

Eivind Wadstensvik Roland

# Energiforsyning for utslippsfri byggeplass

Masteroppgave i Energi og miljø

Veileder: Natasa Nord

Medveileder: Marit Kindem Thyholt

Juni 2022

**NTNU**  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for energi- og prosesseteknikk





Eivind Wadstensvik Roland

# **Energiforsyning for utslippsfri byggeplass**

Masteroppgave i Energi og miljø  
Veileder: Natasa Nord  
Medveileder: Marit Kindem Thyholt  
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for energi- og prosessteknikk



Kunnskap for en bedre verden



EPT-P-2022

## MASTEROPPGAVE

for

Eivind Wadstensvik Roland

Vår 2022

### **Energiforsyning for utslippsfri byggeplass**

*Energy supply for emission free construction site*

## **Bakgrunn**

Stadig flere oppdragsgivere og entreprenører i norsk bygg- og anleggssektor stiller krav om reduserte utslipp på sine byggeplasser. Som resultat av denne utviklingen har bruk av elektriske maskiner og annet elektrisk utstyr blitt relevant og viktig i mange prosjekter. Overgangen til elektriske byggeplasser fører til betydelige utslippskutt, men introduserer nye problemstillinger som må løses. Elektriske byggeplasser har et stort effektbehov, og enkelte prosjekter er avhengige av å innføre sparetiltak for å ikke utløse vern i det nærliggende kraftnettet. For hver enkelt byggeplass må det vurderes hvilke sparetiltak som er hensiktsmessige å innføre.

## **Mål**

Målet for denne oppgaven er å analysere og dimensjonere energiforsyningen for Skanska-prosjektet Midtbygda sykehjem i Bergen.

### **Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:**

1. Litteraturstudie av energi- og effektbehov for elektriske byggeplasser, og mulige sparetiltak som kan innføres.
2. Presentere prosjektet som skal brukes som casestudium i oppgaven.
3. Utvikle en matematisk modell for analyse av effekt- og energibehov for prosjektet.
4. Utføre analyse av modellen og presentere resultater.
5. Vurdere hvilke løsninger som burde anvendes for prosjektet.

I henhold til «Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet» ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved instituttet for energi- og prosessteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) våren 2022 og omhandler energiforsyning for en utslippsfri byggeplass. Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med Skanska og utgjør 30 studiepoeng.

Jeg vil gjerne benytte muligheten til å først takke mine to veiledere, Natasa Nord og Marit Kindem Thyholt, for all hjelpen de har gitt og kunnskapen de har delt. Uten dem ville det ikke vært mulig å fullføre denne oppgaven. En stor takk skal rettes til en rekke andre bidragsyttere fra Skanska, NTNU og Eviny som har kommet med verdifulle innspill og svar på spørsmål.

Til sist vil jeg takke min familie, kjæreste og venner for den enorme støtten de har vært gjennom studietiden.



Eivind Wadstensvik Roland

Trondheim, 25. mai 2022

# Innhold

1.	Introduksjon.....	1
2.	Litteraturstudie.....	2
2.1	Bygg- og anleggsbransjen .....	2
2.2	Utslipp fra bygg- og anleggsmaskiner.....	2
2.3	Utslippsfri byggeplass .....	3
2.4	Utslippsfrie bygg- og anleggsmaskiner .....	5
2.5	Energiforsyning for elektriske byggeplasser .....	6
2.6	Bruk av batterier for å utjevne effektforbruk .....	7
2.7	Energi- og effektkostnader .....	9
3.	Beskrivelse av casestudie .....	12
3.1	Prosjektintroduksjon.....	12
3.2	Prosjektets maskinbehov .....	12
3.3	Prosjektets oppvarmingsbehov .....	15
3.4	Andre belastninger i prosjektet.....	16
3.5	Energiforsyning og batterier.....	16
4.	Metode .....	18
4.1	Metode for å beregne effekt- og energibehov for byggeplass .....	18
4.2	Metode for å bestemme oppvarmingsbehov.....	26
5.	Resultater .....	30
5.1	Oppvarmingsbehov for prosjektet .....	30
5.2	Energiforbruk og utslipp knyttet til maskinpark og grunnbelastning.....	35
5.3	Effektforbruk, kostnader og utslipp for byggeplass .....	38
6.	Diskusjon .....	59
6.1	Prosjektrammer og beregningsmetode .....	59
6.2	Kostnader.....	61
6.3	Utslipp .....	61
6.4	Oppvarming av byggeplasser .....	63
6.5	Elektriske anleggsmaskiner .....	64
6.6	Smartstyring og energiplanlegging.....	65
6.7	Energimarked .....	65
6.8	Skanskas rolle i overgangen til utslippsfrie byggeplasser .....	66
7.	Konklusjon.....	68
8.	Videre arbeid .....	69
	Referanser.....	70
	Vedlegg .....	74
	Script for beregning av oppvarmingsbehov .....	74

## Sammendrag

Formålet med denne oppgaven er å analysere og dimensjonere energiforsyningen for Skanska-prosjektet Midtbygda sykehjem i Bergen.

Byggeplassen i prosjektet skal være utslippsfri og elektrisk, og er derfor ventet å ha et elektrisk effektforbruk som er større enn konvensjonelle byggeplasser. For å sikre at byggeplassen har en uavbrutt tilgang til elektrisk energi, vil det være nødvendig å analysere strømforbruket på byggeplassen. Gjennom å betrakte mulige scenarioer for byggeplassen ble det fastslått at det vil være nødvendig med effektbesparende tiltak for at prosjektet ikke skal utløse vernet på det nærliggende kraftnettet. Mulige tiltak som vurderes i oppgaven er bruk av mobile batterimoduler og bruk av varmepumpeoppvarming. Ved å bruke mobile batterier for hurtiglading i perioden hvor det gjøres grunnarbeider, kan effektnivået senkes til et nivå som er innenfor grenseverdien på 750 kW.

Den beste løsningen for prosjektet sett fra et utslipps- og kostnadmessig standpunkt vil være å benytte batterimoduler i periodene med høyest belastning, og varmepumpe for oppvarming av byggeplassen.



## **Abstract**

The purpose and goal of this master thesis is to analyse and plan out an energy supply for the Skanska project «Midtbygda sykehjem» in Bergen.

The construction site is set to be zero emission and electric, causing it to have a higher demand for electrical power compared to a conventional construction site. To ensure that the project has a steady energy supply throughout its duration, it will be necessary to analyse the consumption of electric energy. By analysing several possible scenarios, it was determined that the project will have to apply measures to reduce power consumption if it is not to trigger the nearby power system protection. The measures being analysed in the thesis is use of mobile batteries and heat pump. By using a mobile battery bank in the period where the project is conducting groundwork, the power consumption can be reduced to a level lower than the limit value of 750 kW.

The best solution for the project, viewed from an environmental and financial standpoint will be to use mobile batteries in periods with high power consumption, and use a heat pump solution to supply heat to the construction site when needed.

# 1. Introduksjon

Byggherrer og oppdragsgivere i bygg- og anleggsbransjen stiller stadig høyere krav til utslipp på norske byggeplasser. Dette sammenlagt med Skanskas mål om å redusere utslipp gjør at elektriske byggeplasser i fremtiden vil utgjøre en større del av den totale prosjektporteføljen til Skanska. I Åsane rett utenfor Bergen skal Skanska-prosjektet Midtbygda sykehjem gjennomføres som en utslippsfri og elektrisk byggeplass.

En stor utfordring i overgangen til elektriske byggeplasser er å sikre en tilfredsstillende energiforsyning til byggeplassen. Et helelektrisk prosjekt har et svært stort elektrisk effektforbruk sammenlignet med en konvensjonell byggeplass. For å sikre at byggeplassen har en stødig energitilgang uten avbrudd, er det i flere tilfeller nødvendig med effektbesparende tiltak. Tiltak som reduserer effektforbruk kan eksempelvis omfatte mobile batterimoduler og nye oppvarmingsløsninger.

Målet og hensikten med denne oppgaven er å analysere energiforsyningen for prosjektet Midtbygda sykehjem og dimensjonere en løsning som kan sikre at prosjektet har en god forsyningssikkerhet og et lavt kostnadsnivå. Effekttiltakene som vurderes i oppgaven er bruk av mobile batterier for hurtiglading av maskiner og bruk av varmepumpe for oppvarming.

## 2. Litteraturstudie

### 2.1 Bygg- og anleggsbransjen

Bygg- og anleggsbransjen er en av Norges største næringer og sysselsetter om lag 250 000 mennesker og omsetter for mer enn 600 milliarder kroner (BDO, 2019).

I 2017 genererte Norge på tvers av alle sektorer et utslipp tilsvarende 52,8 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (SSB, 2021). Bygg- og anleggsbransjen sto for om lag 15 prosent<sup>1</sup> av disse utslippene (Larsen, 2019). Disse 15 prosentene utgjør det totale produksjonsavtrykket og er fordelt på følgende måte:

Tabell 1: Fordeling av utslipp i bygg- og anleggsbransjen i 2017 (Larsen, 2019).

Bidrag til klimagassutslipp	kt. CO <sub>2</sub> e	Prosentandel
Direkte utslipp på byggeplass/prosjekter	2076	22 %
Utslipp fra eksport tilknyttet næringen	2137	22 %
Utslipp fra nært tilknyttede næringer	4236	45 %
Energibruk til drift av bygg og byggeplass	1005	11 %
SUM:	9454	100 %

Direkte utslipp fra byggeplasser og prosjekter utgjør årlig 2 076 000 tonn CO<sub>2</sub>-utslipp. Om lag 50 % av utslippene direkte fra byggeplasser kan knyttes til forbrenning av diesel i anleggsmaskiner (Kjendseth Wiik, et al., 2020). Disse tallene antyder at fossile anleggsmaskiner er opphav til ca. 2 % av Norges årlige klimagassutslipp.

