



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



MERKOSTNADER VED ZEN

En case studie av Nidarvollutbyggingen i Trondheim

ZEN REPORT No. 59 – 2024



A.Gunnarshaug Lien, P. Christian Vågbø, T. Wigenstad, B. Jenssen, S. Backe | SINTEF, NTNU, Skanska



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES

ZEN Report No. 59

Anne Gunnarshaug Lien (SINTEF), Pål Christian Vågbø (SINTEF), Tore Wigenstad (Skanska), Bjørn Jenssen (Skanska), Stian Backe (SINTEF/NTNU)

Merkostnader ved ZEN—En case studie av Nidarvollutbyggingen i Trondheim

Nøkkelord: Nullutslippsområde, beregning av energibesparing, lønnsomhetsberegninger, grønne lån, kostnadsberegninger, spillteori.

ISBN 978-82-536-1837-1

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | www.ntnu.no
SINTEF Community | www.sintef.no

<https://fmezen.no>

Forord

Takksigelser

Denne rapporten er utarbeidet av Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN). Forfatterne setter pris på støtten fra Norges forskningsråd og ZEN-partnere, inkludert Oslo, Bergen, Trondheim, Bodø, Bærum, Elverum og Steinkjer kommune, Trøndelag fylke, Statsbygg, Norges vassdrags- og energidirektorat, Direktoratet for byggkvalitet, ByBo, Elverum Tomteselskap, TOBB, Snøhetta, Asplan Viak, Multiconsult, Civitas, FutureBuilt, Heidelberg Materials, Skanska, GK, NTE, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Fornybar Norge og Norsk Fjernvarme.

Denne rapporten er utarbeidet med bidrag til innhold, inkludert tekst og data, fra ZEN-partner Skanska. Spesiell takk til Skanska ved Tore Wigenstad, Bjørn Jenssen og Tor Helge Dokka. Takk også til Morten Marøy fra Trondheim Kommune for bidrag med informasjon til lønnsomhetsanalysen, samt til Jens Tønnesen for gjennomlesning og innspill.

Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN) bidrar til lavutslipps-samfunnet ved å utvikle løsninger for framtidige bygninger og områder med null utslipp av klimagasser.

På ZEN-senteret samarbeider forskere, kommuner, industri og statlige organisasjoner om å planlegge, utvikle og drifte områder med null klimagassutslipp. ZEN-senteret har ni pilotprosjekter fordelt over hele landet. Pilotprosjektene omfatter til sammen et areal på mer enn 1 million m² og mer enn 30 000 innbyggere.

ZEN-senteret har satt seg høye ambisjoner, og sammen med sine samarbeidspartnere skal senteret:

- utvikle verktøy for design og planlegging av nullutslippsområder på grunnlag av vitenskapsbasert kunnskap om klimagassutslipp
- skape nye forretningsmodeller, roller og tjenester som bidrar til fleksibilitet i markeder og fremmer utvikling av innovasjoner til bredere offentlig bruk, innbefattet studier av politiske virkemidler og markedsdesign
- skape kostnads-, ressurs- og energieffektive bygninger ved å utvikle lavkarbonteknologier og -konstruksjonssystemer på grunnlag av designstrategier for lang levetid
- utvikle teknologier og løsninger for design og drift av energifleksible områder
- utvikle beslutningsstøtteverktøy for optimalisering av lokale energisystemer og disses interaksjon med det overordnede energisystemet
- opprette og lede en rekke områdeskalerte levende laboratorier som skal fungere som innovasjonssentre og testområder for løsninger utviklet av ZEN-senteret. Pilotprosjektene er på Furuset i Oslo, Fornebu i Bærum, Sluppen og NTNUs campus i Trondheim, Mære landbruksskole i Steinkjer, Ydalir i Elverum, Campus Evenstad, Ny By-Ny Flyplass Bodø og Zero Village Bergen.

ZEN-senterets arbeid skal pågå i åtte år (2017-2024). Det har et budsjett på rundt 380 millioner kroner og er finansiert av Norges forskningsråd, forskningspartnerne NTNU og SINTEF samt av brukerpartnerne fra privat og offentlig sektor. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) er vertsinstusjon og leder senteret sammen med SINTEF.



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (side)

Sammendrag

Et nullutslippsområde, eller et Zero Emission Neighbourhood (ZEN), er et område med bygninger som i gjennomsnitt minimerer og kompenserer for alle klimagassutslipp fra bygging og drift. Bygningene er energieffektive og det produseres fornybar energi innenfor området til å dekke behovet for energi og for å kompensere for klimagassutslipp. I denne rapporten diskuteres kostnadene ved ZEN i forhold til kostnadene ved å bygge etter dagens krav til energistandard. Nidarvollutbyggingen er brukt som case. Nidarvoll rehabiliteringssenter, skole og idrettshall stod ferdig i 2024 og er en del av ZEN pilotområdet Sluppen i Trondheim. Behovet for levert energi og effekt som benyttes i rapportens vurderinger er beregnet behov ved forventet drift.

Økonomiske analyser indikerer at ZEN-delen av Nidarvollutbyggingen er lønnsomt over alle scenarier som er beskrevet gitt Enova-støtte.

Rapporten identifiserer at merkostnadene for ZEN er knyttet til: løsninger for lavt varmetap fra bygningene, produksjon av fornybar energi på eller ved bygningene, distribusjon av energi mellom bygningene, og økt behov for spesialkompetanse fra rådgivere.

Behov for levert energi og merkostnader for en valgt løsning for Nidarvollutbyggingen er sammenlignet med en referanse for utbyggingen på TEK17 nivå. For den valgte løsningen er behovet for elektrisitet redusert, og i tillegg kompenseres det reduserte behovet av solcelleproduksjon. Totalt er levert elektrisitet redusert med 50%¹ sammenlignet med TEK17 referansen. Levert fjernvarme er redusert i valgt løsning fordi deler av fjernvarmeleveransen er erstattet med lokal varmepumpe. Totalt er levert fjernvarmebehov redusert med 91% sammenlignet med TEK17 referansen.

Total merkostnad for hele området er estimert til ca. 5% av totale budsjetterte kostnader. De bygningsmessige tiltakene er mest kostnadskreven og utgjør 30% av merkostnadene. Varmepumper står for ca. 12%. Postene varme- og kjølesystem, automatikk og prosjektering står for ca. 10% hver. Solkraftanlegget utgjør 5%, men nok solkraft til å dekke hele el-behovet ville ført til at merkostnadene tilknyttet solkraft var betydelig høyere.

Det er gjennomført lønnsomhetsberegninger for Nidarvollutbyggingen i forhold til endringer i forutsetninger som energipricing, karbonpricing og grønne lån. De økonomiske analysene indikerer at ZEN-delen av Nidarvoll-casen opprettholder sin lønnsomhet over alle scenarier som er beskrevet, inkludert den mest konservative banen "NVE Lav". Dette tyder på at prosjektet er robust mot selv konservative markedsforhold.

Selv om behovet for levert energi er redusert med over 60% sammenlignet med TEK17 referanse, har det vist seg utfordrende å oppnå netto nullutslipp. Flere faktorer bidrar til dette, inkludert at bygningene brukes utover standardberegninger, en mer effektiv geotermisk varmepumpe er ikke mulig grunnet uegnede grunnforhold og pålagt bruk av fjernvarme øker behovet for levert energi. I tillegg er solcellearealet utilstrekkelig for å dekke hele elektrisitetsbehovet, spesielt for bygninger med mer enn 2-3 etasjer der tilgjengelig takplass er begrenset. Til tross for disse utfordringene har prosjektet oppnådd målet om 30% reduksjon i totale klimagassutslipp over levetiden.

¹ Netto levert elektrisitet er redusert med 51% dersom eksportert solcelleproduksjon medregnes.

English summary

A Zero Emission Neighborhood (ZEN) is an area with buildings that, on average, minimize and compensate for all greenhouse gas emissions from construction and operation. The buildings are energy efficient, and renewable energy within the area covers the need for energy and compensates for greenhouse gas emissions. In this report, the costs for ZEN are discussed in relation to the costs for building according to the current building code for energy use. The Nidarvoll development is used as a case. Nidarvoll rehabilitation center, school and sports hall were completed in 2024 and are part of the ZEN pilot area Sluppen in Trondheim, Norway. The numbers for delivered energy and power used in the report are estimated needs for expected operation.

The economic analyses indicate that the ZEN part of the Nidarvoll development maintains its profitability across all scenarios described with Enova support.

The report identifies that the extra costs for ZEN are linked to the following: solutions for low heat loss from the buildings, production of renewable energy on or nearby the buildings, distribution of energy between the buildings, and increased need for expertise engineering.

Need for delivered energy and additional costs for a chosen solution for the Nidarvoll development are compared with a reference for the development at TEK17 level (current Norwegian building code). For the chosen solution, the need for electricity is reduced, and the reduced need is compensated for with onsite renewable production from solar photovoltaic panels. In total, delivered electricity has been reduced by 50% compared to the TEK17 reference. The delivered district heating has been reduced by 91% compared to the TEK17 reference, as portions of the district heating supply have been replaced with a local heat pump.

Total additional cost for the entire area is estimated at approx. 5% of total budgeted costs. The building-related measures are the costliest and account for 30% of the additional costs. Heat pumps account for approx. 12%. The heating and cooling system, the automation, and the expertise engineering account for approx. 10% each. The solar panels constitute 5% but having enough solar power to meet the full electricity demand would have resulted in significantly higher associated costs.

Cost-benefit analysis for the Nidarvoll development considered changes in assumptions like energy pricing, carbon pricing, and green loans. The economic analysis indicates that the ZEN part of the Nidarvoll case maintains its profitability over all scenarios described, including the most conservative path "NVE Low". This suggests that the project is robust against even conservative market conditions.

Even though the external energy supply has been reduced by more than 60% compared to TEK17, achieving net zero emissions has proven to be challenging. Several factors contribute to this, including extended use of the buildings beyond standard calculations, and unsuitable ground conditions preventing the installation of a more efficient geothermal heat pump. Additionally, the solar panel area is insufficient to cover the entire electricity demand, especially for buildings with more than 2-3 floors, where available roof space is limited. Despite these challenges, the project has achieved the goal of 30% reduction in total greenhouse gas emissions over its lifespan.

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
English summary.....	5
1. Innledning.....	7
2. Refleksjoner fra forskere: Merkostnader og merverdi i ZEN.....	9
3. Case studie: Nidarvoll rehabiliteringssenter, skole og idrettshall.....	11
3.1. Bakgrunn og antakelser	11
3.2. Teknologibeskrivelse for rehabiliteringssenteret.....	11
3.3. Teknologibeskrivelse for skole og idrettshall.....	13
3.4. Teknisk beskrivelse av felles termisk og elektrisk energisentral.....	14
3.5. Beregning av spart levert energi.....	16
4. Kostnadsberegninger	19
4.1. Kostnadsestimat for Nidarvollutbyggingen.....	19
4.2. ZEN-mål for Nidarvoll case	20
5. Lønnsomhetsberegninger.....	22
5.1. Metode: Netto nåverdi (NPV).....	22
5.2. Pengestrømmer	22
5.3. Grønne lån	23
5.4. Elektrisitetsprisbaner	24
5.5. Elektrisitetsmiks og prisbaner for klimagassutslipp	25
5.6. Lønnsomhet av case Nidarvoll	26
5.7. Lønnsomhet av et teoretisk ZEN-scenario.....	28
5.8. Sensitivitetsanalyse.....	29
5.9. Faren for markedsfeil ved en rask grønn omstilling	30
6. Diskusjon og konkluderende betraktninger.....	33
Referanser.....	35

1. Innledning

Zero Emission Neighborhoods (ZEN) er et område med bygninger som i gjennomsnitt minimerer og kompenserer for alle klimagassutslipp fra bygging og drift (Wiik et al. 2022). Bygningene er energieffektive og det produseres fornybar energi innenfor området til å dekke behovet for energi og for å kompensere for klimagassutslipp.

For energisystemet i Europa er utbygging av lokal fornybar energi en lønnsom investering i overgangen til nullutslippssamfunnet. Ifølge en modell som regner på de minst kostbare investeringene i det Europeiske kraftsystemet mot 2050 (Backe et al. 2021), gjøres det vesentlige investeringer i lokal fornybar energi når vi nærmer oss 2050, blant annet i Tyskland, Frankrike, Storbritannia, og Nederland. Den Europeiske modellen (EMPIRE) viser at investeringer i lokal fornybar energi er mer lønnsomt i andre land enn i Norge, blant annet fordi modellen antar bedre solforhold i andre land, og særlig gunstige vindforhold i Norge utkonkurrerer alternativene.

I rapporten "Energisparepotensialet i bygg fram mot 2030 og 2050. Hva koster det å halvere energibruken i bygningsmassen?" (Sandberg et al. 2023) er nullutslipp og plussenergibygninger en viktig del av løsningen. Merkostnader for bygninger med null energibehov er beskrevet for FutureBuilt nivåene nær-nullenergi (NZEB) og Plusshus². Energisystem med solceller og varmepumper er sentralt for å oppå dette. Rapporten konkluderer med at et støttenivå på 30-35% er nødvendig for å oppnå en halvering av energibruken i bygningsmassen fram mot 2050.

