappvarmvatten samt VVC. Effekttäckning av uppvärmningsbehov, tappvarmvatten och VVC ~95%, spetsvärme med elpanna. I beräkningen antas 2 st Thermia MEGA XL, 2 st acktankar á 1000 l för förvärmning av tappvarmvatten samt 2 st acktankar 1000 l för slutvärmning av tappvarmvatten. Värmepumpar med hetgas mot slutvärmningstankar. 8x350 m borrhål, 12 kW elpanna för redundans och sällsynta längre perioder av dimensionerande värmebehov. Detta alternativ uppskattas kräva 18 m² ökad teknikrumsarea jämfört med grundalternativet. Beräknad årsvärmefaktor på levererad energi: 3,8.

21 - Solceller max + 1st batteri endast fastighet

Solcellsanläggning ~168 kWp, 447 m² takparallellt mot väst samt 398 m² takparallellt mot öst i kombination med ett fastighetsbatteri. I beräkningen antas GoodWe 64 kW/ 82kWh. Batteriet används endast för fastighetsel. Fastighetsbatteriet placeras i ett separat batterirum i entréplan. Detta batterirum är 17 m² och minskar därmed säljbar boarea med motsvarande yta.

Publik information

Bilaga 2. Indata LCA-beräkning referensbyggnad

Redovisning av indata

Versionsdatum verktyg:	2025-04-01
Beräkningsfil licensierad till:	Stanislav Proshyn, Skanska Sverige AB
Datum för beräkning	2025-04-16

Grunddata

Projektnamn	SBUF 14390
Beräkningsår	2025
Beräkningsperiod (år)	50
BTA (m2)	8 342
Atemp (m2)	7 768
Byggnadstyp	Flerbostadshus
Täckningsgrad för A-skedet	100%

Schabloner för A1-A5

Följande schabloner använts ifall schabloner för respektive del ska användas.

Byggnadstyp	Byggsdel 7 (kg CO2e/m2 Atemp)	Byggsdel 8 (kg CO2e/m2 Atemp)	A5 Energi (exkl mark) (kg CO2e/m2 BTA)
Flerbostadshus	34	28	22
Förskola	55	60	22
Kontor	28	73	22
Skolor	34	75	22
Småhus	36	15	14
Specialbostäder	66	39	22

Byggsdel 1 och delar av 2

Huvudaktivitet	A1-A5 Spill	A5 Energi	A5 Borttransport	Enhet	Inkluderas i EU:s taxonomi*
0 Sanering och rivning av befintlig byggnation	Utgår i dagsläget				Nej
1 Rövning	0	1	1	kg CO2e/m2 projektaera	Nej
2 Rivning av anläggning	0	1	0	kg CO2e/m2 projektaera	Nej
3 Spont (kvarsitande)	274	5	1	kg CO2e/m2 BYA	Nej
4a Schakt/fyllning – under huskropp inkl. lättfylnad, betonggrund i schaktbotten samt bergschakt	153	9	30	kg CO2e/m2 BYA	Nej
4b Schakt/fyllning – under huskropp exkl. lättfylnad, betonggrund i schaktbotten samt bergschakt	23	6	11	kg CO2e/m2 BYA	Nej
4c Schakt/fyllning – under huskropp för småhus och förskolor	3	1	1	kg CO2e/m2 BYA	Nej
5a Schakt/fyllning – yttre arbeten, för byggnader BYA/projektaera=0,2	9	3	6	kg CO2e/m2 projektaera	Nej
5b Schakt/fyllning – yttre arbeten, för byggnader BYA/projektaera=0,2	Utgår i dagsläget				Nej
6 Pållning	24	1	1	kg CO2e/m2 BTA	Ja
7 Ledningar	3	3	1	kg CO2e/m2 projektaera	Ja
8 Härdgjorda ytor	17	3	0	kg CO2e/m2 projektaera	Ja
9 Vegetationsytor	10	3	1	kg CO2e/m2 projektaera	Nej
10 Markutrustning och övrigt	2	1	0	kg CO2e/m2 projektaera	Ja
11 Komplementbyggnader	Hänteras i anvisning 1.4				Nej
12 Stödmurar	Egen beräkning**				Ja
13 Jordförstärkning	Egen beräkning**				Nej

* = Tolkning om vad som ingår enligt Level(s) och därmed i EU:s taxonomi.

** = Om aktiviteten är aktuell för projektet ska egen beräkning av klimatpåverkan från aktivitetens ingående material genomföras.