### 2.2 Utslipp fra bygg- og anleggsmaskiner

Anleggsmaskiner kan inndeles i to grupper: maskiner til grunnarbeid og bygningsarbeid (DNV GL, 2017). Grunnarbeid utgjør den første fasen i mange byggeprosjekter og kan ha skiftende varighet og behov avhengig av grunnforholdene. Enkelte prosjekter kan ha behov for flere maskintyper over lengre tid. Eksempler på maskiner som gjerne inngår i denne typen arbeider er gravemaskin, borerigg og spuntmaskiner. Disse maskintypene er ofte dieseldrevne.

Eksempler på maskiner som inngår i bygningsarbeid er tårnkran, mobilkran, lifter og mindre verktøy. Tårnkraner, lifter og mindre verktøy er i hovedsak elektriske, men har veldig ulikt effektbehov.

I DNV GLs rapport (DNV GL, 2017) fra 2017 blir dieselbehov og utslipp stipulert for en typisk byggeplass. Tallene er basert på erfaringer fra et skolebyggprosjekt som anses som representativt for en gjennomsnittlig norsk byggeplass. Dieselmotoren i maskinene er antatt å ha en virkningsgrad på 30 %. Energiforbruket er beregnet utfra en energitetthet på 10,1 kWh/l for diesel (Rosvold, snl.no, 2019). Diesel har en utslippsfaktor på 265 g CO<sub>2</sub>/kWh ( Miljødirektoratet, 2020). Utslippsfaktoren for biodiesel brukt i bygg- og

---

<sup>1</sup> Denne prosentverdien avviker noe da SSB og rapporten bruker ulike rammer for utslippsberegning

anlegg av typen HVO100 er om lag 65 %<sup>2</sup> av faktoren for vanlig diesel (Miljødirektoratet, 2021).

Tabell 2: Dieselforbruk, energiforbruk og utslipp fra maskinparken på en typisk byggeplass. Utslippstallene stemmer ikke med faktoren oppgitt i denne oppgaven da kilden bruker en annen faktor.

Type maskin	Antall	Periode	Dieselforbruk [l]	Energiforbruk [MWh]	Utslipp [tonn CO <sub>2</sub> e]
Gravemaskin, 30 tonn	3	11 mnd.	51 700	522	130
Mobilkran, 60 tonn	1	1600 timer	32 800	331	30
Diverse småmaskiner	-	-	9 700	98	90
Totalt:	-	-	94 200	951	250

Utslippene i tabellen er basert på bruk av ordinær diesel. For biodiesel av typen HVO100 vil totalutslippet være ~163 tonn. Utslippet fra maskinparken på en typisk norsk byggeplass tilsvarer utslippene fra en mellomstor dieselbil som har kjørt om lag 900 000 km (Standard Norge, 2018).

### 2.3 Utslippsfri byggeplass

Oslo kommune definerer rammene for en utslippsfri byggeplass på følgende måte:

«Energibærere som ikke avgir noen form for utslipp ved bruk, verken CO<sub>2</sub> eller andre gasser som påvirker lokal luftkvalitet (slik som partikkelutslipp og svevestøv). Utslippsfrie energibærere er elektrisitet, hydrogen og fjernvarme. Utslippsfrie maskiner/kjøretøy inkluderer batterielektriske og kabelelektriske maskiner/kjøretøy eller som benytter hydrogen eller annen nullutslippsteknologi.»

(Oslo kommune, 2022)



Figur 1: Figuren viser systemavgrensning hentet fra veileder utarbeidet av DNVGL (Davidsson, Øvrebø Lie, & Rustad, 2018).

<sup>2</sup> Avhenger av LCA-beregningsmåte

I en søknad fra Bergen kommune til Miljødirektoratet om midler til klimasatsning fremkommer det at kommunen regner følgende punkter innenfor rammene for utslippsfri byggeplass (Ravndal, 2021):

- Elektriske anleggsmaskiner.
- Utslippsfri transport av masser.
- ENØK i logistikkplanlegging.
- Utslippsfri oppvarming.
- Utslippsfri transport av ansatte.

Skanska har erfart at rammene for utslippsfrie byggeplasser stadig blir strengere og favner om flere aspekter i byggeprosessen. Eksempelvis har økt tilgjengelighet for elektriske maskiner ført til høyere krav. Minimumskravene tillater fortsatt at deler av maskinparken ikke er elektrisk da enkelte maskintyper fortsatt er vanskelig å anskaffe.

95 % av energibruken innenfor rammene for en utslippsfri byggeplass går med til maskinpark og oppvarming (DNV GL, 2017). SINTEF jobber kontinuerlig med hvor rammene for en utslippsfri byggeplass skal ligge (Fjellheim, 2021).

### **2.3.1 Utslippskrav fra byggherrer og oppdragsgivere**

Oslo er den raskest voksende regionen i Norge og Oslo kommune er dermed en stor oppdragsgiver og byggherre. Kommunen har en ambisjon om at klimagassutslippene i 2030 skal være redusert med 95 % sammenlignet med 2009, og bygg- og anleggsbransjen anses som en av de viktigste bidragsyterne i denne prosessen (Oslo kommune, 2022). Kommunens egne prosjekter har allerede krav om utslippsfrie løsninger, mens målsetningen er at alle byggeplasser i regionen skal være utslippsfrie innen 2030 (Kjendseth Wiik, et al., 2020). Kommunens ambisjoner om utslippsfrie bygg- og anleggskjøretøy fremkommer tydelig i tiltakspakke 4 fra 2018 (Sørensen, 2018).

Bergen kommune som omfatter Norges mest tettbebygde og befolkede strøk etter Oslo (Wikipedia, 2021) har en ambisjon om at alle egne byggeplasser skal være utslippsfrie innen 2025 (Strand, 2020). Utslipp fra maskiner tilknyttet bygg- og anlegg i Bergen kommune tredoblet seg fra 2009 til 2019 (Prestegården, 2021).

Trendene som kommer frem i Oslo og Bergen er ikke unike nasjonalt. I 2020 gjennomførte advokatfirmaet Hjort en vurdering av lovlig hjemmel for krav om utslippsfrie byggeplasser på oppdrag fra regjeringen (Advokatfirmaet Hjort DA, 2020).

Miljødirektoratet har understreket viktigheten av at byggherrer stiller krav til utslippsfrie løsninger samtidig som de støtter næringen i overgangen til elektrisk maskinpark (Hambro, 2020). En reduksjon i utslipp fra maskinparken i norsk bygg- og anleggsnæring er et viktig steg mot utslippsfrie byggeplasser og et utslippsfritt samfunn. Stadig strengere krav og egne miljøambisjoner gjør at entreprenører som Skanska er nødt til å tilpasse seg markedet og gjøre analyser av hvilke løsninger som er mest miljøbesparende og kostnadseffektive.

## 2.4 Utslippsfrie bygg- og anleggsmaskiner

For å møte kravene om utslippsfrie byggeplasser vil det være nødvendig med en omstilling i markedet for bygg- og anleggsmaskiner. Maskiner som historisk sett har vært dieseldrevne må benytte en mer bærekraftig og fornybar drivlinje. Både hydrogen og elektrisitet er energibærere med muligheter for fornybar produksjon og høy nok energitetthet til å drive større anleggsmaskiner. I rapporten fra SINTEF om utslippsfrie gravemaskiner (ZED) fra 2020 (Kjendseth Wiik, et al., 2020) ble det fastslått at tilgang på hydrogen og relevant infrastruktur ville være en utfordring ved valg av en slik drivlinje. ZED landet på konklusjonen at elektrifisering vil være den mest relevante retningen for utslippsfrie gravemaskiner i nærmeste fremtid.

### 2.4.1 Utslipp fra maskiner

Elektriske bygg- og anleggsmaskiner som drives av strøm levert fra nettet, vil ha en 100 % reduksjon i direkteutslipp på byggeplassen. Dette kvalifiserer til utslippsfri byggeplass da rammene ikke tar hensyn til utslipp som skjer på andre lokasjoner som følge av aktiviteten på byggeplassen<sup>3</sup> (Davidsson, Øvrebø Lie, & Rustad, 2018). Reelt sett vil bruk av energi fra det norske strømmettet medføre utslipp. I NS3720 (Standard Norge, 2018) (Metode for klimagassberegninger for bygninger) er utslippsfaktoren for helnorsk elektrisitmiks oppgitt til å være 18 g CO<sub>2e</sub>/kWh (Anvendt i denne oppgaven). Utslippsfaktoren for norsk og europeisk elektrisitmiks er i samme standard oppgitt til 136 g CO<sub>2e</sub>/kWh. Utslippsfaktoren for ren diesel er 14-15 ganger større enn faktoren for norsk strøm. Faktoren for blanding av europeisk og norsk strøm er betraktelig høyere sammenlignet med helnorsk produksjon, men er fortsatt betydelig lavere enn dieselfaktoren. Dersom virkningsgraden for drivlinjen i anleggsmaskinene medregnes, vil dette føre til en ytterligere utslippsreduksjon da virkningsgraden for elektriske maskiner er høyere.