Flere forskningsprosjekter ser på betydningen av nullenergi og nullutslipps naboerområder. Sustainable Energy Positive Neighbourhoods (SPEN) i forskningsprosjektet syn.ikia³ og Climate Positive Circular Communities (CPC) i forskningsprosjektet ARV⁴ er eksempler der samarbeid om energi innenfor et område er en bærende ide og lokal fornybar energi skal bygges ut med tanke på at området skal dekke mer enn sitt eget behov.

I denne rapporten diskuteres kostnadene ved ZEN i forhold til kostnadene ved å bygge etter dagens krav til energistandard. Merkostnadene for ZEN omhandler løsninger for redusert varmetap fra bygningene, produksjon av fornybar energi på eller ved bygningene og distribusjon av energi mellom dem.

Behov for spesialkompetanse fra rådgivere for å oppnå energi- og miljømål utover dagens krav utgjør også en merkostnad. Det er viktig å påpeke at det kreves betydelig tid, kompetanse og engasjement fra entreprenøren for å få de ulike tekniske systemene og installasjonene til å harmonisere. Dette arbeidet kan ta flere år i prosjekter av denne typen.

Økonomisk lønnsomhet evalueres basert på besparelser i energiforbruk, hvor vi ser på effekten av og sensitiviteten til ulike prisutviklinger for strøm, oppvarming og klimagassutslipp. Dette inkluderer en analyse av lønnsomhet ved endring i tilgangen til subsidier og fordelene ved grønne lån. I tillegg undersøker vi prosjektets finansielle levedyktighet ved å vurdere effekten av simultane endringer i alle nevnte variabler.

² <https://www.futurebuilt.no/FutureBuilt-kvalitetskriterier>

³ <https://www.synikia.eu/>

⁴ <https://greendeal-arv.eu/>

Rapporten presenteres på følgende måte: Kapittel 2 presenterer refleksjoner fra forskerne i FME ZEN rundt hvilke kostnadselementer som kan forventes å bli rimeligere eller dyrere for et nullutslippsområde. Kapittel 3 presenterer konsepter for Nidarvoll-prosjektet med ambisjon om å oppnå ZEN, og Kapittel 4 presenterer merkostnader fra Nidarvoll-prosjektet og en diskusjon om hvorfor ikke prosjektet når full utslippskompensasjon. Kapittel 4 presenterer lønnsomhetsberegninger basert på kostnadsestimatene fra Nidarvoll-prosjektet, før konkluderende betraktninger presenteres i Kapittel 5.

2. Refleksjoner fra forskere: Merkostnader og merverdi i ZEN

Forskere og partnere i forskningssenteret ZEN (2016 – 2024) har i programperioden utviklet, beregnet og analysert en rekke problemstillinger og løsninger for å oppnå ZEN. Som innledning til denne vurderingen av kostnader og lønnsomhet for nullutslippsområder ble en workshop gjennomført med deltagere fra forskere i ZEN og fra ZEN partneren Skanska. Deltagernes synspunkt er oppsummert i dette kapitlet.

Deltagerne ser ZEN som en viktig og nødvendig del av det grønne skiftet og forutsetter at en betydelig del av bygningsmassen innen 2050 vil være på ZEN nivå. Implementering av nødvendige incentivordninger vil få stor betydning i tiden framover og vil gi økt lønnsomhet og etterspørsel for bygninger i nullutslippsområder.

En bygning som har høyere energi- og klimaambisjoner enn forskriftskravene vil gjerne koste mer å bygge, men lønnsomheten kan likevel være god fordi bygningen bruker mindre energi og bruker energien mer effektivt. Deltagerne på workshopen mener at for store bygg eller bygg som er i fronten av utviklingen mot ZEN vil spesialkompetanse bli etterspurt. Denne kompetansen vil i starten være tidkrevende og koste mer. Med økende etterspørsel vil kompetansebehovet bli større for både arkitekter, rådgivere og håndverkere.

Arkitekter og rådgivere som designer og prosjekterer smarte og gode ZEN løsninger vil få et større marked, men merkostnaden for planlegging vil trolig synke når kompetansen blir mer utbredt. En sannsynlig effekt som vil redusere planleggingskostnadene er at markedsaktørene vil utdanne egne spesialister og at standard rådgivertjenester overtas av produsentene.

ZEN-prosjektene har foreløpig høyere kostnader enn løsninger ihht teknisk forskrift. Dersom billige løsninger for bygninger med høyere energibehov ikke blir etterspurt i samme grad fremover, så vil dette føre til at prisforskjellen mellom ZEN og konvensjonelle løsninger etter hvert vil reduseres. Teknologitvilling kan komme til å motvirke økte priser, som for eksempel mer resirkulering og enklere monteringsløsninger for solceller. Realprisen for isolasjon og andre byggematerialer vil trolig øke, men dette kan imidlertid bli en positiv driver for sirkulærøkonomi og nye lavutslippsmaterialer. Kostnader ved lokal strømproduksjon kan øke fordi etterspørselsdrevet volumøkning kan føre til økte priser, alt annet holdt fast. For eksempel kan montasje, vedlikehold og utskifting av solceller bli dyrt hvis løsningene blir kompliserte og utdanningssystemet vårt henger etter. Deltagerne på workshopen mener at framtidige ZEN prosjekter i økende grad må standardiseres for å redusere kostnadene.

Strømnettet i Norge skal utvides kraftig de neste årene fordi vi elektrifiserer transport og industri samt etablerer ny kraftkrevende industri og trekker kabler til sokkelen. Dette er det enighet om hos både NVE (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023) og Statnett (Statnett 2023). Som reaksjon på dette, samt høyere driftskostnader hos nettselskapene på grunn av høyere tapskostnader⁵, gikk inntektsrammene til nettselskapene opp i 2022, noe som betyr at nettleien kan økes for forbrukere og produsenter og gi høyere pris per kWh for samme betalere. Nye nettforbrukere innen transport og industri vil også bli med

⁵ Tapskostnader refererer til kostnadene som nettselskapene må betale for strømmen som går tapt på veien fra produsent til forbruker. Nettselskapene betaler samme pris på strømmen som strømselskapene, og nettselskapene får derfor høyere tapskostnader når strømprisen går opp.

å betale for nettutbyggingen og på lengre sikt vil nettleien trolig ikke bli høyere for bygg. Utbygging av ZEN kan redusere behovet for nettinvesteringer. Hvis ZEN kan neddimensjonere topplast som følge av fordeling av laster til elbillading og oppvarming mellom bygg, kan det gi en forsinkelse i behovet for utbygging av nettet (Kauko et al. 2023).

Karbonprising kan føre til at alt som gir utslipp blir dyrere, det vil øke lønnsomheten for ZEN. Kostnader for varmepumper og solceller vil gå moderat nedover. Batterilagring vil bli billigere og kan bli en del av ZEN løsningen.

Deltagerne på workshopen mener at det på kort sikt vil være behov for tilskudd til banebrytende prosjekter. Etter hvert vil det være behov for insentiver for å få større skala. På lengre sikt vil ZEN løsninger være lønnsomt.

3. Case studie: Nidarvoll rehabiliteringssenter, skole og idrettshall

3.1. Bakgrunn og antakelser

Nidarvoll ligger sentralt i bydelen Sluppen i Trondheim, på grensen mellom eksisterende boligområder og byutviklingsområder på Sluppen. Sluppen er definert som et av flere pilotområder i forskningssenteret FME ZEN. Området grenser både til eksisterende næringsbygg og forretninger. Området består i dag av et bredt tilbud av offentlige tjenester som skoler, helsehus, barnehager og idrett. Nidarvoll skal utvikles til et offentlig tjenesteområde for oppvekst, helse- og velferd, idrett og kulturformål (Trondheim Kommune 2019).

Utbyggingen på Nidarvoll brukes som en casestudie for vurdering av kostnadene ved bygging av et ZEN område som omfatter Nidarvoll rehabiliteringssenter, skole og idrettshall. Byggherre er Trondheim kommune. Skanska har vært entreprenør for prosjektering og utføring. Skanska har også utarbeidet grunnlaget for en søknad om støtte fra Enova fra program for introduksjon av ny teknologi i bygg og områder. Støtten skulle dekke deler av merkostnadene ved å bygge på ZEN nivå i forhold til dagens krav til energistandard. Et mål med Enovas støtteprogram er at kostnadene ved ny teknologi over tid skal reduseres når et nytt marked er etablert. Søknaden til Enova var et viktig grunnlag for Trondheim kommune i beslutningen om å bygge Nidarvoll området på ZEN nivå.



Figur 1 Illustrasjon av Nidarvoll rehabiliteringssenter.

Rehabiliteringssenteret (Figur 1) ble ferdigstilt i 2023 og Nidarvoll skole og idrettshall blir ferdigstilt tidlig i 2024.

Nidarvoll utbyggingen omfatter i tillegg til ny skole, ny idrettshall, og nytt rehabiliteringssenter et nytt nærvarmeanlegg for området. Totalt oppvarmet BRA for prosjektet er 23 667 m².

3.2. Teknologibeskrivelse for rehabiliteringssenteret

For rehabiliteringssenteret var målet å oppnå FutureBuilt plussnivå (FutureBuilt 2023) for energibehov. Det omfatter en rekke tiltak som hver for seg og samlet er nødvendig for å oppnå det

ønskede resultat. Planleggingen av optimale løsninger som gir lavest mulig energibehov og best kostnadseffektivitet krever høy kompetanse. Noen av tiltakene vil være kostnadskrevenende og lite lønnsomme og noen tiltak vil ha relativt lav kostnad og god lønnsomhet. For å oppnå høye energimål er tiltakene samlet sett nødvendig. Ifølge søknaden til Enova er følgende tiltak planlagt for rehabiliteringssenteret:

Isolasjon og lufttetthet – For å oppnå så lave varmetap som mulig gjennom bygningskroppen er isolasjonsstandarden hevet til passivhusnivå som minimum. Kravet til lekkasjetall er satt til 0,20 oms/h, som innebærer ytterligere skjærping i forhold til passivhusnivået.

Ventilasjonssystem – Ventilasjonssystemet vil ha høy grad av varmegjenvinning og skal nesten ikke bruke energi til vifter. Den gjennomsnittlige SFP-faktoren for bygget forventes å ligge på rundt 0,3-0,5 kW/m³/h i praktisk drift. For å få til dette, planlegges det for mekanisk ventilasjon med høyeffektiv gjenvinning og ekstremt lave trykkfall i vinterhalvåret, og med naturlig- og hybrid ventilasjon i sommerhalvåret. I overgangsperiodene vil naturlig og hybrid ventilasjon fungere som avlastning for den mekaniske ventilasjonen, slik at aggregatviftene kan gå på lavere hastighet, dette gjelder spesielt for avtrekksviftene.

Romoppvarming - Oppvarmingsbehovet dekkes via en kombinasjon av ventilasjonsoppvarming og vannbåren gulvvarme, supplert med elektriske panelovner på pasientrom. Elektriske varmekabler er brukt i bad. Både lavt energibehov, høy varmekomfort og kostnadseffektivitet er optimalisert i denne løsningen.

Oppvarming av tappevann – Dekkes fra egen varmepumpe i varmesentralen. Potensialet for å spare energi er å redusere varmetap fra distribusjonssystemet ved å redusere sirkulasjonen.

Belysning – For å spare energi fra belysning vil flere tiltak bli gjennomført. Dagslyset vil bli utnyttet best mulig; all belysning vil være energieffektiv; styring planlegges for optimal bruk av belysning og med lavt standby-forbruk; og i tillegg er ulike lokale behov utgangspunkt for belysningsplanen.

Solavskjerming - Skjerming av innstråling fra sola gjennom vinduene bidrar til å hindre blinding og at solvarmen blir et komfortproblem. Viktige mål for prosjektet var også å bruke solavskjerming bare når det er nødvendig for å gi brukerne best mulig utsyn, dagslystilgang og mulighet for lufting ved å åpne vinduene.

Energibruk til utstyr – For å holde forbruket lavt for elektrisk utstyr vil tekniske installasjoner begrenses til det som er nødvendig, og energibehovet vil være et viktig premiss ved valg av komponenter.

Utnyttelse av fornybar elektrisk energi – I søknaden til Enova er det beskrevet følgende: "*Bygget var designet for å kunne bli et plussenergibygg i henhold til FutureBuilt sin definisjon (FutureBuilt 2023). Dette gjør at takene må utformes for maksimal utnyttelse av solenergi. Dette innebærer at det må utformes med god solorientering, og samtidig på en måte som gjør at det kan tekkes nær 100 % med bygningsintegrerte solceller. Erfaring fra flere tilsvarende pilotprosjekter viser at dette er vanskelig å få til i praksis for større bygg med en viss kompleksitet. Utfordringen er at dette må kombineres med*

andre hensyn som tekniske installasjoner på tak, kostnader sammenlignet med tradisjonelle takløsninger, høydeproblematikk ved bruk av skråtak, skyggevirksomheter som påvirker utemiljø og dagslysforhold i bygget eller andre bygg i nærheten." Prosjektet valgte imidlertid en relativt tradisjonell takløsning som førte til totalt solcelleareal på 878 m². Merk at takløsningen har noen grad av vinkling for å optimalisere solcelleareal.