Indata B1.1

Egen beräkning eller schablon	Schablon
Mängd betong (kg)	5 385 678
Schablon karbonatisering	-0,00004 kg CO2e/kg betong, år

OBS! Vid egen beräkning behöver du redovisa hur ni kommit fram till detta resultat.

Indata B1.2

Finns köldmedium?	Nej
Relevant yta ("m2 relevant yta")	8342
Klimatpåverkan från köldmedium	0,2 kg CO2e/m2 relevant yta, år
Mängd köldmedie-läckage baseras på	Schablon
GWP köldmedium baseras på	Schablon

OBS! Vid egna angiven information om köldmedium måste detta redovisas var informationen kommer från.

Indata B2

Byggsdel/komponent	Byggmaterial	Underhållsintervall (år)	Antal åtgärder	Indata från projektet	Antagande Klimatdata (schabloner från IVL)
4- Yttertak					
Taktäckning	Papptak	15	2,3	0 m2 papptak	Ej relevant
Taktäckning	Plåt	n/a	0	0 kg co2e (A1-A5.1)	n/a
Taktäckning	Betongpannor	25	1	0 kg co2e (A1-A5.1)	Ej relevant
Taktäckning	Tegelpannor	25	1	9966 kg co2e (A1-A5.1)	10% av A1-A5
Taktäckning	Skiffer	30	0,7	0 kg co2e (A1-A5.1)	Ej relevant
5- Fasader, ytbeklädnad					
Ytbeklädnad	Trä	10	4	0 m2 fasad	Ej relevant
Ytbeklädnad	Plåt	15	2,3	0 m2 fasad	Ej relevant
Ytbeklädnad	Puts	25	1	31 141 kg co2e (A1-A5.1)	5% av A1-A5
Ytbeklädnad	Tegel	30	0,7	1 469 m2 fasad	1,5 kg CO2e/m2 fasad
Ytbeklädnad	Betong	n/a	0	0 kg co2e (A1-A5.1)	n/a
5- Fasader, fönster/dörrar					
Fönster	Trä	15	2,3	20 antal (st)	0,9 kg CO2e/st
Fönster	Trä/aluminium	15	2,3	388 antal (st)	0,4 kg CO2e/st
Dörr/entrépartier/portar	Trä	10	4	0 antal (st)	Ej relevant
Dörr/entrépartier/portar	Aluminium/stål	n/a	0	0 antal (st)	n/a
Ytterdörr	Stål	n/a	0	0 antal (st)	n/a
Ytterdörr	Trä	10	4	4 antal (st)	5,3 kg CO2e/st
6- Stomkomplettering/rumsbildning					
Innerdörr	Stål	15	2,3	76 antal (st)	3,5 kg CO2e/st
Innerdörr	Trä	15	2,3	344 antal (st)	3,5 kg CO2e/st
Innertak	Färg	15	2,3	7 275 m2 innertak	0,89 kg CO2e/m2
7- Invändiga ytsikt/rumskomplettering					
Golv	Parkett	20	1,5	6 466 m2 parkettgolv	0,54 kg CO2e/m2 golv
8- Installationer					
Solceller/solfångare	Del av panel	15	2,3	0 kg co2e (A1-A5.1)	Ej relevant

Övrig information

Generellt påslag på 25% genomfört på den totala klimatpåverkan för B2. Enligt anvisning 4.5.

Publik information

Indata B4

Bygghel/komponent	Byggmaterial	Utbytesintervall (år)	Antal åtgärder	Indata från projektet
4 - Yttertak				
Taktäckning	Papptak	30	0,7	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Taktäckning	Plåt	40	0,3	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Taktäckning	Betongpannor	50	0	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Taktäckning	Tegelpannor	50	0	9 966 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Taktäckning	Trä	25	1	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Taktäckning	Asfaltshingel	20	1,5	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Taktäckning	Sedumtak	20	1,5	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
5 - Fasader				
Ytbeklädnad	Trä	50	0	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Ytbeklädnad	Plåt	50	0	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Ytbeklädnad	Puts	50	0	31 141 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Ytbeklädnad	Tegel	50	0	18 492 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Ytbeklädnad	Betong	50	0	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Fönster	Trä	40	0,3	2 834 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Fönster	Trä/aluminium	50	0	65 002 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Fönster	Aluminium	50	0	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Dörr/entrépartier/portar	Trä	40	0,3	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Dörr/entrépartier/portar	Aluminium/stål	40	0,3	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Ytterdörr	Stål	40	0,3	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Ytterdörr	Trä	40	0,3	298 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
6 - Stomkomplettering/rumsbildning				
Innerdörr	Stål	50	0	23 496 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Innerdörr	Trä	50	0	13 483 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Dörrpartier	Stål	50	0	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
Innertak	Gips	50	0	3 050 kg CO ₂ e (A1-A5.1)
8 - Installationer				
Solceller/solfångare	Hela paneler	25	1	0 kg CO ₂ e (A1-A5.1)

Använda schabloner (kg CO ₂ e/m ² BTA)	BAU	Klimatförbättringsscenario
Bygghel 7, invändiga ytskikt och rumskomplettering	43,8	29,8
Bygghel 8, installationer	14,0	9,3

Övrig information

Generellt påslag på 25% genomfört på den totala klimatpåverkan för B2. Enligt anvisning 4.5.