For et av referanseprosjektene i rapporten fra SINTEF ble det fastslått at energiforbruket for en 38 tonns, elektrisk gravemaskin av typen ZERON ZE350LC Eldar (NASTA, 2022) er omtrent 24 % av forbruket til en tilsvarende dieselmaskin. Denne reduksjonen i energiforbruk skyldes primært en høy virkningsgrad for elektriske maskiner. Maskinen har en oppgitt peak-effekt på 210 kW, men brukte i gjennomsnitt 72 kW gjennom prosjektet. Energibesparelsen resulterte i 144 000 NOK energikostnadsreduksjon og 35 t CO<sub>2e</sub> direkteutslippsreduksjon sammenlignet med en tilsvarende dieselgraver i et referanseprosjekt.

### 2.4.2 Energiforsyning til maskiner

Elektriske anleggsmaskiner kan deles inn i tre hovedgrupper:

- Maskiner som drives av batteri.
- Maskiner som drives av kabel.
- Maskiner som benytter både batteri og kabel.

---

<sup>3</sup> Rammene er under utredning

Energiforsyningen til maskinen kan legge føringer på bruksmønster, brukstid og arbeidsoppgaver. For å illustrere forskjellene mellom ulike energiforsyninger brukes ombygde, elektriske gravemaskiner fra NASTA (HITACHI) som eksempel i denne oppgaven. Disse maskinene ble benyttet i studien gjennomført av SINTEF og er blant leveringsklare maskiner i det norske markedet.

Maskiner som benytter rene batteriløsninger, er avhengig av tilstrekkelig ladetid. Det er ikke uvanlig at en maskin kan ha en brukstid på mellom 8 og 12 timer daglig (Kjendseth Wiik, et al., 2020). En slik brukstid impliserer at en typisk gravemaskin må lades 2-3 ganger i døgnet avhengig av arbeidsoppgaver (NASTA, 2022). Dersom én av ladeperiodene er på nattetid, vil det kreves 1-2 oppladninger i arbeidstiden. Ved tilstrekkelig ladeeffekt vil eksisterende arbeidspauser i løpet av dagen kunne dekke et slikt behov. Zeron ZE85 er en elektrisk gravemaskin levert fra NASTA med 100 kWh batteristørrelse (NASTA, 2022). Dersom en slik gravemaskin skal lades helt opp i løpet av en 30 minutters pause, forutsetter dette en forsyning på 200 kW per maskin. Maskinene som er batteridrevet har ofte en løsning for å varme opp batteripakkene i forkant av hurtiglading med hensikt å oppnå optimal ladekurve.

Maskiner som er kablet direkte til strømmettet er avhengig av at nettet kan levere tilstrekkelig effektnivå. ZERON ZE350LC Eldar som ble brukt som eksempel på en tyngre, mellomklasse, 38 tonns gravemaskin i kapittel 2.4.1 er avhengig av en 300 A, 400 V (NASTA, 2022) forsyning for å arbeide optimalt. Dette tilsvarer et peak-effektbehov på omtrent 210 kW.

Maskiner som benytter både kabel og batteri er mindre avhengig av ladetid og høy effektforsyning. Batteri og kabel i kombinasjon brukes for å jevne ut effektbehov og forlenge tiden som kreves før batteriet må lades. Zeron ZE210 (NASTA, 2022) har en motoreffekt på rundt 130 kW og benytter både kabel og batteri for å møte dette behovet. Anbefalt forsyning for maskinen er 125 A, 400V. Dette tilsvarer omtrent 87 kW. Forsyningen kan dimensjoneres lavere enn effektbehovet da batteriløsningen dekker den gjenstående effektmengden. Maskinen kan kjøres 24/7 med kablet tilkobling.

## **2.5 Energiforsyning for elektriske byggeplasser**

Effektuttak for elektriske anleggsmaskiner kan representere et problem for nettselskaper og entreprenører. Elektriske forsyninger må alltid dimensjoneres etter den største lasten eller samtidige effekten systemet kan bli utsatt for. Avhengig av antallet anleggsmaskiner kan effektbehovet bli svært høyt i enkelte perioder. Spesielt i perioder med oppvarmingsbehov på byggeplassen kan forsyningen av energi bli krevende. En del av omstillingen til utslippsfrie byggeplasser er overgangen fra fossil til elektrisk oppvarming. Gjennom samtaler med UCO AS (heretter referert til som UCO), Skanskas riggleverandør, ble det fastlagt at en «typisk» byggeplass for et bygg med størrelse 10 000 m<sup>2</sup>, tilsvarende den brukt i DNV GLs rapport (DNV GL, 2017), vil ha et varmebehov på 480 kW peak (Eriksen, 2021). I den samme rapporten ble det fastlagt at en typisk byggeplass vil trenge tre 30 tonns gravemaskiner, mobilkran, tårnkran og elektriske lifter. Dersom det forutsettes at gravemaskinene skal være kablet eller gå på batteri kan et raskt overslag for akkumulert effektbehov se slik ut (Nielsen, 2019):

Tabell 3: Skissert effektbehov for en helelektrisk, fiktiv byggeplass uten effektbesparende tiltak. Diverse betegner effekt til brakkerigg, elbilladere etc. «Kablet» og «lading» sikter til hvilken energiforsyning maskinen har. Kabling er direkte tilknytning til strømmettet og lading denoterer hurtigladeeffekt.

Type last	Effektbehov [kW]
Tårnkran	60 (kablet)
Byggheis	15 (kablet)
Oppvarming	480 (kablet)
Mobilkran	43 (lading)
Gravemaskiner	600 (lading)
Diverse	30 (kablet)
Totalt	1228

Denne måten å legge sammen peak-effektbehov vil ikke gi et realistisk bilde av den faktiske makseffekten. Sannsynligheten for at alle maskinene forbruker makseffekt samtidig er liten. Bruk av samtidighetsfaktor for å bestemme belastninger er en viktig del av dimensjonering av forsyninger. Ved å hensynta sannsynligheten for samtidig maksbelastning kan det gjøres besparelser i utformingen av elektriske installasjoner. Samtidighetsfaktorer er ofte basert på erfaringstall, men kan også være prosjektspesifikke. Dessverre finnes det per i dag lite kunnskap om samtidighetsfaktoren for en helelektrisk byggeplass, og videre beregninger knyttet til dette eksempelet bruker derfor verdien 1 MW som et utkast til maks peak-effekt (stor størrelse for vanlig byggeplass, men relevant i anleggssammenheng). I et scenario hvor flere maskiner skal hurtiglade i en kort periode vil samtidighetsfaktoren være tilnærmet 1 for dette segmentet. Bruk og betydning av samtidighetsfaktor vil bli drøftet i forhold til resultatene i denne oppgaven. Et totalt effektbehov på 1 MW kan være en stor belastning på strømmettet avhengig av lokasjon og årstid. Gjennom samtaler med Elvia ble det fastlagt at de anså effektbehov på 500 kW eller mer som krevende i Oslo sentrum på vinterstid. Til sammenligning er vanlig peak-effektuttak for en enebolig 25 kW (63A, 230 V). UCO har oppgitt at standardforsyning for en byggeplass er i området 450-550 kW. Dette impliserer at helelektriske byggeplasser vil være avhengige av effektbesparende tiltak for ha tilstrekkelig energiforsyning. Tiltak som lastbalansering og lastforskyvning vil også være kostnadsreduserende med tanke på nettleie og etablering av forsyning.

## 2.6 Bruk av batterier for å utjevne effektforbruk

Batteriteknologi kan brukes for å balansere effektuttaket for utslippsfrie byggeplasser. Ved å installere større, mobile batterier på byggeplassen er det mulig å fordele effektbruken utover døgnet. Batteriene kan lades om natten og utenom arbeidstid ved lav effekt og levere hurtiglading på dagtid. Det totale energibehovet er tilnærmet det samme, men er fordelt utover flere timer. Dette resulterer i et lavere, jevnere og mer forutsigbart effektforbruk. Batterimodulene plasseres sammen med en hurtiglader på byggeplassen.

Det er i dag flere leverandører som tilbyr modulbaserte batteri- og ladeløsninger for bruk i bygg og anlegg. Ohmia Construction (Trønderenergi) og Eviny mobil energi (BKK) er



eksempler på selskaper som i dag leverer løsninger til, og samarbeider med Skanska om elektrifisering av byggeplasser. Selskapene er datterselskaper av nettleverandører i Trøndelag og Bergensområdet og er dermed direkte involvert i elektrifiseringen.



Figur 2: Eviny's batteriløsning i bruk på byggeplass (Eviny, 2022).



Figur 3: Konseptskisse av elektrisk byggeplass med batterier og hurtiglading (Enova, 2022).

Batteriløsningen som tilbys av Eviny er mobile batterier som er skalerbare fra 281 kWh til 1,405 MWh (Eviny, 2022). Batteriene har en nominell effekt på 225 kW og er produsert

av svenske Northvolt. Gitt at en batteripakke kun lades helt opp mellom kl. 16 og kl. 07 neste dag vil nødvendig effekt for opplading være:

$$\dot{P}_{\text{lade mobilt batteri}} = \frac{281 \text{ kWh}}{15 \text{ h}} = 18,73 \text{ kW}$$

Dersom tre slike moduler kan drifte hurtiglading for de tre 30 tonns gravemaskinene brukt i effektseksemplet tidligere i oppgaven vil dette resultere i en effektreduksjon på tilnærmet 600 kW i pausen hvor disse maskinene skal lades. Å beregne nøyaktige verdier for reduksjoner i effektforbruk er ikke mulig uten å simulere i et dataverktøy, men overslaget angir et betydelig potensial for besparelser.