Utnyttelse av fornybar termisk energi – Med utgangspunkt i konseptutredningen, ble det utviklet en innovativ løsning som kombinerer et termisk batteri av betydelig størrelse med fjernvarme, høyeffektiv luft-vann varmepumpe og intern tappevannsvarmepumpe. Systemet gir svært god virkningsgrad for varmepumpedrift, og gjennom bruk av det termiske batteriet kan fjernvarme fra returledningen hentes ut når det er ledig kapasitet, med konstant lav effekt (peak shaving). I tillegg kan det termiske batteriet stå for kjøling av ventilasjonsluft utenom oppvarmingsperioden. Når det termiske batteriet skal brukes til kjøling, forutsettes det at den interne tappevannsvarmepumpa da henter varme fra dette batteriet slik at det kjøles ned. Det vil i så fall ta en viss tid å skifte mellom kjøle- og varmemodus.

3.3. Teknologibeskrivelse for skole og idrettshall

Målet for Nidarvoll skole og idrettshall var utførelse på passivhusnivå. Det betyr i hovedsak mindre varmetap og derved mindre energibehov til romoppvarming.

Varme og ventilasjon - Varmeanlegget for skolen og idrettshallen er basert på lavtemperatur nærvarme fra felles hovedsentral. Tilførsel på romnivå, er hovedsakelig basert på gulvvarme, komplett med radiatorvarme. Ventilasjonssystemet er oppdelt etter funksjon og bruksareal. Det er for en stor del basert på behovsstyring for å ivareta endringer i belastninger. Det er noe frikjøling via "nattdrift" av ventilasjonsanlegget, men det er ikke installert aktiv komfortkjøling utover dette.

Internlaster – Internlaster er modellert etter belastningsprofiler ihht. N-SPEK 3031, hvor særlig effektbehov til belysning er redusert.

Varmt forbruksvann – Forsynes i sin helhet fra fjernvarme.

Fornybar termisk energi - Termisk energi til romoppvarming og ventilasjon er forsynt fra felles nærvarmeanlegget (Teknisk hovedsentral) hvor en luft-vann basert varmepumpe er installert.

Solceller - Det er installert 846 m² solceller som er plassert på sørvendt tak på skolebygget.



Figur 2 Illustrasjon av solcelletaket på Nidarvoll skole

3.4. Teknisk beskrivelse av felles termisk og elektrisk energisentral

En bærende ide for ZEN er utveksling av energi mellom bygg i et nabo område for å utnytte lokalt produsert energi optimalt og for å redusere belastningen på det nasjonale nettet.

Et sentralt element for Nidarvollutbyggingen er utviklingen av en felles løsning for energisentral, som gir betydelige synergieffekter særlig når det gjelder elektrisk energi. Energisentralen er lokalisert i en egen kjelleretasje i den østlige blokken av rehabiliteringssenteret.

Termisk energi forsyning

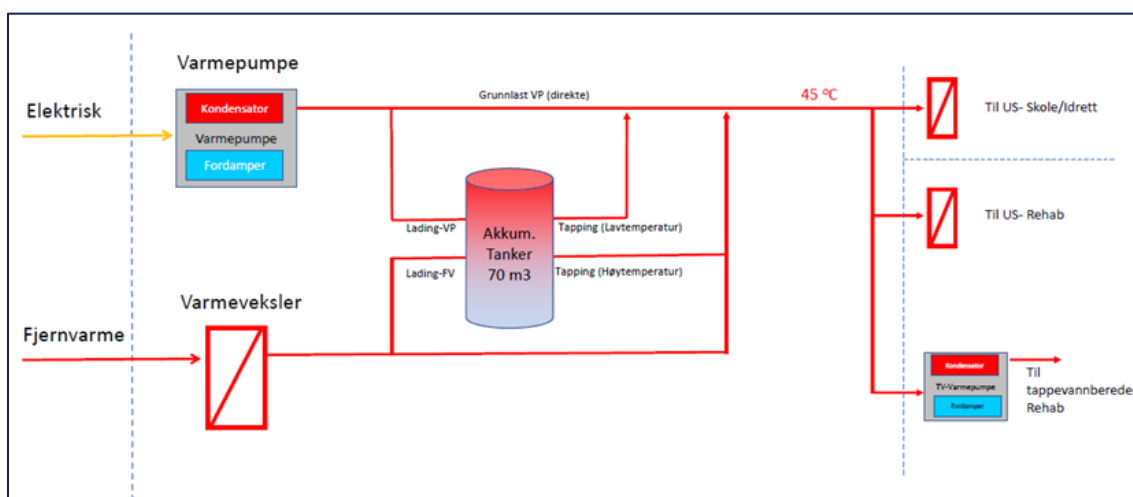
Figur 3 viser skisse av den termiske energiforsyningen. Hovedkilden til produksjon av varmeenergi, er en høyeffektiv uteluftsvarmepumpe, designet for svært høy COP og drift ned mot rundt -15 C . Grunnforholdene på stedet er ikke egnet for en mer effektiv grunnvarmepumpe. Som sikkerhet/spisslastdekning er det valgt fjernvarme på tradisjonelt vis.

En viktig presisering er at det vanligvis ikke tillates bruk av fjernvarme som spisslast på denne måten. I dette prosjektet gjøres et unntak av forskningsmessige hensyn, samt en avtale om at all tappevannsoppvarming til skole- og idrettsbygget dekkes av fjernvarme og at det er mulig å kjøre den termiske energiforsyningen med fjernvarme som lader det termiske lageret utenom tidspunktene for maksbelastningen i fjernvarmenettet. Dette muliggjør sammenligning av varmepumpe med termisk lager og tappevannsoppvarming og fjernvarme med termisk lager og tappevannsoppvarming.

Et viktig element i den sentrale termiske energiforsyningen er installasjon av et termisk batteri. Kapasiteten til dette er dimensjonert til å dekke samlet varmebehov opp mot 12 timer uten ekstern forsyning. Vannvolum er 70 000 liter. Måten det termiske batteriet er integrert i systemet på, er nøkkelen til den høye ytelsen systemet er forventet å få. Det vil utnyttes til å øke andelen varme som hentes fra

uteluften via varmepumpen. Dette ved å lade batteriet med varmepumpe når varmeuttaket på byggene er lavt og utetemperaturer er høyest på døgnet, slik at batteriet kan levere eller supplere den lagrede varmen når varmebehovet øker og utetemperaturer faller. Avhengigheten av fjernvarme reduseres gjennom dette tiltaket. Ellers vil det termiske batteriet også kunne brukes for å optimalisere andre målsetninger. Blant annet vil termisk batteri kunne redusere belastningen på omkringliggende energisystem, både termisk og elektrisk, for eksempel ved å spre strømbroken til varmepumpen over flere timer.

Lading av varme via overskuddsenergi fra varmepumpen er altså primærvalget. Imidlertid er det bygget inn en løsning som tillater lading fra det sentrale fjernvarmenettet. Enten fra returledning eller turside. Optimaliseringsprosessen vil etter dette styres basert på lading av tank i lavlastperioder (natt), for uttak av lagret energi i høylastperioder. Foreløpig er det knyttet noe usikkerhet rundt praktisk implementering av optimaliseringsprosessene.

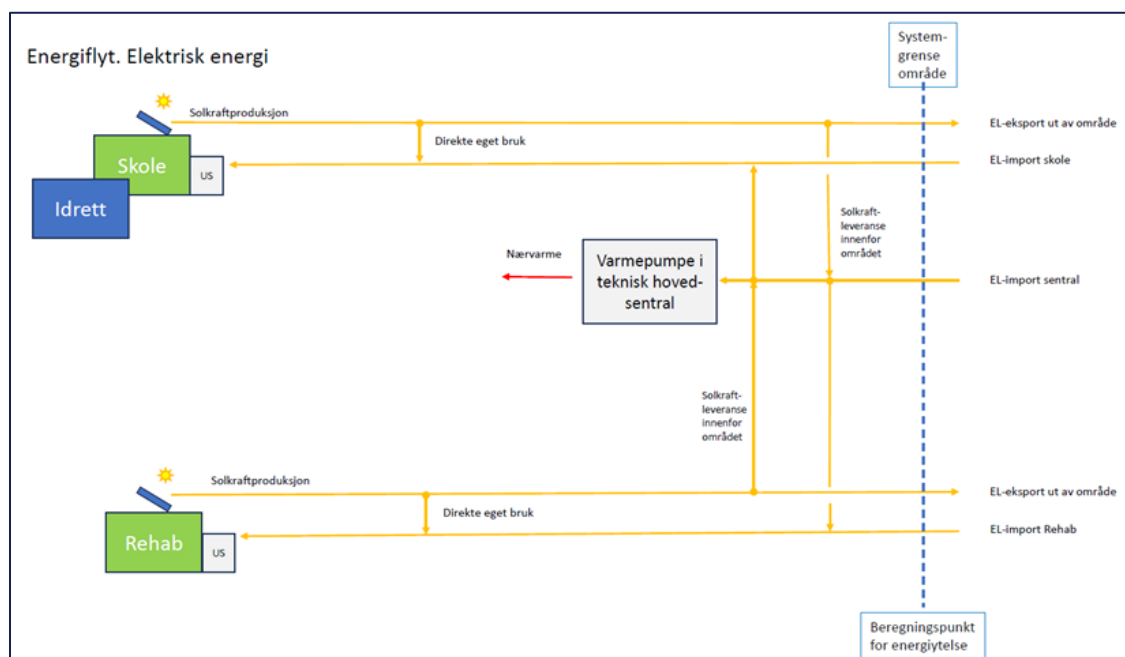


Figur 3 Termisk energiforsyning med termisk batteri

Elektrisk energiforsyning

Prinsippet for den elektriske energiflyten er vist i Figur 4. Skolen og rehabiliteringssenteret er begge forsynt med solkraftproduksjon. Primært ønskes denne benyttet på egne bygg når det er behov. Ved overproduksjon på ett eller begge byggene kan elektrisk energi teknisk sett flyte mellom resterende steder (Skole-Rehabsenter-Teknisk sentral) som eventuelt har behov⁶. Dette behovet kan også manipuleres ved (særlig) termisk lagring via drift av varmepumpe i teknisk hovedsentral som beskrevet over. Systemet er også tilrettelagt for å benytte solkraftoverskudd sommerstid, til produksjon av tappevann via egen lokal varmepumpe (rehabiliteringssenteret).

⁶ Deling av økonomiske fordeler tilknyttet overproduksjon er per 1.oktober 2023 kun tillatt innenfor samme eiendom (NVE).



Figur 4 Prinsipp for elektrisk energiflyt. Merk at det er tilrettelagt for strømoverføring mellom bygningene, men for øyeblikket er dette ikke tillatt uten spesifikk dispensasjon.

3.5. Beregning av spart levert energi

I dette avsnittet beregner vi hvor mye mindre energi som må leveres til Nidarvoll fra omkringliggende energisystem.

Referanseløsning

Energireferanse på områdenivå tar utgangspunkt i at byggene bygges ihht TEK 17, med fjernvarme som termisk energiforsyning. Energiflyten i referansen betyr dermed at all strøm leveres fra nettet og all varme leveres via fjernvarme. På bakgrunn av nøkkeltall (TEK 17), gir dette følgende energiregnskap for levert energi til referanseområde som vist i Tabell 1:

Tabell 1 Estimert energiregnskap for levert energi til TEK17 referanseområde for Nidarvoll.