Indata B6

Indata baserad på:	Beräknade värden med 10% säkerhetsmarginal
--------------------	--

Energislag	Använda LCA-data	Källa
El - Svensk elmix	0,037 kg CO ₂ e/kWh	Boverket, Version 02.06.000 https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/
El - Nordisk elmix	0,090 kg CO ₂ e/kWh	Sandgren & Nilsson, 2021 https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1540012/FULLTEXT01.pdf
FJV - Svenskt medelvärde	0,056 kg CO ₂ e/kWh	Boverket, Version 02.06.000 https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/
FJV - Lokalt värde	0,056 kg CO ₂ e/kWh	Svenskt medelvärde enl. Boverket
FJK - Svenskt medelvärde	0,017 kg CO ₂ e/kWh	Byggföretagen, 2022 https://byggforetagen.se/app/uploads/2022/02/Byggforetagensklimatberakningsverktyg.xlsx

B6.1-B6.2

Byggnadens specifika energiprestanda		
Varav el	0,0	kWh/m ² Atemp, år
Varav FJV	10,8	kWh/m ² Atemp, år
Varav FJK	64,4	kWh/m ² Atemp, år
Varav FJK	0,0	kWh/m ² Atemp, år
Total energianvändning per år	0	kWh/år
Varav el	83 629	kWh/år
Varav FJV	500 134	kWh/år
Varav FJK	0	kWh/år
Total energianvändning för hela beräkningsperioden	0	kWh
Varav el	4 181 462	kWh
Varav FJV	25 006 706	kWh
Varav FJK	0	kWh

Egenproducerad el

Typ av elproduktion (tex. solceller etc.)	0
Årlig beräknad elproduktion [kWh/år]	0
Varav andel som används av byggnaden (byggnadsrelaterad energi) [kWh/år]	0
Varav andel som används av verksamheten (verksamhetsenergi) [kWh/år]	0
Redogörelse för hur matchning av egenproducerad energi och av byggnaden använd energi genomförts.	0

Egenproducerad värme

Typ av värmeproduktion (tex. solfångare etc.)	0
Årlig beräknad värmeproduktion [kWh/år]	0
Varav andel som används av byggnaden (byggnadsrelaterad energi) [kWh/år]	0
Redogörelse för hur matchning av egenproducerad energi och av byggnaden använd energi genomförts.	0

B6.3

Hushållens/verksamhetens elanvändning		
Elanvändning per m ² Atemp och år	14,7	kWh/m ² Atemp, år
Elanvändning per år	114 190	kWh/m ² , år
Elanvändning för hela beräkningsperioden	5 709 480	kWh/m ² Atemp, år

Indata B7

Vattenanvändning (m ³ /år)	9 116
Beräkning baserad på	Schablon från IVL
LCA-data	0,38 kg CO ₂ e/m ³

Publik information

Indata C1-C4

Mängd av respektive materialgrupp	Vikt hela byggnaden (kg)	Vikt hela byggnaden (ton)
Armering	142 142	142
Bindemedel, bruk, ballast	62 415	62
Byggblock	27 821	28
Byggskivor Trä	28 207	28
Fabriksbetong	5 375 173	5 375
Gipsskivor	204 032	204
Glas (övrigt)	649	1
Isolering - glasull	1 534	2
Isolering - cellplast	3 129	3
Isolering - stenull	33 035	33
Plastprodukter (övrigt)	2 995	3
Prefabbetong	10 505	11
Stål- och plåtprodukter	136 570	137
Träprodukter (ej byggskivor)	168 432	168
Solceller/solfångare	0	0
Övrigt*	976 502	977
Schablon invändiga ytskikt och rumskomplettering	Ingår i ovan mängder	Ingår i ovan mängder
Schablon Installationer	Ingår i ovan mängder	Ingår i ovan mängder
Totalt	7 173 140	7 173