## 2.7 Energi- og effektkostnader

Kostnadene knyttet til elektrifisering er nært knyttet til energikostnader i markedet. Nettleie, strømpris og dieselpris er faktorer som vil ha stor påvirkning på de økonomiske virkningene av en overgang til elektrisk maskinpark.

### 2.7.1 Etableringskostnad for elektrisitet fra kraftnettet

Prisen for å etablere energiforsyning for en byggeplass avhenger av ønsket effektnivå og lokasjon. De fleste leverandører av bygge-strøm oppgir kun priser for etablering av mindre forsyninger da større anlegg kan være mer avhengig av individuelle forhold på den aktuelle byggeplassen. På bakgrunn av sammenligning av tilgjengelig priser fra Viken Energimontasje (Viken Energimontasje, 2022) og Vevig nettselskap (Vevig, 2022) kan det antas at prisen for etablering og nedtak av en forsyning over 125A er minst 5000 kr. I oppgaven forutsettes det at kostnaden for å etablere forsyning vil være tilnærmet lik for fordelinger i området 400 A – 1600 A.

Prisen på leie av strømskap til hovedsentral er hentet fra UCO (UCO, 2021). Prisene satt av UCO er sannsynligvis representative for tilsvarende tjenester fra andre leverandører.

Tabell 4: Priser for leie av strømskap til hovedsentral ved byggeplassen.

Størrelse hovedsentral	Effektnivå [kW]	Leiepris [kr/dag]
80 A 230/400 V	55	118
160 A 230/400 V	111	270
250 A 230/400 V	173	354
400 A 230/400 V	277	523
630 A 230/400 V	436	523
800 A 230/400 V	554	622
1600 A 400 V	1109	1439

Leieprisen er oppgitt i NOK/dag og antyder et betydelig insentiv for å holde effektnivået så lavt som mulig på elektriske byggeplasser. Leiekostnaden for en forsyning mellom 550 kWh og 1100 kWh er eksempelvis det dobbelte av kostnaden for en forsyning under 550 kWh.

### 2.7.2 Nettleie

Prosjektet som skal brukes som casestudie i oppgaven ligger i Bergen kommune og nettleieprisene er derfor fastsatt av nettselskapet BKK Nett (datterselskap av Eviny). Eviny har angitt at maksimalt effektuttak for den aktuelle byggeplassen er 750 kW. Byggeplassen vil befinne seg i prissegmentet for effekt-målte bedriftskunder med hovedsikring større enn 330 A (BKK, 2022). Denne størrelsen på hovedsikring impliserer et effektuttak over 230 kW ved 400 V spenning.

Tabell 5: Nettleiepriser for effekt-målte bedriftskunder med hovedsikring over 330A (BKK, 2022).

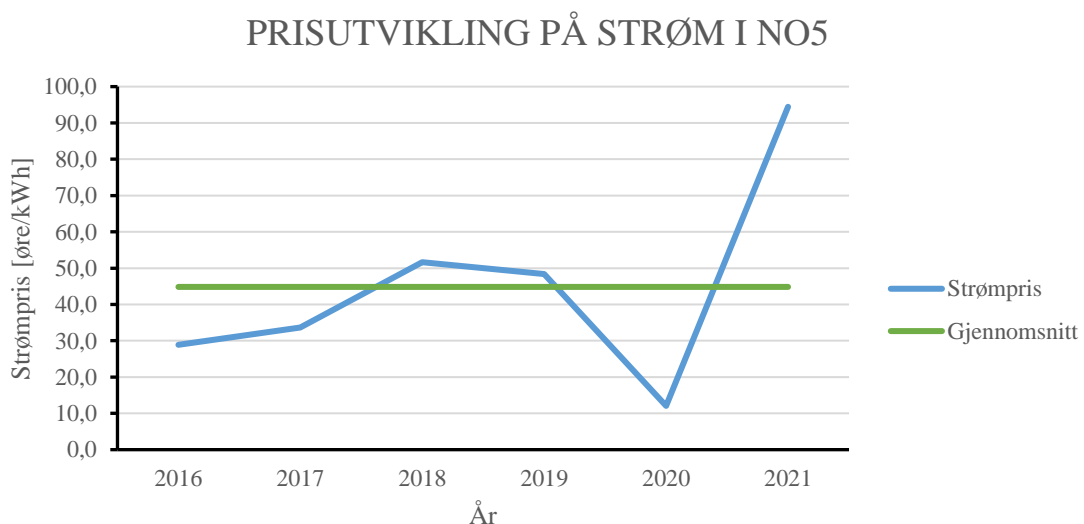
Årstid	Fasteledd/måned [NOK/måned]	Energiledd [NOK/kWh]	Effektledd [NOK/kW]	
			0-200 kW	over 200 kW
Sommer	1833	0,036	58,2	51
Vinter	1833	0,042	67,7	57

Prismodell for månedsvise nettleie vil være slik:

$$\text{Nettleie} = \text{Fasteledd} + \text{Energiledd} \cdot E_{\text{strøm, total}} + \text{Effektledd} \cdot \dot{P}_{\text{max}} \quad [1]$$

### 2.7.3 Strømpris

Gjennomsnittlig strømpris i det geografiske området rundt Bergen, NO5, har i perioden fra 2016 til 2021 vært tilnærmet 45 øre/kWh (LOS, 2022). Prisen har hatt tidvis store svingninger. Gjennomsnittsprisen for 2020 var 12 øre/kWh mot 94 øre/kWh i 2021.



Figur 4: Prisutvikling for strøm fra 2016 til 2021 i NO5 (LOS, 2022).

Historisk sett har Norge grunnet en høy andel vannkraft i elektrisitetsproduksjon hatt en lav og forutsigbar strømpris. Ved nærmere tilknytning til det europeiske markedet og en høyere andel fornybar kraft med lav forsyningsikkerhet er strømprisen i fremtiden ifølge NVE ventet å ha større variasjoner enn tidligere. Økningen i CO<sub>2</sub>-avgift er ventet å medføre økninger i strømprisen i årene frem mot 2040 (NVE, 2021) da strømproduksjon i

andre europeiske land i større grad er basert på fossile kilder. Det er ventet at denne avgiftsøkningen vil «smitte» over på det norske markedet.

For simuleringer og beregninger utført i oppgaven vil strømprisen settes til 100 øre/kWh<sup>4</sup>. Prisen er basert på den ekstraordinære energisituasjonen som preger Europa i 2022.

### 2.7.4 Dieselpriis

Dieselpriisen i Norge har steget jevnt siden 1986 og er forventet å stige ytterligere i årene som kommer da det er sannsynlig at CO<sub>2</sub>-avgiften vil økes (SSB, 2022). Prisstigningen på diesel må også ses i sammenheng med utviklingen i energimarkedet knyttet til kjøp og salg av russisk olje og gass.



Figur 5: Prisutvikling på avgiftspliktig diesel fra 1986 til 2022 (SSB, 2022).

I mai 2022 var prisen for HVO100 anleggsbiodiesel 30,65 NOK/l<sup>5</sup>. Prisen for vanlig anleggsdiesel var 19,46 NOK/l (CircleK, 2022).

### 2.7.5 Priskorrelasjon og utvikling i energimarkedet

Prisene på ulike former for energi har i skiftende grad korrelerende egenskaper. Dieselpriisen er naturligvis nært knyttet til oljepriisen. Det fremkommer også korrelasjoner mellom perioder med høye oljepriiser og strømpriser (Cojocaru & Myrann, 2017). Det er sannsynlig at denne korrelasjonen blir noe dempet i Norge da kraftproduksjonen er mindre avhengig av olje og gass enn andre europeiske nasjoner. Disse korrelasjonene vil påvirke kostnadsanalysen av en elektrifisering av norske byggeplasser.

Korrelerende egenskaper vil gjøre det mindre sannsynlig (men ikke umulig) at en energikilde er svært lavt eller høyt priset i forhold til de andre.

<sup>4</sup> Kostnadsnivå og påvirkninger for andre strømprisnivåer fremlegges i diskusjonskapittel

<sup>5</sup> Brukes som grunnlag i kostnadsanalyse i diskusjonskapittel

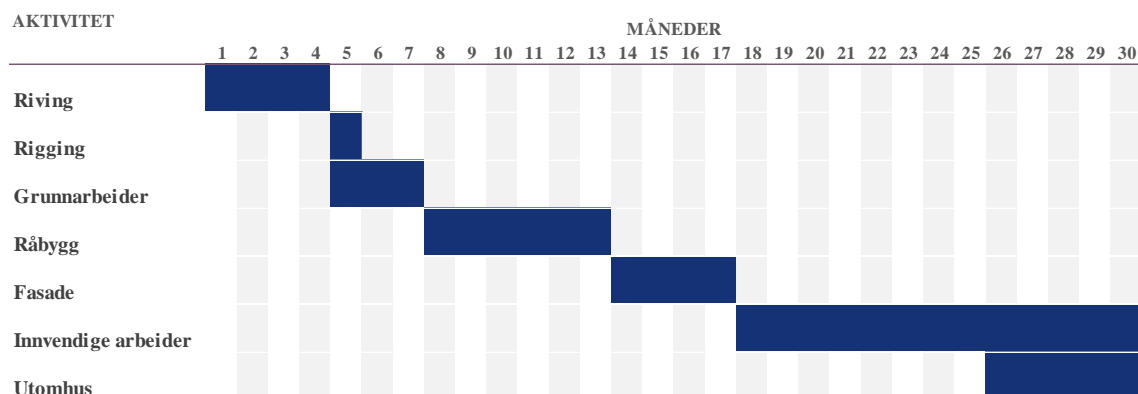
### 3. Beskrivelse av casestudie

For å illustrere og simulere hvordan effektforbruket for en elektrisk byggeplass vil se ut og forløpe brukes et av Skanskas prosjekter fra Bergensområdet. Caseprosjektet er «Midtbygda sykehjem».