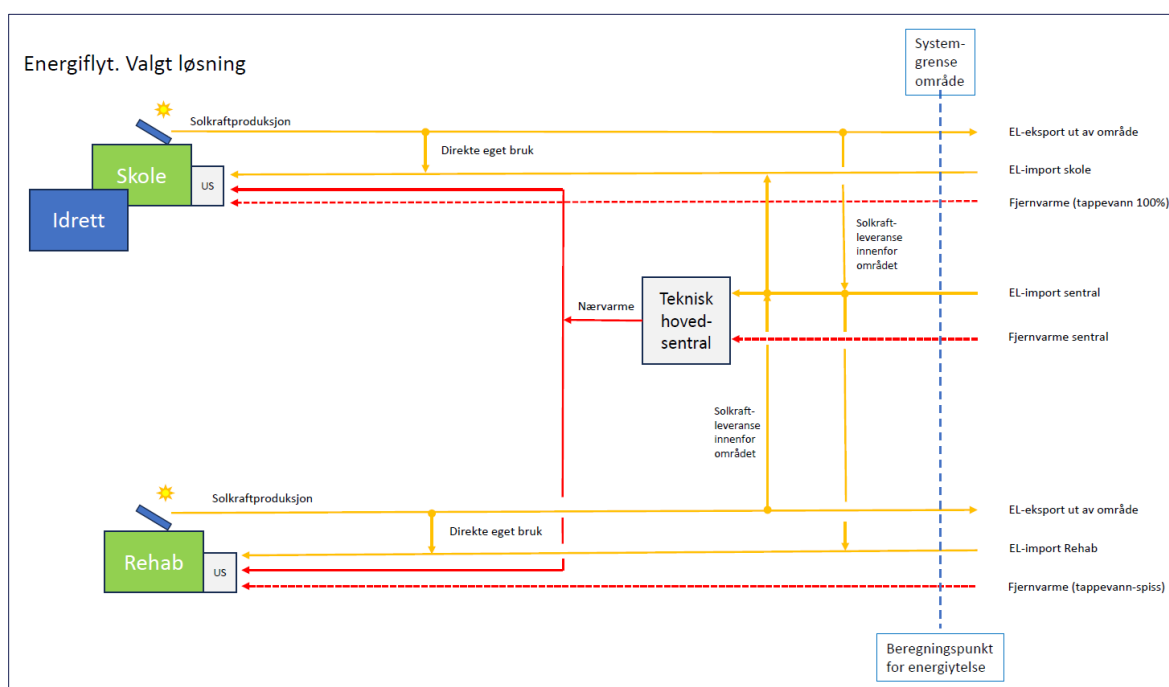
TEK 17 (Referanse)	Levert energi til HS/US [kWh/år]			
	Energibærer	Skole/Idrett 14 733 m ² (BRA)	Rehabsenteret 8 944 m ² (BRA)	∑ Område 23 677 m ² (BRA)
Termisk kjøpt	FV	840 170	660 347	1 500 518
Elektrisk kjøpt	EL	809 976	1 048 237	1 858 213
SUM	MIX	1 650 146	1 708 584	3 358 730

Valgt løsning

I tillegg til en energieffektiv bygningskropp med tekniske installasjoner tilsvarende passivhusnivå, var mye av energiambisjonen basert på ønske om utveksling av energi mellom hhv. Skole/Idrett – Rehabsenteret – Teknisk hovedsentral. Løsningen er illustrert i Figur 5.

På termisk side fant prosjektet små muligheter/rasjonalitet for utveksling av energi. Grunnet stedlige forhold ble en uteluftbasert varmepumpe valgt som hovedforsyning av termisk energi, og dermed blir det ingen utveksling av energi mot et eventuelt/foretrukket termisk geolager. Internt i Rehabsenteret foregår det imidlertid i sommerhalvåret en utveksling mellom produsert varmt forbruksvann og samtidig kjøleenergi til bruk i isvannkrets i kjølebatteri, ventilasjon. Samme løsning kunne blitt valgt i Skole-/Idrett, men her ble det valgt direkte fjernvarme til produksjon av alt varmt tappevann etter dialog med fjernvarmeleverandør. Forsyning av tappevann med fjernvarme var et viktig valg fra fjernvarmeleverandørens perspektiv for å forsvare investeringer tilknyttet infrastruktur for fjernvarme i området.

På elektrisk side, ligger forholdene teknisk sett bedre til rette for energiutveksling. Figur 5 viser solkraftproduksjon på begge byggene, hvor denne utnyttes direkte i respektive bygg dersom det er samtidig behov. Overskudd ønskes primært å benyttes internt innenfor området, og det er tilrettelagt for det. Ved eventuelt samtidig overskudd på områdenivå, går dette til eksport ut av området.



Figur 5 Prinsipp for energiflyt (termisk i rødt og elektrisk i gult) for Nidarvollutbyggingen. Merk at det er tilrettelagt for strømoverføring mellom bygningene, men for øyeblikket er dette ikke tillatt uten spesifikk dispensasjon.

Tabell 2 viser energiregnskap for levert energi til området for valgt løsning. Den største energiposten er levert elektrisitet fra nettet til varmepumpe (VP) og direkte bruk. For den valgte løsningen er behovet for elektrisitet redusert, og i tillegg kompenseres det reduserte behovet av solcelleproduksjon. Totalt er levert elektrisitet redusert med 50%⁷ sammenlignet med TEK17 referansen (Tabell 1).

Levert fjernvarme er også redusert i valgt løsning (Tabell 2). Dette er fordi deler av fjernvarmeleveransen er erstattet med lokal varmepumpe. Totalt er levert fjernvarmebehov redusert med 91% sammenlignet med TEK17 referansen (Tabell 1).

⁷ Netto levert elektrisitet er redusert med 51% dersom eksportert solcelleproduksjon medregnes.

Tabell 2 Estimert energiregnskap for levert energi til valgt løsning for Nidarvoll.

Valgt løsning	Levert energi til HS/US [kWh/år]			
	Energibærer	Skole/Idrett 14 733 m ² (BRA)	Rehabsenteret 8 944 m ² (BRA)	∑ Område 23 677 m ² (BRA)
Leveret El til varmpumpe (Hovedsentral)	EL	153 578	103 100	256 677
Leveret FV (Hovedsentral)	FV	12 117	8 134	20 251
Leveret EL til oppvarming (US)	EL	-	24 182	24 182
Leveret El til varmpumpe, tappevann (US)	EL	-	40 525	40 525
Leveret FV, tappevann (US)	FV	55 624	65 787	121 411
Leveret El, direkte (US)	EL	429 420	456 144	885 564
Produsert solkraft, direkte eget bruk	EL	-96 000	-125 000	-221 000
Produsert solkraft, overskudd tilført området/ eksportert	EL	-21 000	-5 100	-26 100
SUM	MIX	533 739	567 772	1 101 510

4. Kostnadsberegninger

4.1. Kostnadsestimat for Nidarvollutbyggingen

Kostnad- og lønnsomhetsvurderingene i denne rapporten er gjort i en fase hvor de endelige resultatene ikke var helt klare. Tallgrunnlaget for spart og produsert energi og kostnader for tiltakene er gitt av Skanska og Trondheim Eiendom. Tall fra Skanska er delvis fra tidlig planleggingsfase da søknaden til Enova ble utformet, og delvis fra prosjekteringsfasen. Tall fra Trondheim Eiendom er fra byggefasen.

De endelige kostnader for et byggeprosjekt blir i mange tilfeller høyere enn planlagt i tidlig fase. Det kan være mange grunner til at dette skjer og det kan føre til at de bygningsmessige løsningene og tekniske anlegg endres i løpet av prosjekteringsfasen, blant annet for å redusere kostnader. Det kan videre føre til at mål som var besluttet i tidlig fase blir justert i løpet av prosessen. Dette gjelder også for Nidarvollutbyggingen der ZEN målet ikke er oppnådd fullt ut. Målet om 30% redusert klimagassutslipp fra material- og energibruk over byggets livsløp i forhold til referansen er oppnådd.

Det ble søkt om støtte fra Enova til planlagte innovative løsninger i prosjektet. Total merkostnad var beregnet til 45 MNOK, det ble søkt og innvilget 40% støtte av merkostnadene (18 MNOK). Oppdaterte kostnadsberegninger fra Skanska viser at merkostnadene blir 53 MNOK og at støtten dermed vil dekke 32% av merkostnadene. Tabell 3 oppsummerer kostnadsestimatet for Nidarvoll. Total merkostnad for hele området er estimert til ca. 5% av totale kostnader.

Tabell 3 Totalt kostnadsestimat for referanse og valgt løsning for Nidarvollutbyggingen

Kostnadsestimat	Tall for bygningskropp og tekniske anlegg samlet (Huskostnad. Inkl.prosjektering)		
	Skole/Idrett 14 733 m ² (BRA)	Rehabsenteret 8 944 m ² (BRA)	∑ Område 23 677 m ² (BRA)
TEK17 – stipulert kostnad [kr]	605 086 719	338 819 250	943 905 969
Budsjettert merkostnad, prosjekt [kr]	32 913 281	19 980 750	52 894 031
SUM [kr]	638 000 000	358 800 000	996 800 000
TEK17 – kostnad (stipulert) [kr/m ²]	41 070	37 882	39 866
Budsjettert merkostnad, prosjekt [kr/m ²]	2 234	2 234	2 234
SUM [kr/m²]	43 304	40 116	42 100

Tabell 4 viser spesifikke kostnader for Nidarvollutbyggingen beregnet til søknaden om støtte fra Enova. De endelige kostnadene ble høyere, men fordelingen av tiltakskostnadene gir et bilde av hvilke tiltak som har høyest merkostnad for et prosjekt som sikter mot ZEN.

De bygningsmessige tiltakene er mest kostnadskrevenende med 30%. Pumper er her varmpumper som står for 12%. Postene varme- og kjølesystem, automatikk og prosjektering står for ca. 10% hver. Solkraft utgjør 5%, men nok solkraft til å dekke hele el-behovet ville vært betydelig høyere.

Tabell 4 Tiltakskostnader som søkt fra Enova for Nidarvollutbyggingen samlet. Alle summer er kostnad per m² og eks. mva.

Hovedposter	Budsjettet kost TEK17 [kr/m ²]	Budsjettet kost valgt løsning [kr/m ²]	Budsjettet merkostnad vs TEK17 [kr/m ²]	Prosentvis fordeling vs total tiltakskostnad [-]
Byggeteknisk (isolasjon, materialer mm)	12 915	13 599	685	30,66%
Ventilasjon	1 522	1 628	106	4,75%
Energiforsyning (varmepumper i merkostnad)	208	475	268	11,97%
Belysning	899	1 038	138	6,19%
Utstyr	115	171	55	2,48%
Varme og kjølesystem i bygget	507	729	221	9,91%
Automatisering og elektroteknikk	4 428	4 691	263	11,77%
Solkraftanlegg	0	115	115	5,13%
Prosjektering	3 136	3 362	226	10,12 %
Prosjektoppfølgning og byggeledelse	2 837	2 993	157	7,02 %
SUM	26 567	28 801	2 234	100,00 %

4.2. ZEN-mål for Nidarvoll case

Byggeprosjektet Nidarvoll skole, hall og rehabiliteringssenter er et pilotprosjekt i ZEN. Energibehovet for utbyggingen er redusert betydelig og hovedmålet om 30 % redusert i samlet klimagassutslipp (materialer + energiforsyning) over levetiden er oppnådd, men prosjektet er ikke kommet helt i mål til null energibruk og nullutslippsnaboområde (ZEN-nivå). Trondheim kommune fremhever at erfaringer rundt redusert effektbelastning på omkringliggende energisystem også har vært et viktig premiss for valg av løsninger.

Noen av de valgte løsningene som har bidratt til at ZEN-nivået ble vanskelig å nå er:

- Bygningene har høyere brukstid enn normert for standard beregninger. Det betyr imidlertid arealeffektiv bruk fordi skolen brukes til andre formål etter skoletid og hallen er beregnet for høy utnyttelse av kapasiteten. Dette er positivt for overordnet klimaregnskap. Rehabiliteringssenteret er en døgninstitusjon med relativt høyt behov for energi hele døgnet.
- Rehabiliteringssenteret har relativt store ytterveggflater. En mer kubisk og kompakt form ville hatt lavere varmetap gjennom yttervegger, tak og grunn. Økt kompakthet ville gjerne resultert i dårligere arkitektoniske og bruksmessige løsninger.
- Luft-vann varmepumpe er valgt fordi grunnforholdene ikke var egnet for en betydelig mer effektiv geotermisk varmepumpe.
- Solcellearealet er for lite til å dekke hele behovet for elektrisitet. For bygninger med mer enn 2 -3 etasjer blir tilgjengelig takflate for lite.

Behov for solcelleareal

For å oppnå null energibehov kan det installeres nok solceller til å dekke hele behovet for strøm. Tabell 2 viser at avstanden til null energibehov for hele området er 1 101 510 kWh per år. Installert solkraft med solceller (PV) er i dag 846 m² på Skole/Idrettsbygget med en beregnet årlig produksjon på ca. 116 500 kWh per år (ca. 137 kWh el/m² PV år). For rehabiliteringssenteret er installert areal 878 m² PV, med en årlig beregnet produksjon på ca. 116 000 kWh per år (ca. 132 kWh el/m² PV år). Installasjon av ytterligere solceller antas å ha en spesifikk produksjonskapasitet på ca. 100 kWh el/m² PV år fordi plassering blir mindre gunstig, f.eks. på fasadevegger. Omregnet betyr dette installasjon av ca. 11 000

m² PV i tillegg til 1 724 m² PV som ble installert. Dette er et svært høyt tilleggsareal som ikke er realiserbart innenfor området. Behovet for solcelleareal for Nidarvollområdet er omtrent halvparten av bruksarealet.

For lite tilgjengelig areal for solceller er den viktigste grunnen til at Nidarvollutbyggingen ikke har oppfylt større reduksjon i klimagassutslipp. Det ville altså vært behov for mer en syv ganger så mange kvadratmeter med solceller for å oppnå null energibehov dersom alt annet holdes likt.

Behovet for mer solceller for å oppnå null energi ville vært redusert dersom grunnforholdene tillatte en mer effektiv geotermisk varmpumpe. Dersom vi antar at en geotermisk varmpumpe kan halvere strømbehovet sammenlignet med en luftvarmpumpe, ville en slik løsning redusert strømbehovet for Nidarvollutbyggingen med ca. 150 000 kWh (Tabell 2). Dette ville tilsvart redusert PV areal for å oppnå null energi på 1 500 m², noe som likevel ville krevd mer enn seks ganger så mange kvadratmeter med solceller for å oppnå null energibehov.