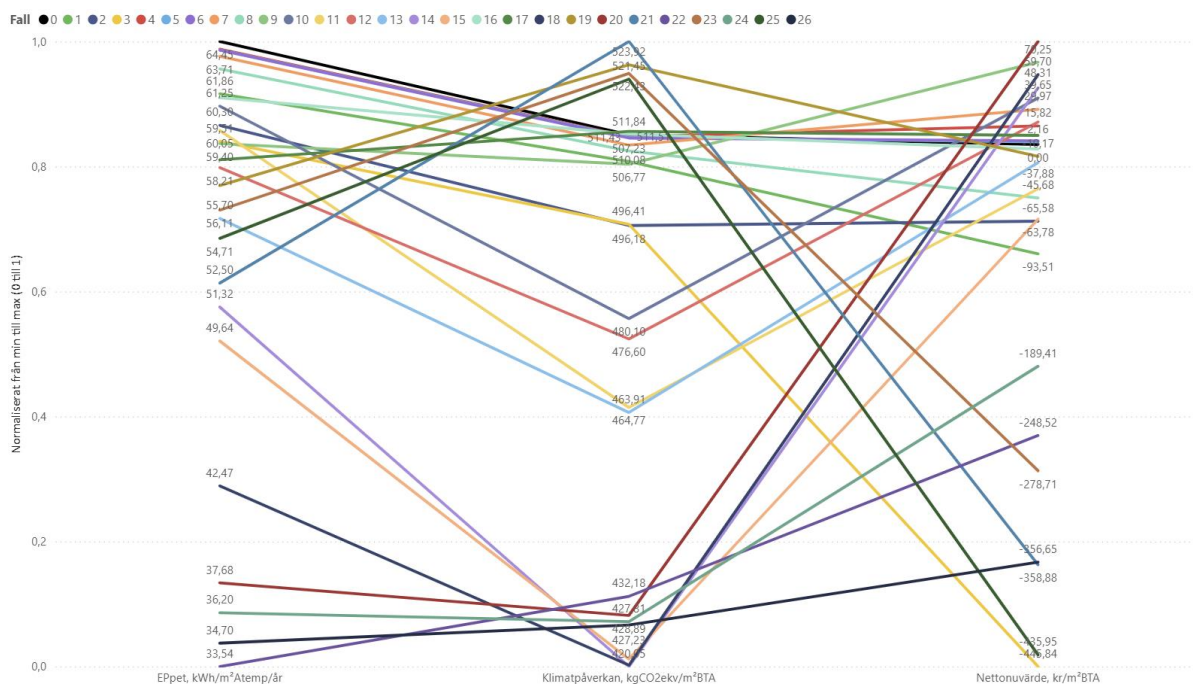
Beräkning av C1		Källa	
Ei, svensk elmix.	0,037 kg CO2e/kWh	Boverket, Version 02.06.000	https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/
Diesel, reduktionsplikt.	0,250 kg CO2e/kWh	Boverket, Version 02.06.000	https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/
Täckningsgrad för A-skedet	100%	Resultatet har räknats upp utifrån täckningsgrad på slutet	

Beräkning av C2		Källa	
Diesel, reduktionsplikt.	0,0695 kg CO2e/MJ	Boverket, Version 02.06.000	https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/
Distans lastbil	50 km		
Lastbil förbrukning	1,5 MJ/ton km		
Täckningsgrad för A-skedet	100%	Resultatet har räknats upp utifrån täckningsgrad på slutet	

Beräkning av C3-C4	
Mängd av respektive materialgrupp	Klimatdata (kg CO2e/kg)
Armering	0,002
Bindemedel, bruk, ballast	0,005
Byggblock	0,005
Byggskivor Trä	0,02
Fabriksbetong	0,006
Gipsskivor	0,00077
Glas (övrigt)	0,02
Isolering - glasull	0,005
Isolering - cellplast	0,02
Isolering - stenull	0,005
Plastprodukter (övrigt)	0,02
Prefabbetong	0,006
Stål- och plåtprodukter	0,002
Träprodukter (ej byggskivor)	0,02
Solceller/solfångare	0,5
Övrigt*	0,02
Schablon invändiga ytskikt och rumskomplettering	0,013
Schablon Installationer	0,007
Täckningsgrad för A-skedet	100%
Resultatet har räknats upp utifrån täckningsgrad på slutet	