#### 3.1 Prosjektintroduksjon

Bergen kommune vedtok i 2016 en ny plan for helsesektoren kalt «Omsorg med kunnskap». En del av planen var bygging av et nytt sykehjem i Åsane og rivning/rehabilitering av eksisterende bygningsmasse (Johnsen, 2017). Skanska signerte i siste halvdel av 2021 en samspillskontrakt med Bergen kommune om rivning og nybygging av Midtbygda sykehjem (Skanska Norge, 2021). Den eksisterende bygningsmassen som har huset sykehjemmet skal rives, og et nytt bygg skal oppføres. Nybygget blir på ca. 13 000 m<sup>2</sup> og skal bli et korttids- og rehabiliteringshjem med 100 beboerrom. Prosjektet har høye miljøambisjoner, og sikter mot både plusshus- og «BREEAM-NOR Excellent»-sertifisering. Prosjektet skal være et pilotprosjekt for utslippsfrie byggeplasser i Bergen kommune.

Prosjektet har oppstart i begynnelsen av 2023 og har en forventet varighet på rundt 130 uker. Prosjektet er i oppgaven gitt en varighet fra 01.01.2023 til 30.06.2025.



Figur 6: Gantt diagram for prosjektet Midtbygda sykehjem. Diagrammet er basert på prosjektets fremdriftsplan.

#### 3.2 Prosjektets maskinbehov

Prosjektet har behov for ulike maskiner i de forskjellige periodene. I forbindelse med forarbeidet til prosjektet er det gjennomført en vurdering av hvilke maskiner som behøves i hvilke perioder og i hvilken grad disse maskinene kan være elektriske. Oversikten som blir fremlagt i denne oppgaven er basert på vurderingen som er gjennomført av Skanska, men det er grunnet konkurransehensyn gjort endringer på noen spesifikke maskinnavn og typer. Der maskintype eller navn er endret eller fjernet bruker oppgaven et alternativ med tilsvarende egenskaper som maskinen tiltenkt prosjektet. Data om maskinene er hentet fra datablad og tekniske opplysninger fra leverandør. Dette gjelder også maskinene som ikke er navngitt.





Figur 7: Figuren viser maskinparken for hver av periodene i prosjektet.

I denne oversikten vises kun maskiner som er helelektriske da andre maskiner ikke er forventet å påvirke det elektriske effektforbruket i særlig grad. Perioden for opprigging av byggeplassen er ikke tatt med da elektrisitetsbehovet for maskiner i denne perioden er slått sammen med grunnarbeidene.

Tabellene under viser tekniske spesifikasjoner for maskinene som brukes i ulike perioder. Antall ladesykluser per døgn er estimert på bakgrunn av opplysninger om batteritid ved gjennomsnittlig arbeidsbelastning fra produsent. For maskinene med én syklus er det antatt at denne ladingen forekommer utenfor arbeidstid på kveld og natt. For maskiner med to ladesykluser er det antatt at en av disse oppladingene skjer med hurtiglading spisepausen i løpet av arbeidsdagen.

### 3.2.1 Riveperiode

Tabell 6: Tekniske spesifikasjoner for elektriske maskiner brukt til rivningsarbeid.

Maskintype	Betegnelse	Energiforsyning	Kablet effekt [kW]	Batteristørrelse [kWh]	Maks ladeeffekt [kW]	Ladesyklus [antall/døgn]	Ladeeffekt natt [kW]
Riverobot 1	Husqvarna 270	Kabel	25				
Riverobot 2	Husqvarna 270	Kabel	25				
Riverobot 3	Husqvarna 270	Kabel	25				
Sakselift 1	Genie GS-4069 DC	Batteri		15	3,5	1	1,3
Sakselift 2	Genie GS-4069 DC	Batteri		15	3,5	1	1,3
Sakselift 3	Genie GS-4069 DC	Batteri		15	3,5	1	1,3
Gulvsliper	Columbus 145 SH	Kabel	2				
Minidumper	Wacker Neuson DW15e	Batteri		14,4	1,8	2	1,2
Minidumper	Wacker Neuson DW15e	Batteri		14,4	1,8	2	1,2
Minidumper	Wacker Neuson DW15e	Batteri		14,4	1,8	2	1,2
Rivemaskin	Doosan DX300	Batteri		390	150	2	44,0
Rivemaskin	Cat 320 Z-line	Batteri		300	150	2	40,5
Rivemaskin	Cat 310 Z-line	Batteri		150	75	2	20,5

### 3.2.2 Grunnarbeider

Tabell 7: Tekniske spesifikasjoner for elektriske maskiner brukt til grunnarbeider.

Maskintype	Betegnelse	Energiforsyning	Kablet effekt [kW]	Batteristørrelse [kWh]	Maks ladeeffekt [kW]	Ladesyklus [antall/døgn]	Ladeeffekt natt [kW]
Gravemaskin	Doosan DX300	Batteri		390	150	2	44,0
Gravemaskin	Doosan DX300	Batteri		390	150	2	44,0
Gravemaskin	Cat 320 Z-line	Batteri		300	150	2	40,5
Gravemaskin	Cat 320 Z-line	Batteri		300	150	2	40,5
Gravemaskin	Cat 310 Z-line	Batteri		150	75	2	20,5
Vals	Dynapac CC900 e	Batteri		100	75	2	20,5
Borerigg	Liebherr LB 16	Batteri		720	80	1	40,0
Hjullaster	-	Batteri		40	17	2	3,3
Knuseverk	Keestrack K7e Zero	Kablet	86,5				
Lastebil	Volvo FE electric	Batteri		265	150	1	22,0

### 3.2.3 Råbygg

Tabell 8: Tekniske spesifikasjoner for elektriske maskiner brukt til arbeider med råbygg.

Maskintype	Betegnelse	Energiforsyning	Kablet effekt [kW]	Batteristørrelse [kWh]	Maks ladeeffekt [kW]	Ladesyklus [antall/døgn]	Ladeeffekt natt [kW]
Tårnkran	-	Kablet	60				
Tårnkran	-	Kablet	60				
Gravemaskin	Cat 320 Z-line	Batteri		300	150	2	40,5
Gravemaskin	Cat 310 Z-line	Batteri		150	75	2	20,5
Lastebil	Volvo FE electric	Batteri		265	150	1	22,0

### 3.2.4 Fasade

Tabell 9: Tekniske spesifikasjoner for elektriske maskiner brukt til fasadearbeider.

Maskintype	Betegnelse	Energiforsyning	Kablet effekt [kW]	Batteristørrelse [kWh]	Maks ladeeffekt [kW]	Ladesyklus [antall/døgn]	Ladeeffekt natt [kW]
Tårnkran	-	Kablet	60				
Bomlift	Manitou 200 ATJE	Batteri		22	3	1	1,8
Gravemaskin	Cat 320 Z-line	Batteri		300	150	2	40,5
Gravemaskin	Cat 310 Z-line	Batteri		150	75	2	20,5
Lastebil	Volvo FE electric	Batteri		265	150	1	22,0

### 3.2.5 Innvendige arbeider

Tabell 10: Tekniske spesifikasjoner for elektriske maskiner brukt til innvendige arbeider.

Maskintype	Betegnelse	Energiforsyning	Kablet effekt [kW]	Batteristørrelse [kWh]	Maks ladeeffekt [kW]	Ladesyklus [antall/døgn]	Ladeeffekt natt [kW]
Tårnkran	-	Kablet	60				
Sakselift	Genie GS-4069 DC	Batteri		15	3,5	1	1,25
Sakselift	Genie GS-4069 DC	Batteri		15	3,5	1	1,25
Sakselift	Genie GS-4069 DC	Batteri		15	3,5	1	1,25
Byggeheis	Geda P22	Kablet	44				

### 3.2.6 Utomhus

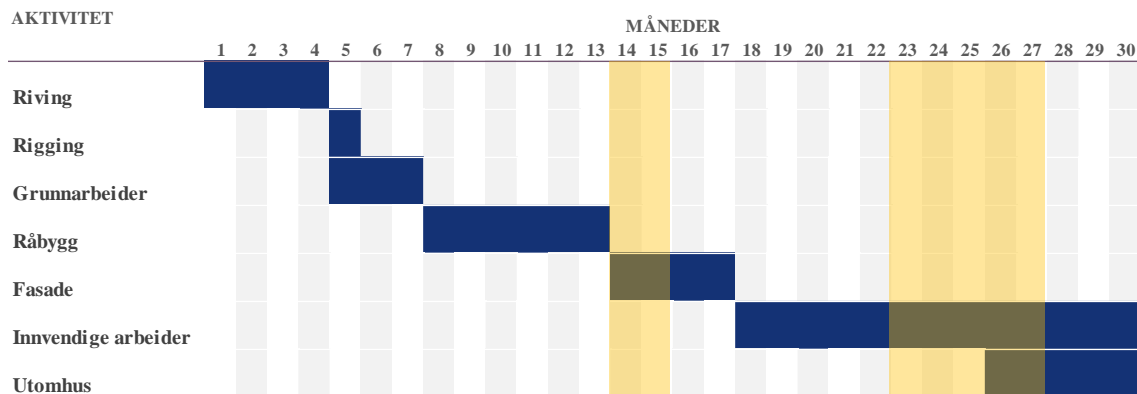
Tabell 11: Tekniske spesifikasjoner for elektriske maskiner brukt i arbeider utomhus.