5. Lønnsomhetsberegninger

5.1. Metode: Netto nåverdi (NPV)

Netto nåverdi, eller NPV, er en metode vi bruker for å vurdere hvor lønnsom en investering kan være over tid. I vår sammenheng veier vi kostnadene og inntektene av Nidarvoll-prosjektet mot hverandre og tar hensyn til kapitalkostnaden, altså at penger i dag har større verdi enn penger i fremtiden. Vi regner ut netto nåverdi ved å finne differansen mellom nåverdien til et basis-scenario uten ZEN-relaterte investeringer og dagens versjon av prosjektet.

Nåverdi og tidsverdi kan illustreres med et eksempel. La oss si man står foran et valg mellom å sette ens penger i banken risikofritt eller investere i et risikabelt prosjekt, alt annet holdt fast. Ettersom en rasjonell, risikoavers og velinformert investor vil foretrekke å kompenseres for tiden hen eksponerer sine midler for risiko, så har prosjektet en lavere nåverdi enn innskuddet. Satt opp imot innskudd så har prosjektet en negativ nåverdi. I dette eksempelet gjør pengenes tidsverdi at en ikke kan forvente investeringer i prosjektet, og at typiske investorer i stedet setter pengene i banken. Prosjektet vil måtte endres for å øke dets nåverdi om det skal tiltrekke seg investeringer. For eksempel ved å øke forventet avkastning.

Dette er fordi penger i dag kan investeres og vokse over tid. NPV hjelper oss å forstå hvor mye de fremtidige pengene er verdt i dagens pengeverdi. Hvis NPV er positiv, betyr det at prosjektet antas å gi mer tilbake enn det koster, justert for pengenes tidsverdi. En negativ NPV indikerer at prosjektet trolig ikke vil være lønnsomt.

I denne rapporten reflekterer nåverdien kostnader og besparelser tilknyttet case Nidarvolls kvalifisering som ZEN, diskontert for tidsverdien av offentlige penger slik definert i "Veileder i samfunnsøkonomiske analyser" (Direktoratet for økonomistyring 2023).

5.2. Pengestrømmer

For å kunne beregne case Nidarvolls lønnsomhet behøver vi et regnskapsmessig overblikk over budsjetter og forventninger tilknyttet prosjektet.

Gjennom protokoller fra Trondheim Kommunes bystyremøter knyttet til case Nidarvoll har vi samlet en oversikt over prosjektets kostnader, støtteordninger og andre forventninger (Trondheim Kommune 2022a, 2022b). Basert på disse protokollene og annen data, som faglige uttalelser fra Skanska, har vi utarbeidet et basis-scenario. Dette scenarioet gir en detaljert oversikt over investeringskostnader, driftskostnader og støtteordninger for Nidarvoll-prosjektet, ekskludert merkostnader og estimerte besparelser relatert til ZEN.

Videre utviklet vi et scenario som gjenspeiler den nåværende utformingen av Nidarvoll-prosjektet. Gitt at den nåværende utformingen ikke oppfyller ZEN-kravene, har vi også utviklet et ZEN teoretisk scenario. I dette scenarioet er investeringene i solcelleteknologi økt til det nivået som er nødvendig for å oppnå ZEN-status. En aggregert oversikt over case Nidarvolls estimerte investerings- og driftskostnader, merkostnader og besparelser tilknyttet ZEN og stønader vil kunne oppgis ved etterspørsel.

Ifølge opplysninger fra Skanska, er det forventet at byggene i Nidarvoll-prosjektet vil bli fullført i løpet av den siste delen av 2023 og noe utover i 2024. For analysens del regner vi derfor ut ifra en ferdigstillelse i inngangen til 2024. Videre antas det at bygningene som er en del av disse prosjektene vil ha en forventet levetid på 60 år. Dette er på linje med andre arbeider (Backe et al. 2021) hvor vi også har lagt til grunn en levetid på 60 år for nabolagsutviklinger. I tillegg antar vi at solcellepanelene, som er sentrale for ZEN-delen av prosjektet, vil kreve utskifting etter 30 år. Denne antakelsen er viktig for vår analyse av prosjektets levetidskostnader.

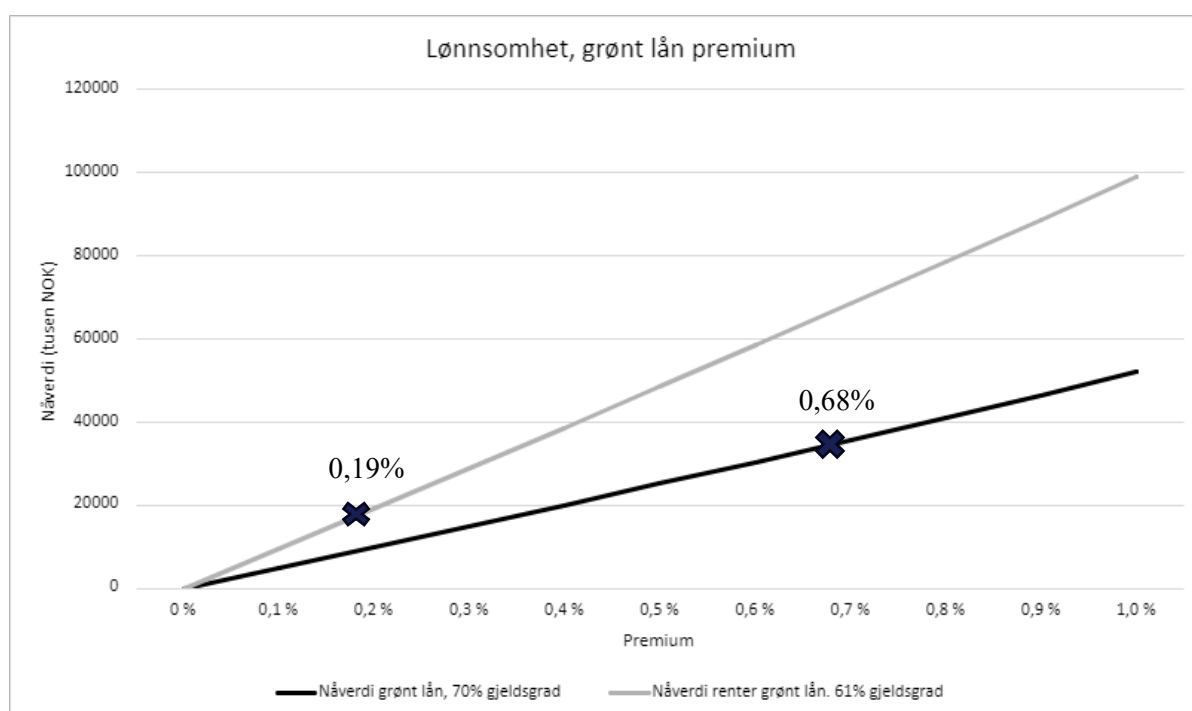
5.3. Grønne lån

Prosjekter med redusert eksponering for markedsprisen på karbonutslipp har historisk hatt en lavere risiko til gitt avkastning (Liu and Wu 2023). Finansielle instrumenter som grønne lån gir dermed lavere rente enn andre lån, alt annet holdt fast. De tilbyr en premie fordi de har vært assosiert med miljøansvarlige praksiser, noe som i økende grad har blitt favorisert av både markedet og offentlige enheter. Disse praksisene fører typisk til bedre økonomiske resultater for selskaper, lavere risiko og forbedret gjennomsiktighet, noe som ofte er verdsatt av investorer og andre interessenter (Liu and Wu 2023).

Trondheim kommune informerte om at case Nidarvoll kvalifiserer til grønt lån, men at fordelene kommunen oppnår ved å benytte grønne lån var relativt begrenset. Basert på denne innsikten, antok vi en reduksjon på 15 basispoeng (0.15%) i lånenes aggregerte rente tilknyttet prosjektets overgang til ZEN. Samlet sett finansieres 61% av Nidarvoll-prosjektet før stønad med lån, under referert til som 61% gjeldsgrad.

Figur 6 viser lønnsomheten (nåverdien) på grønt lån og rentefordel ved ulik størrelse på rentefordel. Våre beregninger viser at en rentefordel på 19 basispoeng (0.19%) og over gir meravkastning. Meravkastning fra lånet innebærer at de økte rentekostnadene tilknyttet større lån for å finansiere grønne merkostnader blir kompensert og overgått av rentekostnadsreduksjonen på den delen av lånet som finansierer "ikke-grønne" kostnader, altså den delen av prosjektet som ellers ikke ville kvalifisert prosjektet til grønt lån.

Tilsvarende vil en rentefordel på 68 basispoeng (0,68%) være nok til at meravkastningen fra lånet finansierer 70% av merkostnadene tilknyttet ZEN-delen av case Nidarvoll. I dette tilfellet vil størrelsen på meravkastningen fra lånet være høyere fordi det totale lånet er større. I ZEN-rapport nr. 50, 'Energisparepotensialet i bygg fram mot 2030 og 2050' (Sandberg et al. 2023) anbefales grønne lån som en strategi for å finansiere opptil 70 % av merkostnadene assosiert med ZEN.



Figur 6 Nåverdi for grønt lån ved 70% gjeldsgrad (mørk grå) og rentefordel (lys grå). Knekkpunkter for meravkastning og 70% finansiering er markert i de respektive grafer.

5.4. Elektrisitetsprisbaner

Mye av lønnsomheten til ZEN som investering ligger i reduksjonen av kjøpt elektrisitet og fjernvarme for daglig drift. Basert på informasjon fra Skanska er prisen på fjernvarme til case Nidarvoll estimert til å være 90% av elektrisitetsprisen. Følgelig vil forventet lønnsomhet av ZEN-relaterte investeringer variere basert på ens forventninger til prisen av elektrisitet i framtiden. Derfor har vi beregnet prosjektets lønnsomhet ut ifra flere forventede elektrisitetsprisbaner som beskrives i denne seksjonen.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) publiserer jevnlig langsiktige analyser hvor de omtaler hvordan de tror strømprisene i Norge kan utvikle seg framover. I følge NVE sin langsiktige analyse gjort i 2023, vil den gjennomsnittlige kraftprisen i Norge ligge på omtrent 80 øre per kilowatt-time (kWh) i 2030 (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). Dette er en merkbar økning fra prisnivåene før 2021 og NVEs prediksjoner gjort før tilbudssjokket tilknyttet Russlands invasjon av Ukraina (Henriette Birkelund et al. 2021; Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). En av de viktigste årsakene til denne økningen var de forventede høyere prisene på brensel og CO₂-utslipp (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023).

I NVE Rapport nr. 25/2023 forventes en økning i strømforbruket, men uten en tilsvarende økning i produksjonskapasitet (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). Dette kan føre til en svakere balanse mellom tilbud og etterspørsel etter strøm, noe som igjen kan bety at Norge må importere mer strøm. I 2030 forventes det at prisforskjellen på strøm mellom Norge og land som Storbritannia og det europeiske kontinentet vil være liten.

Ser vi mot 2040, endrer bildet seg. Med en betydelig utbygging av havvind, samt sol- og vindkraft på land, forventer NVE at Norge vil styrke sin kraftbalanse (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). Dette betyr

at vi vil ha mer strøm tilgjengelig enn det som etterspørres. Som et resultat av dette, og det faktum at mye av produksjonen vil komme fra kilder som sol og vind, kan vi oppleve perioder med svært lave strømpriser. I 2040 forventes den gjennomsnittlige strømprisen å ligge på om lag 50 øre/kWh, og prisforskjellen mot kontinentet og Storbritannia vil trolig øke (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023).

Videre beskriver NVE to scenarier, et lavpris- og et høyprisscenario basert på forskjellige antagelser om framtiden.

I det lave scenariet for 2030 antas det at en sterk utvikling innen fornybar energi, spesielt i Europa, vil føre til lavere strømpriser. Dette scenariet har strømmettet en godt utbygd kapasitet ut mot EU, noe som betyr at Norge kan importere billigere strøm ved behov. Som et resultat er den gjennomsnittlige strømprisen i Norge forventet å være lavere enn i referansescenarioet.

I det høye scenariet for 2030 antas det at utviklingen av fornybar energi ikke vil være like sterk som i det lave scenariet, og at karbonprisene dermed kan gjøre seg mer gjeldende for prissettingen. I tillegg antyder det at importkapasiteten vil være mindre enn forventet, noe som begrenser Norges evne til å importere billig strøm. I dette scenariet er de innenlandske strømprisene forventet å være høyere enn i referansescenarioet.

5.5. Elektrisitetsmiks og prisbaner for klimagassutslipp

I NVE Rapport nr. 29/2021 og NVE Rapport nr. 25/2023 fremheves viktigheten av priser på klimagassutslipp som en grunnleggende faktor i kraftmarkedsanalyser (Henriette Birkelund et al. 2021; Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). De forutsetter signifikante økninger i CO₂-priser mot 2040, delvis på grunn av strammere reguleringer i EUs kvotesystem og økende integrasjon av strømmettet. Forskjellen mellom de ulike elektrisitetsprisbanene NVE presenterer i sin langsiktige analyse og omtalt i forrige delkapittel er i stor grad knyttet til forskjellige forventninger for utviklingen av markedsprisen på EUs karbonutslippssertifikater (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). Følgelig er lønnsomheten til case Nidarvoll og ZEN-prosjekter generelt indirekte avhengig av utviklingen i prisen på klimagassutslipp.