Bilaga 3. Fördjupade resultat

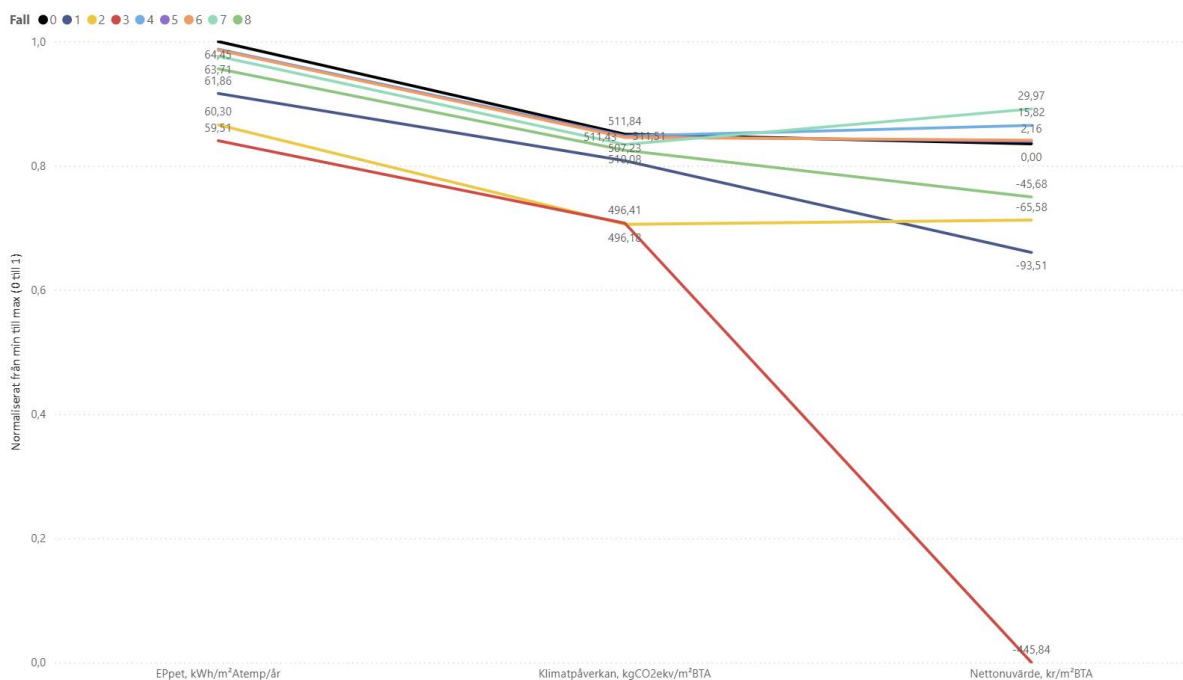
Sammanvägt resultat för samtliga åtgärder redovisas i *Figur 24*.



Figur 24. Resultat för energiprestanda, klimatpåverkan och nettonvärde för samtliga alternativ. Varje linje representerar ett av studerade alternativ som är numrerade från 0 till 26, där 0 motsvarar Grundfall. Se avsnitt Energieffektiviseringsåtgärder för beskrivning av alternativ. Det mest optimala resultatet är när primärenergital, EPpet, är lågt, klimatpåverkan är låg och nettonvärde är högt.

Publik information

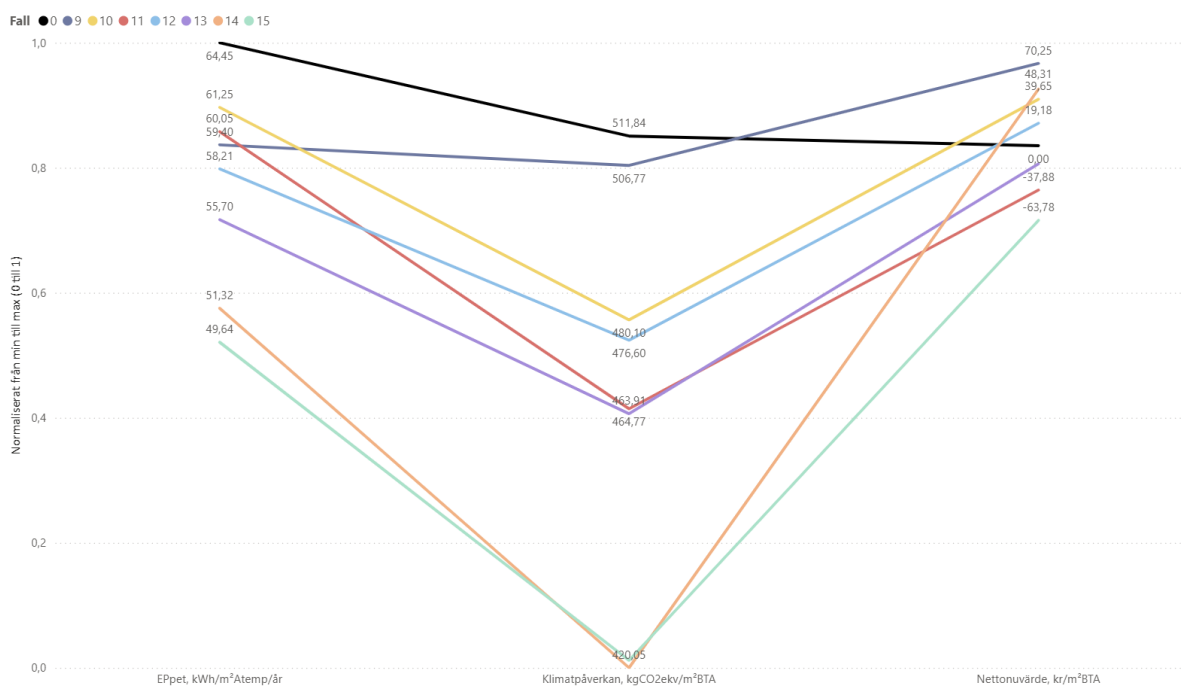
Klimatskalsåtgärder (alternativ 1-8).