Maskintype	Betegnelse	Energiforsyning	Kablet effekt [kW]	Batteristørrelse [kWh]	Maks ladeeffekt [kW]	Ladesyklus [antall/døgn]	Ladeeffekt natt [kW]
Gravemaskin	Cat 320 Z-line	Batteri		300	150	2	40,5
Gravemaskin	Cat 310 Z-line	Batteri		150	75	2	20,5
Hjullaster	Volvo 5 tonn (L25)	Batteri		39	12	2	12,0

## 3.3 Prosjektets oppvarmingsbehov

Oppvarmingsperioden for byggeplasser er ifølge UCO fra og med november til og med mars. Byggeplassen er forventet å trenge varme i fyringssesongen fra råbyggperioden i prosjektet starter til innvendige arbeider er ferdige. Oppvarmingen brukes til å tørke ut råbygg, oppnå tilfredsstillende arbeidstemperatur og bidra til herdeprosesser for betong og maling (DNV GL, 2017). Byggeplassen vil trenge oppvarming gjennom to fyringssesonger i prosjektets levetid. Da ulike herdeprosesser gjerne kan finne sted også utenfor arbeidstid er oppvarmingen antatt å være påslått 24/7 gjennom fyringssesongen. I figuren under er prosjektplanen påtegnet fyringssesonger for å illustrere i hvilke perioder dette blir aktuelt.





Figur 8: Gantt diagram med gule soner som indikerer fyringssesong. Diagrammet er basert på prosjektets fremdriftsplan.

Ved bruk av elektrisk oppvarming er det antatt en 100 % virkningsgrad (Rosvold, snl.no, 2018). Effektforbruket vil da samsvare med behovsprofilen. Informasjon om fossil oppvarming eller fjernvarme er ikke inkludert da de ikke anses som relevante knyttet mot prosjektet. En eventuell bruk av disse oppvarmingskildene ville redusert det elektriske behovet for oppvarming til neglisjerbare verdier. Varmepumpe vil vurderes som et alternativ til oppvarming for prosjektet.

### 3.4 Andre belastninger i prosjektet

Prosjektet vil ha behov for elektrisk energi for å drifte brakker og tilhørende aktiviteter. Oppvarming av kontorarealer, elbillading og lading av mindre elektriske verktøy er blant aktivitetene som vil kreve energi. For å allokere nok effekt til dette punktet antas det en grunnbelastning på 60 kW for arbeidstid (07:00 til 16:00) på vinteren. Dette tilsvarer eksempelvis to elbilladere på 22 kW hver (vanlig maksbelastning ved 400 V) og 16 kW drift av brakker og containere. Utenfor arbeidstid antas det at denne belastningen vil være 10 kW på vinteren. Utenfor fyringssesong antas det at belastningen for arbeidstid og kveld/nattetid er henholdsvis 50 kW og 2 kW. Disse verdiene er basert på tall fra Satema (Nielsen, 2019). Størrelsen på verdiene er kraftig preget av hvorvidt de ansatte har tilgang til lading av private, elektriske kjøretøy. Dersom ansatte ikke lader private kjøretøy, vil belastningen på dagtid være kraftig redusert.

### 3.5 Energiforsyning og batterier

Eviny er en del av pilotprosjektet ved Midtbygda og vil ved behov levere batteriløsning til byggeplassen. Selskapet er også netteier i Bergensområdet og vil dermed også være involvert i prosessen med å etablere strømforsyning.

Eviny har antydnet at maksimal tilgjengelig effekt for byggeplassen ved Midtbygda vil være 750 kW. For prosjektet vil det være kostnadmessig gunstig å ha så lite effektuttak som mulig. Kostnadene som varierer utfra effekt er månedlig nettleie og leiekostnad for hovedsentral.

Batterienerne som inngår i beregningene, er tilsvarende de beskrevet tidligere i oppgaven. Hver modul har en kapasitet på 281 kWh og en nominell effekt på 225 kW (Eviny, 2022). En modul kan altså levere en effekt på maksimalt 225 kW i omtrent 1 time og ett kvarter. Dette medfører at dersom flere maskiner skal hurtiglade med en samlet effekt over 225 kW, vil det være behov for flere moduler uavhengig av energimengden som tas ut. Batteriet kan utvides med flere moduler trinnvis opp til en størrelse på 1405 kWh. Byggeplassen kan endre antall moduler på månedsbasis etter behov (Eviny, 2022).

Det forutsettes i oppgaven at prosjektet ikke benytter batterier til andre formål enn hurtiglading av maskiner da dette foreløpig har vært den tiltenkte anvendelsen av løsningen (Eviny, 2021).

## 4. Metode

### 4.1 Metode for å beregne effekt- og energibehov for byggeplass

#### 4.1.1 Rammer og antagelser i beregninger

##### *Batteribank og lading)*

Størrelsen på batterimodulen knyttet til ladeløsning i enkelte scenarioer defineres av maskinparken for den aktuelle perioden i byggeprosessen. Batteristørrelsen settes til å være minimum energimengden maskinene med hurtiglading og to ladesykluser i døgnet tilegner seg gjennom lading i spisepausen på 45 minutter:

$$\text{Batteristørrelse} = \dot{P}_{\text{ladeeffekt}} \cdot 0,75h \quad [Wh] \quad [2]$$

Batteribanken vil avregnes til nærmeste hele modul (trinnvis 281 kWh), men kan rundes ned om det er hensiktsmessig og innenfor en rimelig dimensjonert størrelse. I tillegg må batteriene tilpasses ladeeffekten som kreves. Hver modul kan levere 225 kW til hurtiglading. Det vil si at batteribanken både må kunne levere energimengden som tas ut i spisepausen, men også ha nok moduler til å oppnå ønsket effekt. Eksempelvis vil 800 kW hurtiglading over en periode på 45 minutter kreve en energimengde på 600 kWh. Basert på ren energi vil 3 batterimoduler på 281 kWh ha mer enn nok energi tilgjengelig, men vil ikke kunne levere denne energien raskt nok da de har en summert effekt på bare 675 kW.

Det forutsettes at batteriene på byggeplassen kun kan brukes til å drifte hurtiglading av maskiner og ikke andre laster. Prosjektet forutsettes å ha en 45 minutter spisepause mellom 11:00 og 11:45 som benyttes til hurtiglading av maskiner. I scenarioer hvor batterier anvendes for hurtiglading av maskiner forutsettes det at disse batteriene lades utenfor arbeidstid.

Maskinene i prosjektet er forventet å ha ulikt behov for antall oppladninger. I oversikten over prosjektmaskinene ble antall ladesykluser per maskin per døgn beregnet. Maskinene som har en enkelt ladesyklus, vil lade utenfor arbeidstid (16:00 – 07:00). Det anses som lite hensiktsmessig å hurtiglade på natten. Effekten som brukes for lading på natt er antatt for maskiner hvor laveste ladeeffekt ikke er kjent og kan avvike fra reell effekt. Det er ikke forventet at dette vil påvirke dimensjonering av forsyning. For maskinene med to ladesykluser antas det at disse lades utenfor arbeidstid, men også en gang i løpet av arbeidsdagen ved maksimum effekt (hurtiglading i spisepause). Ladingen i spisepausen antas å gi tilstrekkelig energi til at maskinen har kapasitet ut arbeidsdagen. Det antas at maskinene har tomt batteri ved endt arbeidsdag, at batteripakkene er forhåndsvarmet i forkant av ladeprosessen og at virkningsgraden for ladingen er tilnærmet 100 %.

### ***Effekt og energi***

For perioder med oppvarmingsbehov vil daglig effektprofil som beregnes være basert på dagen med høyest oppvarmingsbehov i måneden.

Det forutsettes at prosjektet vil forbruke om lag samme mengde elektrisk energi til maskinparken for uansett om den er direkte kablet til strømmettet eller bruker batterilading. Reelt sett vil elektrisk utstyr som batterier ha en gitt virkningsgrad, og noe energi vil gå tapt i ladeprosessen. Siden energimengden for maskinene er antatt å være lik vil kostnaden for energi og totalt utslipp av klimagasser være likt for maskinparken for de ulike løsningene som presenteres. Dette gjør også at energileddet av nettleien tilknyttet maskinparken vil være konstant for alle scenarioene.

Direkte summasjon av effekter på måten det gjøres i denne oppgaven gir ikke et realistisk utgangspunkt for energiberegning, og det er liten sannsynlighet for at maksbelastninger fordelt over flere laster inntreffer samtidig. Grafene og beregningene i oppgaven viser mulig makseffekt i gitte perioder og ikke faktisk forbruk.

Den tillatte maksgrensen for effekt er satt til 750 kW da dette er oppgitt hovedfordelingsstørrelse angitt av Eviny.

### ***Kostnader og utslipp***

Utslipp som følge av transport, bruk og produksjon av batterier er ikke medregnet.

Flere leverandører av batteriløsning ønsket ikke å oppgi eksakte leiepriser for batteriløsningen og leiekostnaden blir dermed utelatt fra beregningen av totale kostnader. Siden leiekostnaden er ukjent vil besparelser som følge av batteriløsningen brukes som et utgangspunkt for å beregne hvor mye entreprenøren vil være villig til å betale i spesifikke måneder<sup>6</sup>.