I EU-prosjektet open ENergy TRansition ANalyses for a low-Carbon Economy (openENTRANCE) framlegges flere mulige fremtidsscenarier med ulike karbonpris- og elektrisitetsmiksbanner, deriblant "Directed Transition", "Techno-Friendly" og "Societal Commitment" (Auer et al. 2020). Disse illustrerer ulike tilnærminger for å oppnå karbonnøytralitet i EU innen 2040, som er viktig for 1.5-graders målet. Scenariene reflekterer forskjellige politiske, teknologiske og samfunnsmessige utfall, og knytter de europeiske karbonpris- og elektrisitetsmiksbannerne dit hen. Stort sett involverer alle scenariene en høyere karbonpris enn hva NVE har lagt til grunn i basisscenarioet til sin langsiktige analyse (Auer et al. 2020; Jon Gustav Kirkerud et al. 2023).

Directed Transition (Styrt Overgang)

I dette scenarioet står vi overfor en verden hvor politisk vilje og besluttsomhet spiller en nøkkelrolle i kampen mot klimaendringene. I dette scenarioet vil måloppnåelsene være et resultat av betydelig politisk styring, hvor nullutslipp håndheves gjennom politiske tiltak. Det er antatt at teknologier innen karbonfangst og -lagring (CCS) mestres og brukes. Dette scenarioet illustrerer en fremtid hvor politiske beslutninger og reguleringer er avgjørende drivkrefter i overgangen til et lavutslippssamfunn.

Techno-Friendly (Teknologivennlig)

Teknologivennlig-scenariet fremhever betydningen av teknologiske innovasjoner og deres rolle i å oppnå klimamål. Relativt til "Directed Transition" har dette scenariet en sterkere vekt på karbonprising som effektivitetsfremmende virkemiddel for å nå utslippsfrie mål innen 2040. Dette scenariet anerkjenner viktigheten av teknologiske løsninger som karbonfangst og -lagring, og legger til rette for en fremtid hvor markedskrefter og teknologiske fremskritt går hånd i hånd for å oppnå bærekraftige løsninger. Dette scenariet ligner mest på "Ultra grønn"-scenariet beskrevet i ZEN rapport 50 (Sandberg et al. 2023), som også fokuserer på ambisiøse teknologiske løsninger og omfattende energi-effektivisering.

Societal Commitment (Samfunnsengasjement)

Samfunnsengasjement-scenariet fremstiller en verden hvor kollektivt ansvar og samfunnets beslutninger er sentrale i å møte klimautfordringene. Karbonfangst er ikke en mulighet, så dette scenariet belyser en mulig bane om CCS-teknologier ikke mestres. Hovedfokuset ligger på hvordan samfunnets engasjement og kollektive handlinger kan drive overgangen til et lavutslippssamfunn. I dette scenariet er karbonprising et viktig verktøy for å tvinge markedet til å fullstendig korrigere markedsfel tilknyttet klimagassutslipp, men det legges også stor vekt på samfunnets vilje til å omfavne og støtte bærekraftige praksiser og teknologier.

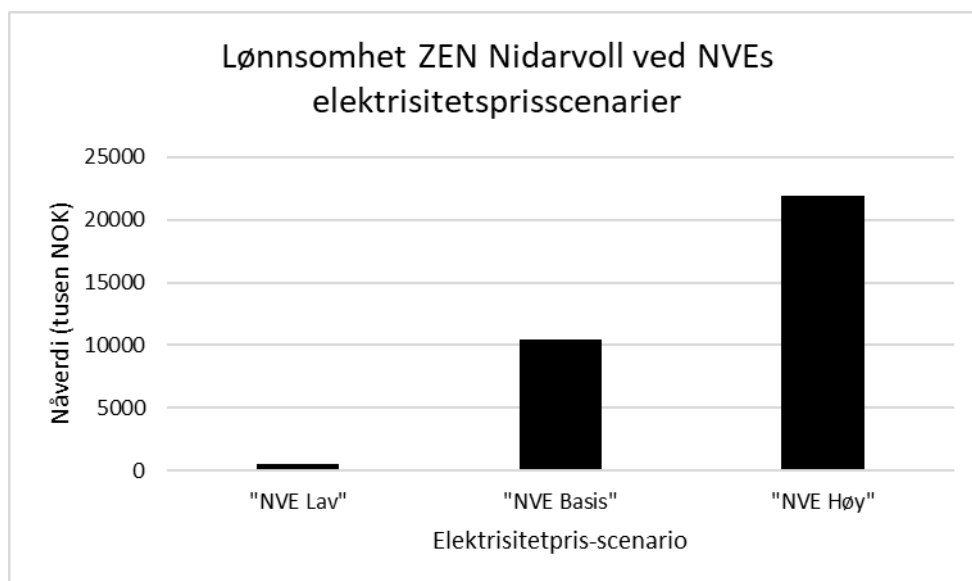
5.6. Lønnsomhet av case Nidarvoll

I denne seksjonen analyserer vi økonomien i ZEN-delen av case Nidarvoll. Vi etablerte først et basis-scenario basert på dagens TEK17-standard ved hjelp av regnskapsdata fra Trondheim kommune og Skanska. Basis-scenariet representerer et prosjekt uten ZEN-relaterte investeringer. Deretter sammenlignet vi dette med case Nidarvoll for å identifisere økonomiske effekter av ZEN-relaterte faktorer som kostnadsbesparelser og investeringer.

En betydelig del av fordelene med ZEN-investeringene kommer fra fremtidige besparelser innen elektrisitets- og fjernvarmeforbruk. Med tanke på elektrisitetsmarkedets volatilitet, analyserte vi prosjektets lønnsomhet under forskjellige elektrisitetsprisscenarioer for å få en omfattende forståelse av de økonomiske risikoene og mulighetene.

Elektrisitetsprisen har hatt og vil sannsynligvis i framtiden ha en tilknytning til prisen på klimagassutslipp (Auer et al. 2020; Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). Følgelig er forventninger til elektrisitetsprisen også forventninger til den framtidige energimiksen og karbonprisutviklingen. Derfor inkluderte vår analyse også flere karbonprisscenarioer for å vurdere lønnsomheten til prosjektet under NVEs basis-scenario, men med flere utfall i prissettingen på klimagassutslipp. Dette bidrar til en mer helhetlig forståelse av prosjektets økonomiske bærekraft under ulike markedsforhold og gir et mer nyansert bilde av de økonomiske risikoene og mulighetene som ligger i prosjektets fremtid.

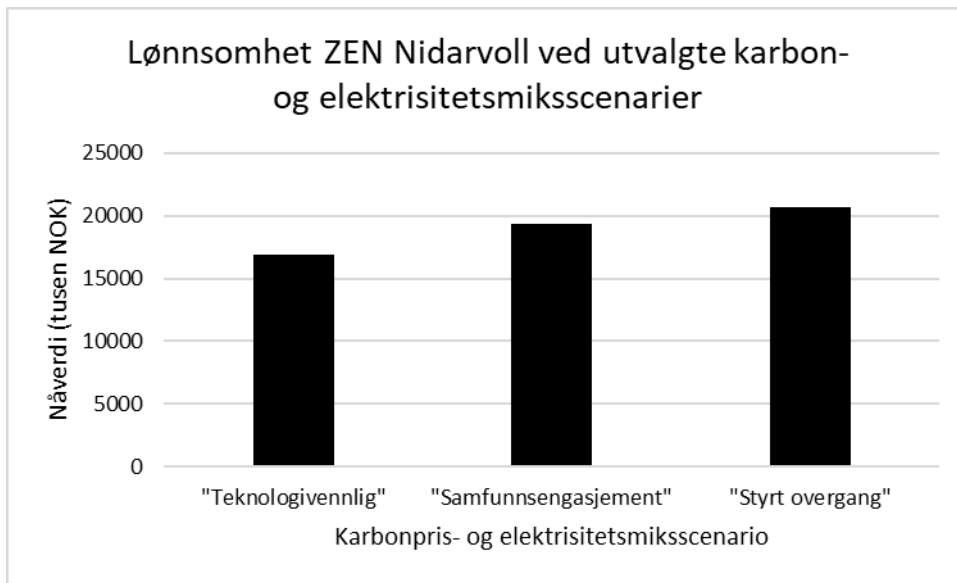
Vår økonomiske analyse viser at lønnsomheten til ZEN-delen av case Nidarvoll forsterkes under scenarioer med høyere elektrisitetspriser. Som demonstrert i Figur 7, viser "NVE Høy" scenariet en signifikant høyere nåverdi sammenlignet med "NVE Lav". Dette antyder at prosjektets fremtidige inntjeningspotensial er sterkt knyttet til elektrisitetsprisenes fremtidige utvikling.



Figur 7 Lønnsomhet for ZEN-delen av case Nidarvoll ved 3 forskjellige elektrisitetsprisbaner fra NVE; en lav, en høy og en basisbane.

Figur 8 reflekterer lønnsomheten under ulike karbonpris- og elektrisitetsmiks-scenarier, der "Styrt overgang" scenarioet indikerer den høyeste nåverdien. Samlet sett illustrerer disse resultatene at makroøkonomiske virkemidler som fremmer et skifte mot en mer bærekraftig energifremtid kan skape økonomiske fordeler for prosjekter som inkluderer ZEN-relaterte teknologier.

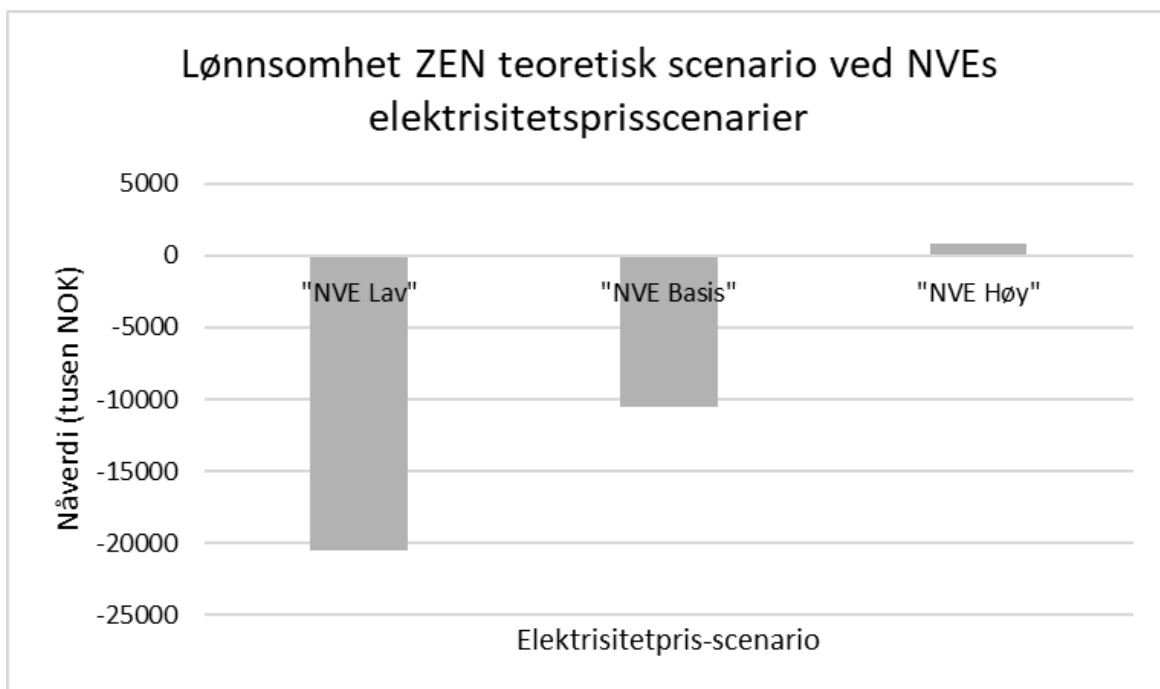
Vår økonomiske analyse indikerer at ZEN-delen av case Nidarvoll opprettholder sin lønnsomhet over alle scenarier, inkludert den mest konservative banen "NVE Lav". Merk at dette inkluderer støtten fra Enova og rentefordel tilknyttet grønt lån. Dette tyder på at prosjektet er robust mot selv konservative markedsforhold. Det faktum at prosjektets nåverdi forblir positiv selv under antakelsen om lav elektrisitetspris, styrker argumentet for at investeringer i ZEN-relaterte tiltak er økonomisk forsvarlige. Videre forsterker scenarioene som "NVE Høy" og "Styrt overgang" prosjektets økonomiske potensial og fremhever verdien av å investere i bærekraftig teknologi; spesielt i scenarier der prisen på klimautslipp blir mer fremtredende.



Figur 8 Lønnsomhet for ZEN-delen av case Nidarvoll ved 3 forskjellige prisbaner for klimautslipp. Alle prisbanene er hentet fra openENTRANCE og brukes til å justere NVEs basisbane.