Figur 25. Klimatskalsåtgärder (alternativ 1-8).

Åtgärd 4 och 7 – yttertaksisolering respektive fönster med U-värde 0,8 – genererar ett ökat nettonvärde för fastigheten. Dessa två åtgärder uppvisar dessutom en relativt likartad energiprestanda och klimatpåverkan. Ytterväggsåtgärderna 2 och 3 bidrar till en minskad klimatpåverkan över hela livscykeln, men resulterar i ett avsevärt negativt nettonvärde.

Installationstekniska åtgärder 9-15:

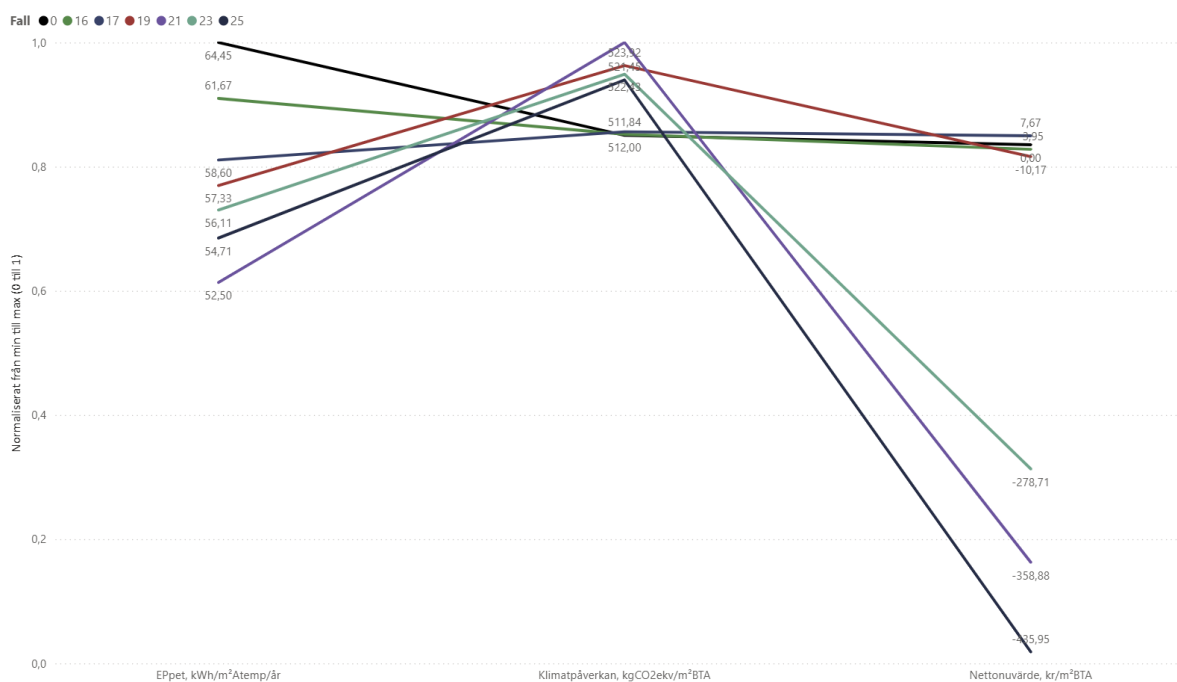


Figur 26. Installationstekniska åtgärder 9-15 i jämförelse med grundfall.