#### **4.1.2 Konsepter og scenarioer**

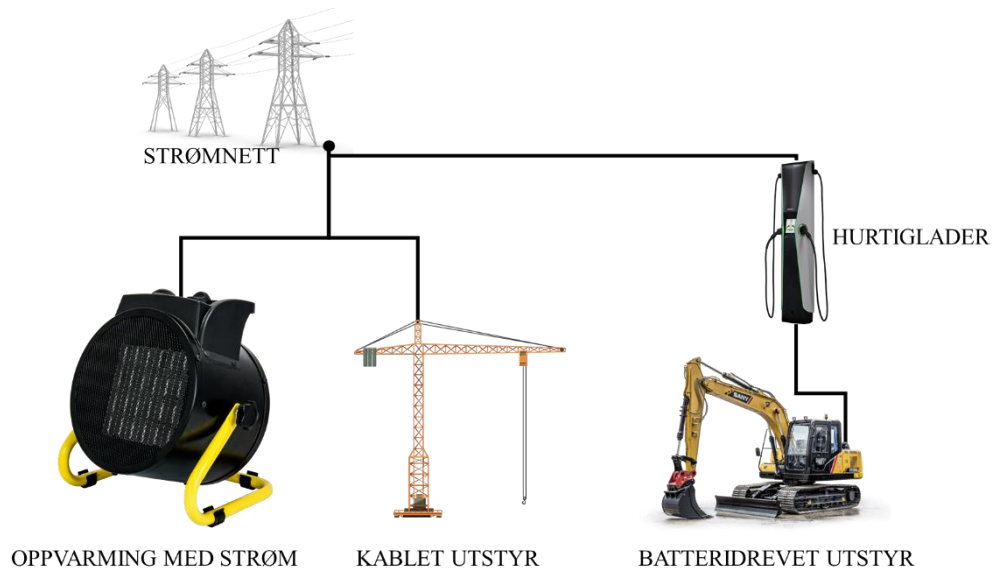
For å analysere effektforbruket på byggeplassen er det hensiktsmessig å benytte scenarioer med ulike løsninger og tiltak. Tiltakene som er innført i scenarioene er basert på de løsningene som er planlagt anvendt på byggeplassen og på løsninger som er tilgjengelige i markedet. Batteriløsninger er under utredning for prosjektet, og er derfor ett av tiltakene som introduseres. Bruken av varmepumpe for effektreduksjon er basert på at oppvarmingsbehovet er antatt å være en av de større lastene i prosjektet (DNV GL, 2017).

---

<sup>6</sup> Noen måneder kan være mer lukrative enn andre da de kutter behovet for en større hovedsentral. Leiekostnaden for løsningen analyseres i resultatene.

### Scenario 1)

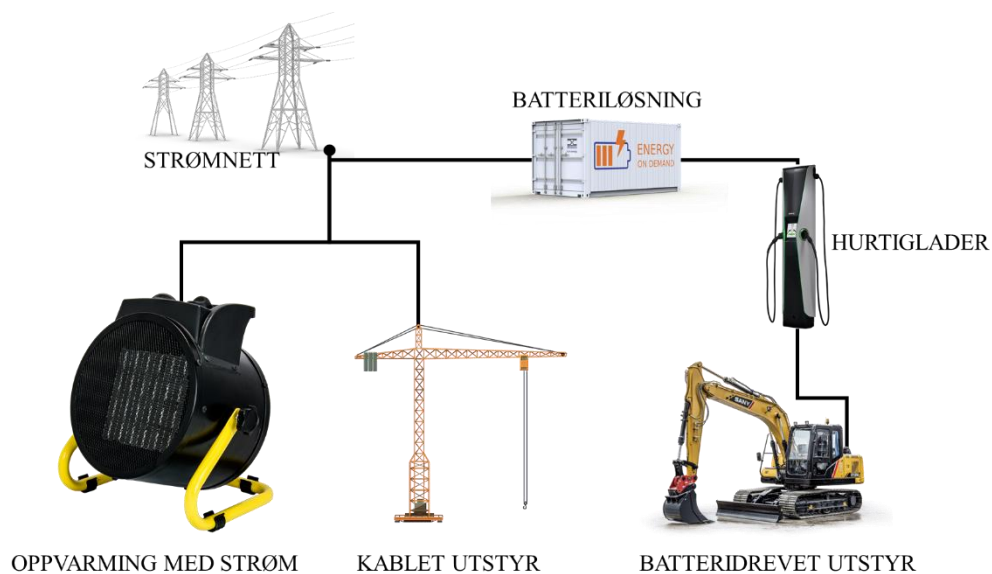
Dette scenarioet tar utgangspunkt i at alle kablede kjøretøy, ladeprosesser og utstyr er direkte tilkoblet strømmettet som vist i figur 9. Byggeplassen bruker direkte strømfyring til oppvarming. Scenarioet er ment å være et referansegrunnlag hvor det ikke er gjort noen tiltak for å styre effektbruken på byggeplassen.



Figur 9: Forenklet illustrasjon av Scenario 1. Utstyret i illustrasjonen er ikke representativt for casestudiet.

### Scenario 2)

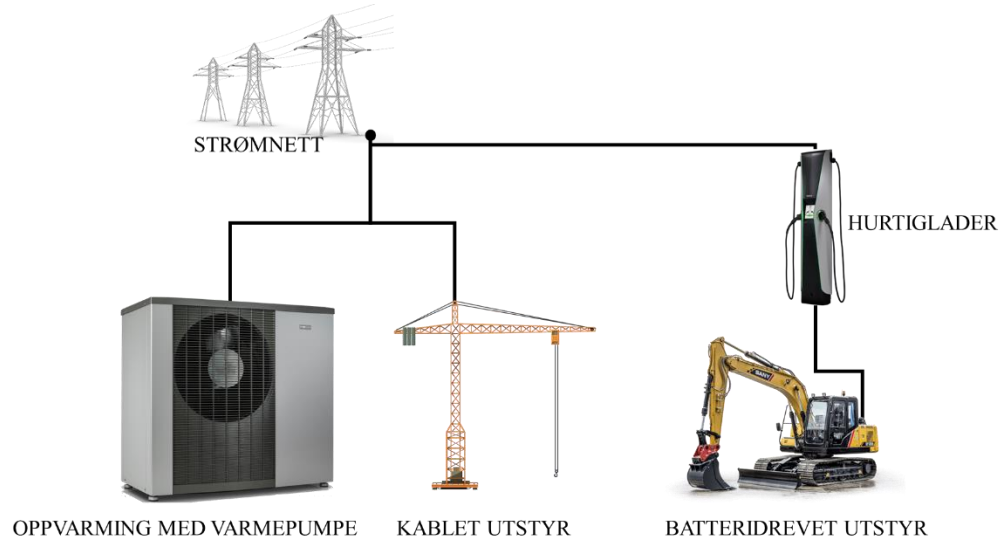
I dette scenarioet benytter byggeplassen batterier for å hurtiglade maskiner i spisepausen som vist i figur 10. Batterikapasiteten vil være basert på modulstørrelsen til batterier fra Eviny og levert energimengde til hurtigladende kjøretøy. Byggeplassen benytter direkte strømfyring til oppvarming.



Figur 10: Forenklet illustrasjon av Scenario 2. Utstyret i illustrasjonen er ikke representativt for casestudiet.

### Scenario 3)

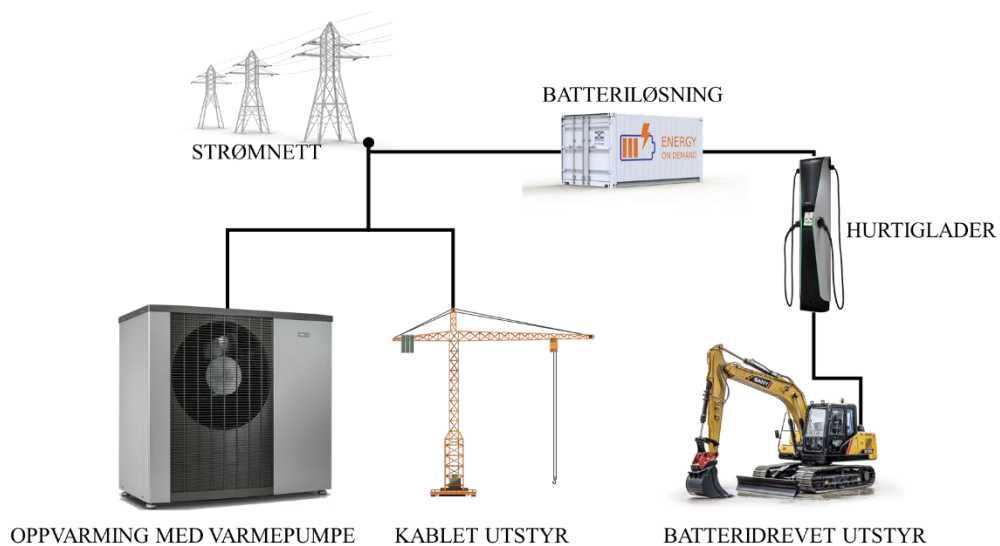
I dette scenarioet benytter prosjektet varmepumpe til oppvarming av byggeplassen som vist i figur 11. Energiforsyningen for maskinpark og hurtiglading er direkte tilkoblet strømnettet.



Figur 11: Forenklet illustrasjon av Scenario 3. Utstyret i illustrasjonen er ikke representativt for casestudiet.

### Scenario 4)

I dette scenarioet benytter byggeplassen batterier for å hurtiglade maskiner i spisepausen og varmepumper til oppvarming som vist i figur 12. Denne løsningen tilsvarer en kombinasjon av Scenario 2 og 3. Batterikapasiteten vil være basert på modulstørrelsen til batterier fra Eviny og levert energimengde til hurtigladende kjøretøy.