5.7. Lønnsomhet av et teoretisk ZEN-scenario

Som et tillegg til lønnsomhetsanalysen for ZEN Nidarvoll diskuterer vi de økonomiske og praktiske konsekvensene av å øke investeringene i solenergiproduksjon. Dette for å realisere at Nidarvoll prosjektet oppnår målsetningene for et ZEN-område. Vi antar at dette kan oppnås ved å produsere nok elektrisitet for å dekke et manglende behov på 900 MWt/år. Arealtilgjengelighet er dog en begrensende faktor; de fleste flater som er gunstige for solcellepanel er allerede benyttet, og eventuelle ytterligere installasjoner må derfor plasseres på mindre egnede overflater. Dette medfører en kostnadsøkning på minst 25% per installert kilowatt.



Figur 9 Lønnsomheten til et teoretisk ZEN scenario for case Nidarvoll ved 3 forskjellige elektrisitetsprisbaner fra NVE; en lav, en høy og en basisbane.

Som Figur 9 illustrerer, er dette teoretiske scenariet ikke bare begrenset av tilgjengeligheten til brukbare overflater, men også lønnsomhet. I våre analyser ser vi at selv når vi utvider bruken av solenergi til mindre ideelle flater, vil vi uunngåelig møte en grense for hvor mye mer kapasitet som kan legges til. Dette setter et tak for hvor mye strøm som kan produseres, og sammen med kostnadsøkningene gjør dette at "ZEN teoretisk scenario" til slutt blir både økonomisk ugunstig og praktisk uholdbart.

Vi rapporterer likevel disse resultatene for å belyse det teoretiske gapet mellom case Nidarvolls nåværende tilstand og det hypotetiske scenariet. Ved å gjøre dette, kvantifiserer vi delvis de utfordringene som må overkommes før slike tiltak blir levedyktige. Det understrekes at en betydelig teknologisk fremgang trolig må til for at det teoretiske ZEN scenariet skal bli gjennomførbart via økt tilførsel av solceller og samtidig være økonomisk forsvarlig for et prosjekt som case Nidarvoll. I realiteten er det dog flere tiltak som kunne påvirket oppnåelsen av ZEN for case Nidarvoll (se kapittel 4.2).

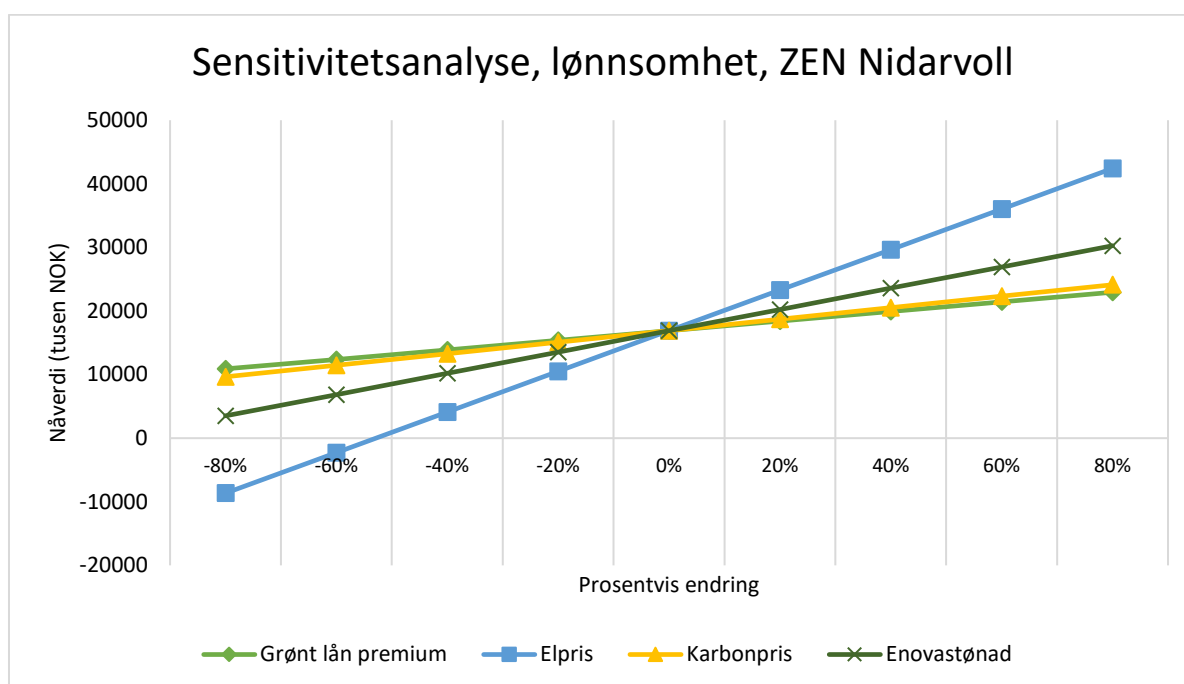
5.8. Sensitivitetsanalyse

For å undersøke nærmere hvordan lønnsomheten til ZEN-delen av prosjektet endrer seg, utførte vi en sensitivitetsanalyse. Sensitivitetsanalyser kan bidra til å identifisere og evaluere hvordan usikkerhet og variabler påvirker et prosjekts økonomiske levedyktighet. Denne analysen vurderer effekten av endringer i nøkkelvariabler som påvirker kostnader og andre markedsforhold, på prosjektets lønnsomhet. Ved å systematisk variere disse parameterne, kan beslutningstakere forstå risiko og potensielle avvik fra forventede resultater. Dette er avgjørende for å utvikle robuste strategier og ta informerte beslutninger under usikkerhet. Sensitivitetsanalyse er derfor et uvurderlig verktøy for å sikre at lønnsomhetsberegninger reflekterer virkelighetens kompleksitet og usikkerhet.

I vår sensitivitetsanalyse tar vi utgangspunkt i NVEs basisscenario (Jon Gustav Kirkerud et al. 2023). Dette scenarioet gir oss et referansepunkt for å vurdere de økonomiske konsekvensene av ulike variabler på prosjektet. Det er viktig å merke seg at i dette basisscenarioet har vi gjort en justering ved å integrere elektrisitetsmiks- og karbonprisutviklingen til det 'Teknologivennlige' scenarioet fra openENTRANCE (Auer et al. 2020). Dette valget reflekterer en forventning om en fremtid hvor teknologiske fremskritt og energieffektive løsninger bidrar til en rask overgang til lavutslippssamfunnet. Dette betyr at vi analyserte hvordan et teknologiintensivt europeisk energilandskap kan påvirke ZEN Nidarvolls lønnsomhet, med alle andre faktorer holdt konstante.

Denne tilnærmingen gjør det mulig for oss å vurdere prosjektet under forutsetninger som speiler både nåværende trender og mulige fremtidige endringer i energimarkedet og miljøreguleringer. Dette gir oss et robust utgangspunkt for å utforske hvordan ulike faktorer – som elektrisitetspriser, Enova-støtte, og rentefordel på grønne lån – kan påvirke prosjektets lønnsomhet under ulike markedsforhold.

Sensitivitetsanalysen avslørte at prosjektets økonomiske levedyktighet er sterkt påvirket av flere kritiske faktorer. Figur 10 viser at elektrisitetsprisen er den mest innflytelsesrike variabelen, med en tydelig lineær økning som starter fra origo og øker langs x-aksen. Dette understreker hvordan endringer i elektrisitetsprisen, gitt prosjektets energiforbruk, kan ha vesentlige konsekvenser for driftskostnadene og dermed for prosjektets lønnsomhet. Interessant nok, er det kun under dette scenarioet at netto nåverdi faller under null, noe som tydeliggjør prosjektets følsomhet for endringer i elektrisitetsmarkedet.



Figur 10 Sensitivitetsanalyse for ZEN Nidarvoll. 4 variabler varieres mens alt annet holdes fast; rentefordel på grønt lån, elektrisitetsprisbanen, prisbanen for klimautslipp og Enovastøtten.

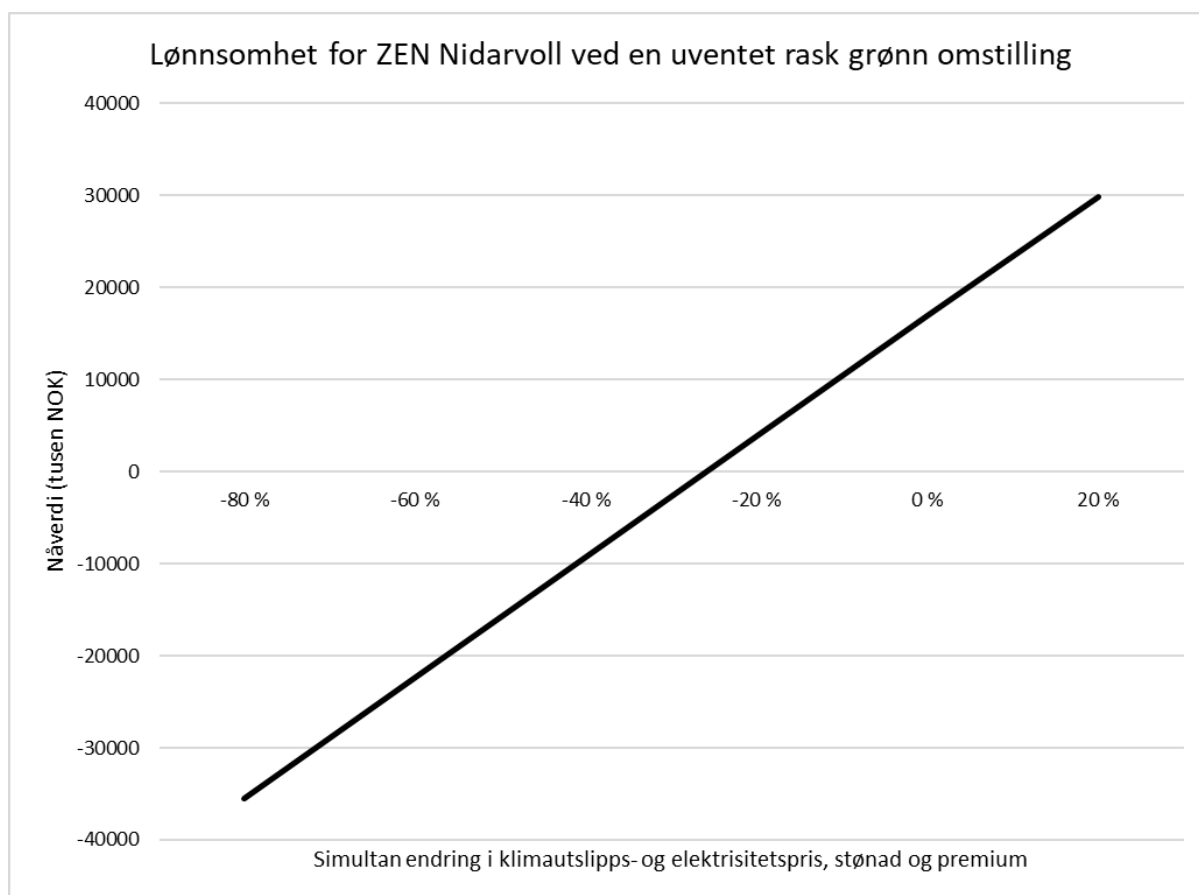
Når det gjelder de andre faktorene - Enova-støtten, karbonprisbanen og rentefordelen på grønne lån - viser våre analyser at selv om disse også påvirker lønnsomheten, er deres innflytelse mindre sammenlignet med elektrisitetsprisen. Dette kan ses i de mindre bratte stigningene i de respektive grafene for disse faktorene i Figur 10, og understreker viktigheten av nøye vurdering og overvåking av energimarkedet når man gjør investeringer i ZEN-relaterte prosjekter.

Våre analyser viser at prosjektets robusthet er betydelig for individuelle variasjoner i flere sentrale faktorer. Med unntak av i et scenario med usedvanlig lav elektrisitetsprisbane, langt under det NVE forventer i sitt grunnscenario, opprettholdes prosjektets økonomiske levedyktighet. Dette styrker argumentet for langsiktige investeringer i ZEN-relaterte tiltak, og fremhever prosjektets attraktivitet for investorer, selv i et usikkert markedslandskap.

5.9. Faren for markedsfeil ved en rask grønn omstilling

I forrige delkapittel, hvor vi analyserte sensitiviteten til ulike enkeltstående faktorer i ZEN-prosjektet, ble det tydelig at selv om prosjektet er robust mot endringer i disse faktorene, viser mange av dem en tendens til å være positivt korrelert med en tregere grønn omstilling. Dette indikerer at hvis reduksjonen av klimagassutslippene skjer langsommere enn forventet, og det globale klimasystemet blir presset med mer utvinning av karbon fra fossile kilder som kull og olje enn hva som er anbefalt, kan vi forvente en økning i prisen på klimagassutslipp. Som diskutert i (Liu and Wu 2023) kan en slik økning føre til at grønne finansieringsinstrumenter, som grønne lån, blir mer attraktive. Dette skyldes at investeringer som er mindre påvirket av klimagassutslippsprisen, vil ha en relativt høyere forventet avkastning. I denne konteksten, med høyere karbonintensitet i elektrisitetsmiksen, vil vi oppleve høyere elektrisitetspriser. Dette scenarioet gjør ZEN-relaterte investeringer potensielt mer lønnsomme, noe som understrekes i våre sensitivitetsanalyser.