Publik information

Mer effektivt luftbehandlingsaggregat (alternativ 9) ger betydlig energibesparing, resulterar i en lägre klimatpåverkan och är dessutom mest lönsam bland dessa åtgärder. Åtgärder 14 och 15 (bergvärmepump mot VS och TVV med elpanna som spets) resulterar i den lägsta klimatpåverkan bland studerade åtgärder. Däremot endast åtgärd 14 är lönsam. Åtgärder 10 till 13 visar betydlig minskning i klimatpåverkan med nettonuvärde i närhet av det för grundfallet.

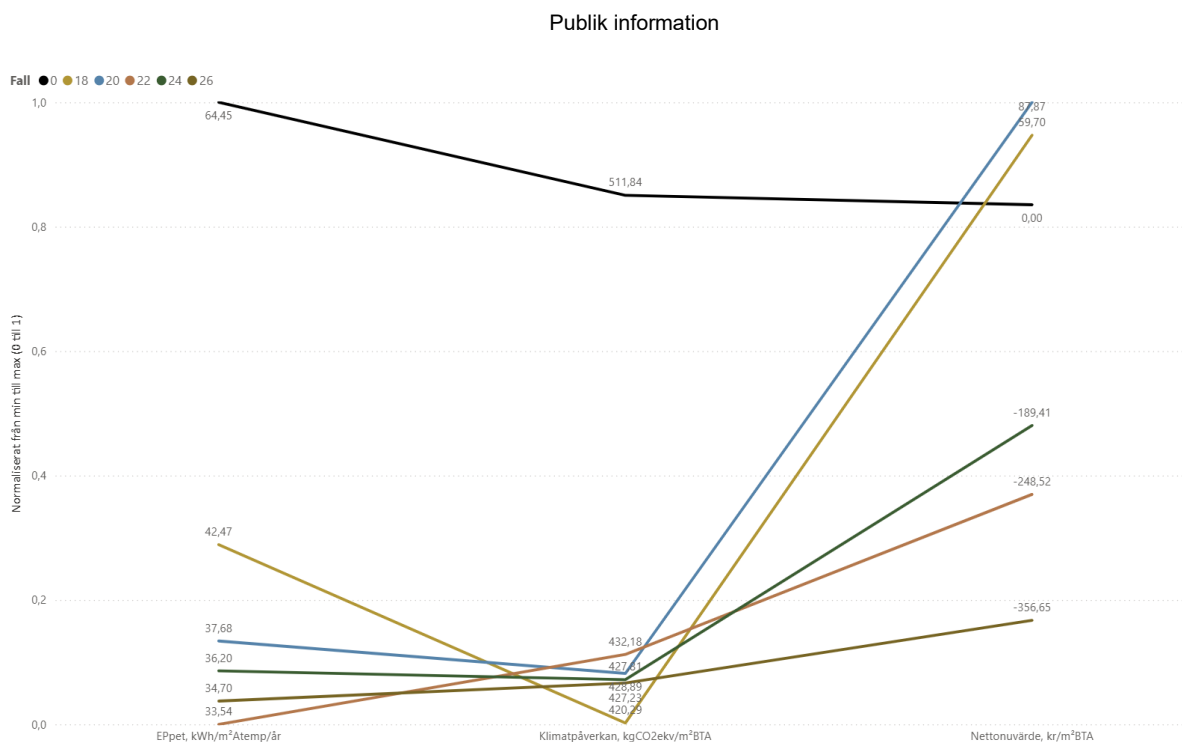
Åtgärder med endast solcellsanläggningar (alternativ 16, 17, 19, 21, 23, 25).



Figur 27. Åtgärder med endast solcellsanläggningar (alternativ 16, 17, 19, 21, 23, 25).

Åtgärder 16, 17 och 19 ger ett snarlikt nettonuvärde jämfört med grundfallet. Medan åtgärd 16 och 17 visar även nästan identisk klimatpåverkan, den är betydligt högre för alternativ 19. Detta pga batterilaggring och gäller även alternativ 21, 23, 25, som visar dessutom betydlig minskning av nettonuvärde för fastigheten.

Alternativ med kombination av bergvärmepumplösning och solcellsanläggning (alternativ 18, 20, 22, 24, 26).



Figur 28. Alternativ med kombination av bergvärmepumplösning och solcellsanläggning (alternativ 18, 20, 22, 24, 26).

Dessa alternativ resulterar i lägsta primärenergital och uppfyller eller nära att uppfylla Energiklass A. Resultat visar även den lägsta klimatpåverkan när dessa alternativ appliceras. Endast två, nämligen alternativ 18 och 20, dock visar en ökning i nettonvärde, övriga visar sig vara mycket olönsamma.