Men hva om den grønne omstillingen skjer raskere enn forventet? Med en raskere overgang til grønn energi, vil vi sannsynligvis også se en raskere reduksjon i etterspørselen etter elektrisitet enn forventet fra eksempelvis bygningsmassen. En tilsvarende økning i produksjonen av sol-, vind-, vann- og/eller atomkraft vil gjøre elektrisitmiksen mindre avhengig av karbonpriser, øke produsert volum og senke elektrisitetsprisene, alt annet holdt fast. I denne situasjonen vil også rentefordel på grønne lån synke, ettersom økonomien som helhet blir grønnere (Liu and Wu 2023). Det er også nærliggende at støtteordninger for grønn teknologi i ZEN bortfaller ved en uventet rask og bred adopsjon av slike teknologier. Figur 7 illustrerer at hvis prisforventningene faller betydelig, vil lønnsomheten i ZEN-relaterte investeringer raskt synke, noe som kan gjøre dem ulønnsomme. Dette er visualisert i Figur 11.



Figur 11 Lønnsomhet for ZEN Nidarvoll ved simultane endringer i klimautslipp- og elektrisitetspris, støtte fra Enova og rentefordel for grønne lån.

Investorers forventninger spiller en avgjørende rolle i valueringen av grønne investeringer, og deres beslutninger påvirkes ofte av antatte prisbaner. I en kontekst hvor man forventer at prisene på klimautslipp vil falle, som kan være tilfellet i en raskt fremadskridende grønn omstilling, kan investeringer i energieffektivisering og bærekraftig energiproduksjon – kjernen i ZEN-relaterte prosjekter – oppfattes som mindre lønnsomme.

Dette kan tolkes som et dynamisk spill med to steg, der første steg er som visualisert i Figur 12. Denne antakelsen kan være særlig problematisk for langsiktige prosjekter som case Nidarvoll, som har en forventet levetid på 60 år. En slik tidshorisont betyr at tidlige investeringsbeslutninger har langvarige konsekvenser, og en 'låsing' av investeringer i bygningsmassen som ikke møter de fremtidige

teknologiske kravene forenelig med 'teknologivennlige' og 'ultragrønne' fremtidsutsikter slik de ble beskrevet i delkapittel 5.5 'Elektrisitet/miks og prisbaner for klimautslipp'.

Steg 1	A investerer	A investerer ikke
B investerer	-35452, -35452	0, 29920
B investerer ikke	29920, 0	-16888, -16888

Figur 12 Spillteoretisk oppsett steg 1. Tidlige investorer i grønn teknologi får god avkastning, mens andre investorer ikke har incentiv til å investere da de forventer negativ avkastning hvis de gjør så. Spillet ender i en av de lysegrønne rutene.

En slik 'låsing' kan føre til økt etterspørsel etter elektrisitet og en reduksjon i produksjonen av fornybar energi, som solenergi, knyttet til ZEN-relaterte investeringer. Dette kan i sin tur drive opp prisene på karbonutslipp og elektrisitet, samtidig som det øker verdien av grønne lån. I et slikt marked kan vi se en syklus hvor investorenes forventninger til prisbaner justeres oppover, men tidligere investeringer i bygningsmassen, som allerede er gjennomført, representerer 'irreversible kostnader' og resulterer i en 'grå' investering for de neste seksti årene. For investorens del har da situasjonen endret seg, men hen kan ikke endre strategi og man får situasjonen visualisert i Figur 13.

Steg 2	A investerer	A investerer ikke
B investerer	3835, 3835	-3835, 33755
B investerer ikke	33755, -3835	-20723, -20723

Figur 13 Spillteoretisk oppsett steg 2. Investoren som tidligere valgte strategien å ikke investere ønsker nå å investere, men er låst til å ikke investere. Spillet er låst i lysegrønn rute, men ville ellers endt i mørkegrønn rute.

De spillteoretiske oppsettene i Figur 12 og Figur 13 illustrerer en sentral utfordring i styringen av en bærekraftig overgang, der individuelle investeringsbeslutninger kan være i konflikt med langsiktige klimamål. Analysen avslører en fundamental markedsdynamikk ved en rask grønn omstilling, der investorer responderer på endrede forventninger i energi- og klimapolitikken, men individuell rasjonalitet ikke nødvendigvis fører til et kollektivt optimalt utfall. Mens en rask grønn omstilling i teorien bør være til fordel for ZEN-relaterte prosjekter, kan paradoksalt nok en for rask endring i markedsforsventninger føre til underinvestering i slike prosjekter. Resultatet kan bli en bygningsmasse som ikke fullstendig støtter en bærekraftig utvikling, og dermed en forsinkelse i det grønne skiftet.

Det er imidlertid viktig å huske at denne markedsfelen ikke er unngåelig eller permanent. Historisk sett har systemnivå-aktører som statlige instanser spilt en nøkkelrolle i å korrigere slike skjevheter gjennom reguleringer, incentiver og direkte investeringer. For å motvirke mulige negative effekter av raske markedsendringer, kan det være nødvendig med veloverveide politiske tiltak og støttesystemer. Disse bør fremme kontinuerlig og balansert investering i bærekraftige teknologier og infrastruktur, samtidig som de styrer markedet mot en mer stabil og forutsigbar utvikling.

6. Diskusjon og konkluderende betraktninger

Forbildeprosjekter og pilotområder spiller en viktig rolle for å utvikle og teste nye løsninger og kanskje også for å justere krav og definisjoner av fremtidens løsninger for nullutslippsområder. Foreløpig er det behov for spesialkompetanse blant arkitekter og rådgivere for å planlegge et nullutslippsområde. Spesialkompetansen er en kombinasjon av kunnskap om definisjonen av ZEN og kunnskap og erfaring med hvilke løsninger som skal til for å oppnå ZEN slik det er definert. Erfaringer med skjerping av byggeforskriftene, som for eksempel ved krav til økt tetthet (for passivhusnivå), er at løsninger blir implementert i byggenæringen etter en periode med pilotprosjekter. Erfaringene fra forbildeprosjekter og pilotprosjekter er nødvendig for utvikling av nye kostnadseffektive løsninger som kan implementeres i en stor del av byggenæringen og gi grunnlag for skjerping av krav. Utbyggingen av Nidarvollområdet viser at høye mål for redusert energi- og effektbehov har ført til betydelige resultater. Totalt er det estimerte behovet for levert elektrisitet redusert med 50% og levert fjernvarmebehov er redusert med 91% sammenlignet med TEK17 referansen. Resultatene viser imidlertid også at det ikke var mulig å produsere nok lokal energi innenfor området til å fjerne behovet for levert energi og kompensere for klimautslipp over byggets levetid. Dette skyldes gitte forhold som utbyggingsgrad og grunnforhold. De økonomiske analysene for utbygginger er gjennomført først og fremst for prosjektet slik det er bygget, men det er også gjennomført analyser av et teoretisk scenario med økt solcelleareal som fjerner behovet for levert energi.

Vår økonomiske analyse indikerer at ZEN-delen av Nidarvoll-casen opprettholder sin lønnsomhet over alle scenarier som er beskrevet, inkludert den mest konservative banen "NVE Lav". Merk at dette inkluderer støtten fra Enova og rentefordel tilknyttet grønt lån. Dette tyder likevel på at prosjektet er robust mot selv konservative markedsforhold. Det faktum at prosjektets nåverdi forblir positiv selv under antakelsen om lav elektrisitetspris, styrker argumentet for at investeringer i ZEN-relaterte tiltak er økonomisk forsvarlige. Videre forsterker scenarioene som "NVE Høy" og "Styrt overgang" prosjektets økonomiske potensial og fremhever verdien av å investere i bærekraftig teknologi; spesielt i scenarier der prisen på klimautslipp blir mer fremtredende.

Det teoretiske scenariet som viser lønnsomheten ved å implementere nok solceller til å fjerne behovet for levert energi er begrenset både av tilgjengelighet av brukbare overflater og av lønnsomhet. Analysen viste at det er et tak for hvor mye strøm som kan produseres, og at "ZEN teoretisk scenario" blir både økonomisk ugunstig og ikke praktisk gjennomførbart. Kun for "NVE Høy" blir nåverdien så vidt positiv. Installering av nok solceller for å oppnå virkelig ZEN vil kreve økonomisk støtte eller gunstige markedsforhold.

Resultatene fra Nidarvoll-casen viser at nye løsninger kunne gjennomføres til en merkostnad på 5%. Lønnsomhetsvurderingene viser positive resultater for en stor del av de forventede forutsetninger som er lagt til grunn. Resultatene fra Nidarvoll-casen viser imidlertid at for å oppnå null behov for levert energi var viktige barrierer at området manglet muligheter for produksjon av nok fornybar energi. Grunnforholdene var ikke egnet for en effektiv geovarmepumpe, bygningsvolumene har lite takareal for solceller i forhold til bruksareal og krav om å bruke tilgjengelig fjernvarme øker behovet for levert energi. Et spørsmål som kan stilles er om krav til ZEN for et gitt utbyggingsprosjekt bør tilpasses mulighetene et område gir. Arkitektoniske vurderinger for arealeffektivitet, brukskvaliteter og tilpassing

av bygningsvolumer og arkitektonisk uttrykk til annen bebyggelse i området må også tas hensyn til og kan ha betydning for utslippsresultatet.

Referanser

- Auer, Hans, Pedro Crespo del Granado, Daniel Huppmann, Pao-Yu Oei, Karlo Hainsch, Konstantin Löffler, and Thorsten Burandt. 2020. "Quantitative Scenarios for Low Carbon Futures of the Pan-European Energy System." *OpenENTRANCE Project Deliverable D 3*.
- Backe, Stian, Dimitri Pinel, Magnus Askeland, Karen Byskov Lindberg, Magnus Korpås, and Asgeir Tomasgard. 2021. *Zero Emission Neighbourhoods in the European Energy System*. 30. SINTEF.
- Direktoratet for økonomistyring. 2023. "Veileder i Samfunnsøkonomiske Analyser." *Veileder i Samfunnsøkonomiske Analyser*.
- FutureBuilt. 2023. "FutureBuilt Kvalitetskriterier." *FutureBuilt Kvalitetskriterier*.
- Henriette Birkelund, Fredrik Arnesen, Jarand Hole, Dag Spilde, Silje Jelsness, Frida H. Aulie, and Ingrid E. Haukeli. 2021. *Langsiktig Kraftmarkedsanalyse 2021-2040*. 29/2021.
- Jon Gustav Kirkerud, Magnus Buvik, Ingrid Holm, Dag Spilde, Maria Sørbye, Ellen Skaansar, Hege Kvandal, Henriette Birkelund, Hanna Skulstad, Lars Petrusson, Kyrre Fjær, and Céline Darras. 2023. *Langsiktig Kraftmarkedsanalyse 2023*. 25/2023.
- Kauko, Hanne Laura Pauliina, Benjamin Manrique Delgado, Igor Sartori, and Stian Backe. 2023. *Energy Efficiency and District Heating to Reduce Future Power Shortage. Potential Scenarios for Norwegian Building Mass towards 2050*. SINTEF akademisk forlag.
- Liu, Chen, and Serena Shuo Wu. 2023. "Green Finance, Sustainability Disclosure and Economic Implications." *Fulbright Review of Economics and Policy* 3(1):1–24. doi: 10.1108/FREP-03-2022-0021.
- Sandberg, Nina Holck, Tor Helge Dokka, Anne Brit Gunnarshaug Lien, Igor Sartori, Kristian Skeie, Benjamin Manrique Delgado, and Niels Lassen. 2023. *Energisparepotensialet i Bygg Fram Mot 2030 Og 2050—Hva Koster Det å Halvere Energibruken I Bygningsmassen?* 50.
- Statnett. 2023. "Langsiktig Markedsanalyse: Norge, Norden Og Europa 2022-2050." Retrieved December 27, 2023 (<https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/lma/langsiktig-markedsanalyse-2022-2050.pdf>).
- Trondheim Kommune. 2019. "Konkurransgrunnlag Del II A0, Nidarvoll, ARK Og LARK."
- Trondheim Kommune. 2022a. "Nidarvoll Skole Og Sunnland Skole Med Flerbrukshaller - Behov for Tilleggsfinansiering."
- Trondheim Kommune. 2022b. "Trondheim Rehabiliteringssenter - Tilleggsbevilgning."
- Wiik, Marianne Rose Kjendseth, Kristin Fjellheim, Camille Vandervaeren, Synne Krekling Lien, Solveig Meland, Tobias Nordström, Daniela Baer, Caroline Y. Cheng, Shannon Truloff, Helge Brattebø, and Arild Gustavsen. 2022. *Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities. Definition, Key Performance Indicators and Assessment Criteria: Version 3.0*. SINTEF akademisk forlag.



VISION:

**«Sustainable
neighbourhoods
with zero
greenhouse gas
emissions»**

Z E N

Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>