Bilaga 4. Kortfattad sammanfattning av resultat per åtgärd

Åtgärd	Kortfattat resultat
Baseline	
1 - YV U=0,17 stålreglar	Något lägre klimatpåverkan, negativt nettonuvärde
2 - YV U=0,17 träreglar	Minskad klimatpåverkan, negativt nettonuvärde
3 - YV U=0,14 träreglar	Mest olönsam, minskad klimatpåverkan
4 - YT U=0,07 600mm lösull	Något högre nettonuvärde
5 - Grund 200mm EPS	Nästan identisk med grundalternativet
6 - Källarvägg 200mm EPS	Nästan identisk med grundalternativet
7 - Fönster U=0,8	Ökat nettonuvärde
8 - Fönster U=0,7	Negativt nettonuvärde
9 - SFPv=1,27 eta=84,3%	Uppnår ej Energiklass B men ger näst störst lönsamhet
10 - LVVP mot VS	Uppnår ej Energiklass B men ger högre nettonuvärde. Minskad klimatpåverkan
11 - LVVP mot VS&TVV	Uppnår ej Energiklass B men ger högre nettonuvärde. Betydligt minskad klimatpåverkan
12 - Liten BVP mot VS	Uppnår ej Energiklass B men positiv nettonuvärde och minskad klimatpåverkan
13 - BVP mot VS	Uppnår Energiklass B men nära noll nettonuvärde. Betydligt minskad klimatpåverkan
14 - BVP mot VS&TVV + elpanna	Uppnår Energiklass B och är lönsam. Lägst klimatpåverkan
15 - Stor BVP mot VS&TVV + elpanna	Uppnår Energiklass B men är ej lönsam. Lägst klimatpåverkan
16 - Solceller liten	Likvärdig klimatpåverkan och nettonuvärde
17 - Solceller medel	Likvärdig klimatpåverkan och nettonuvärde
18 - BVP(14) + Solceller medel	Uppnår Energiklass B och är lönsam. Lägst klimatpåverkan
19 - Solceller max	Högre klimatpåverkan, nettonuvärde nära noll
20 - BVP(14) + Solceller max	Uppnår Energiklass B och är mest lönsam. Låg klimatpåverkan
21 - Solceller max + 1st batteri endast fastighet	Uppnår Energiklass B men är ej lönsam, ökad klimatpåverkan
22 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri endast fastighet	Uppnår Energiklass A men är ej lönsam. Låg klimatpåverkan
23 - Solceller max + 1st batteri	Uppnår Energiklass B men är ej lönsam, ökad klimatpåverkan
24 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri	Uppnår Energiklass A men är ej lönsam. Låg klimatpåverkan
25 - Solceller max + 2st batteri	Uppnår Energiklass B men är ej lönsam, ökad klimatpåverkan
26 - BVP(14) + Solceller max + 2st batteri	Uppnår Energiklass A men är ej lönsam. Låg klimatpåverkan

Bilaga 5. Högsta direktavkastningskrav för åtgärden att vara lönsam

Tabell 7. Högsta direktavkastningskrav för åtgärden att vara lönsam.

Baseline	Högsta direktavkastningskrav för åtgärden att vara lönsam
1 - YV U=0,17 stålreglar	2,5%
2 - YV U=0,17 träreglar	3,4%
3 - YV U=0,14 träreglar	1,3%
4 - YT U=0,07 600mm lösull	16,0%
5 - Grund 200mm EPS	5,8%
6 - Källarvägg 200mm EPS	5,9%
7 - Fönster U=0,8	25,9%
8 - Fönster U=0,7	2,8%
9 - SFPv=1,27 eta=84,3%	16,6%
10 - LVVP mot VS	8,9%
11 - LVVP mot VS&TVV	1,7%
12 - Liten BVP mot VS	5,7%
13 - BVP mot VS	4,7%
14 - BVP mot VS&TVV + elpanna	5,6%
15 - Stor BVP mot VS&TVV + elpanna	4,3%
16 - Solceller liten	4,4%
17 - Solceller medel	5,4%
18 - BVP(14) + Solceller medel	5,6%
19 - Solceller max	4,8%
20 - BVP(14) + Solceller max	5,7%
21 - Solceller max + 1st batteri endast fastighet	1,0%
22 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri endast fastighet	3,5%
23 - Solceller max + 1st batteri	1,9%
24 - BVP(14) + Solceller max + 1st batteri	3,9%
25 - Solceller max + 2st batteri	1,1%
26 - BVP(14) + Solceller max + 2st batteri	3,1%