Figur 12: Forenklet illustrasjon av Scenario 4. Utstyret i illustrasjonen er ikke representativt for casestudiet.

### 4.1.3 Sammensetning av effektprofiler

For å analysere energiforsyningen til byggeplassen blir Excel anvendt som beregningsverktøy.

For å generere daglige effektprofiler med timesoppløsning må effektsammensetningen for hver time i døgnet settes sammen av kjente belastninger på byggeplassen. De kjente belastningene består av beregnet oppvarmingsbehov, antatte grunnbelastninger (lading av elbiler, brakkedrift osv.) og maskinbelastninger. For å illustrere hvordan effektprofilene er bygget opp brukes dagen for dimensjonerende last for februar 2024:

*Tabell 12: Belastninger for dag med maksimalt behov februar 2024.*

Belastninger	Effekt [kW]
Maks oppvarmingseffekt strøm	379
Maks oppvarmingseffekt varmepumpe	159
Grunnbelastning dag	60
Grunnbelastning natt	10
Kablet kjøretøyeffekt	60
Ladeeffekt spisepause	225
Ladeeffekt natt	85

Belastningene legges så inn i en dagsprofil:

*Tabell 13: Dagsprofil med ulike belastninger.*

Tidspunkt	Belastninger
00:00-01:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
01:00-02:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
02:00-03:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
03:00-04:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
04:00-05:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
05:00-06:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
06:00-07:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
07:00-08:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
08:00-09:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
09:00-10:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
10:00-11:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
11:00-12:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Ladeeffekt spisepause
12:00-13:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
13:00-14:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
14:00-15:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
15:00-16:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning dag + Kablet kjøretøyeffekt
16:00-17:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
17:00-18:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
18:00-19:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
19:00-20:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
20:00-21:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
21:00-22:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
22:00-23:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt
23:00-00:00	Oppvarmingseffekt + Grunnbelastning natt + Ladeeffekt natt

Oppvarmingseffekt vil denotere effekt for direkte strømfyring eller varmpumpe avhengig av scenario. For scenarioer med batteriløsninger, må batteriets ladeeffekt legges inn utenfor arbeidstid og hurtiglading av maskiner forutsettes å utgjøre 0 kW i effektuttak fra strømmettet i spisepausen.

For å beregne utgifter til leie av utstyr, etablering av forsyning og nettleie brukes prismodellene som ble presentert under kapitlet om energi- og effektkostnader i litteraturstudiet. For å beregne den totale nettleien beregnes energileddet for oppvarming, grunnbelastning og maskinpark først, før effektleddet beregnes for alle belastningene samlet.



#### 4.1.4 Beregning av energiforbruk til maskinpark og grunnbelastning

Hovedfokuset ved dimensjonering av forsyninger vil være effektforbruk, men energimengder vil påvirke det totale kostnads- og utslippsbildet. Da lastprofiler for mye av det elektriske utstyret er ukjent, brukes erfaringstall som grunnlag for energiberegning. I SINTEFs rapport om nullutslippsgravemaskiner (Kjendseth Wiik, et al., 2020) ble prosjektet «Biri omsorgssenter» brukt som prøveprosjekt. Gravemaskinen ved prosjektet hadde en oppgitt peak-effekt på 210 kW, men hadde en gjennomsnittlig bruk på 72 kW (28 224 kWh fordelt på 392 arbeidstimer). Dette resulterer i et gjennomsnittlig effektforbruk på om lag 34 % av peak-effekt. Da det er lite data tilgjengelig om de ulike anleggsmaskinenes energiforbruk, antas det i beregninger at de forbruker 34 % av peak-effekt i gjennomsnitt ved en normal arbeidsdag.

For grunnbelastning bestående av brakker, mindre elektrisk utstyr og elektrisk kjøretøylading for ansatte legges det til grunn et forbruk på 120 000 kWh årlig. Tallet er basert på erfaringstall fra EBA på 99 000 kWh årlig per rigg (EBA) og en antatt energimengde avgitt fra to 22 kW elbilladere.

#### 4.1.5 Beregning av kostnader og utslipp

Beregning av energikostnader og nettleie gjøres på bakgrunn av de prismetodene og priser som er oppgitt i litteraturkapitlet.

For elektrisitet er det i oppgaven fastsatt en energipris på 100 øre/kWh.

Nettleie blir beregnet utfra energiledd og makseffekt per måned.

Tabell 14: Tabellen viser satser for beregning av nettleie.

Årstid	Fastledd/måned [NOK/måned]	Energiledd [NOK/kWh]	Effektledd [NOK/kW]	
			0-200 kW	over 200 kW
Sommer	1833	0,036	58,2	51
Vinter	1833	0,042	67,7	57

Prismetode for månedsvise nettleie vil være slik:

$$\text{Nettleie} = \text{Fastledd} + \text{Energiledd} \cdot E_{\text{strøm, total}} + \text{Effektledd} \cdot \dot{P}_{\text{max}} \quad [3]$$

Leiekostnader for hovedsentral blir beregnet på bakgrunn av priser oppgitt av UCO (UCO, 2021).

Totalkostnad for hvert scenario vil beregnes på bakgrunn av alle kjente kostnader.

$$\text{Totalkostnad} = \text{Nettleie} + \text{Leiekostnad}_{\text{oppvarming}} + \text{Strømkostnad} + \text{Leiekostnad}_{\text{hovedsentral}} \quad [4]$$

Beregning av utslipp fra byggeplassen vil gjøres på bakgrunn av den elektriske energimengden som forbrukes. Energimengden vil multipliseres med en utslippsfaktor på 18 g CO<sub>2</sub>e/kWh. Bakgrunnen for valg av denne faktoren blir drøftet i diskusjonskapitlet i oppgaven.

$$\text{Totalt utslipp} = E_{\text{elektrisk}} \cdot \text{utslippsfaktor} \quad [ 5 ]$$

## 4.2 Metode for å bestemme oppvarmingsbehov

For å bestemme oppvarmingsbehov og vurdere oppvarmingsløsninger for byggeplassen brukes scriptet som er vedlagt nederst i oppgaven. Scriptet benytter informasjon om bygningsstrukturen og værforhold til å beregne oppvarmingsbehov for fyringssesongen.

### 4.2.1 Inngangsverdier i beregninger

Scriptet henter inn timesoppløst temperaturdata for november til mars for lokasjonen til den aktuelle byggeplassen. For å ta høyde for årlige variasjoner er temperaturene gitt som et gjennomsnitt over de siste 10 årene (Norsk klimaservicesenter, 2022). Innvendig temperatur i bygget kan settes til ønsket verdi. For beregningene i denne oppgaven settes ønsket innvendig temperatur til 15 °C. Dette anses som en realistisk gjennomsnittstemperatur for arbeid, tørking og herding.

Bygningens overflateareal (tak + vegger) og totale volum er nødvendige inngangsverdier for å beregne energitap til omgivelsene. Midtbygda sykehjem er beregnet å ha et overflateareal på om lag 5300 m<sup>2</sup> og et volum på ca. 39 000 m<sup>3</sup>.

Hvorvidt bygget er avhengig av spesifikk fasadeoppvarming eller er et rehabiliteringsprosjekt, kan ha innvirkning på oppvarmingsbehovet. Det anses ikke om som relevant for Midtbygda sykehjem.

For råbygget i casestudiet settes luftutskiftningskonstant til 0,7 /h (Eriksen, 2021) og U-verdi til 1,9 W/m<sup>2</sup>K. Luftutskiftningskonstant og U-verdi er beregnet på grunnlag av simuleringer og erfaringsverdier fra UCO. Verdiene er basert på gjennomsnittsdata og medfører en betydelig usikkerhet. Samtidig er det gunstig å ha en modell som kan angi et tilnærmet oppvarmingsbehov for byggeplassen.

### 4.2.2 Beregning av varmebehov

Scriptet beregner varmetap via infiltrasjon- og transmisjonstap.

Infiltrasjonstap er en fellesbetegnelse på varmetap som skyldes uønsket gjennomstrømning av luft som følge av utettheter i bygningsmassen (Hansen, 2021). Infiltrasjonstap avhenger av antall luftutvekslinger per time, bygningsvolum og innvendig/utvendig-temperaturdifferanse.

$$\dot{P}_I = c \cdot n_i \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_u) [W] \quad [6]$$

$c$  = varmekapasitet for luft [J/m<sup>3</sup>K]

$n_i$  = luftutskiftninger per time [h<sup>-1</sup>]

$V$  = Bygningsvolum [m<sup>3</sup>]

$\theta_i$  = Innvendig temperatur [K]

$\theta_u$  = Utvendig temperatur [K]

Scriptet benytter formelen over for å beregne infiltrasjonstapet for byggeplassen i Midtbygda for hver time.

Transmisjonstap brukes som betegnelse på energien som går tapt ved statiske varmetap gjennom bygningskonstruksjonen (Hansen, 2021). Transmisjonstap avhenger av innvendig/utvendig-temperaturdifferanse, areal av bygningskonstruksjonen og bygningskonstruksjonens varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi).

$$\dot{P}_T = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_u) [W] \quad [ 7 ]$$

$U$  = Bygningskonstruksjonens varmegjennomgangskoeffisient [ $W/m^2K$ ]

$A$  = Areal av bygningskonstruksjonen [ $m^2$ ]

$\theta_i$  = Innvendig temperatur [K]

$\theta_u$  = Utvendig temperatur [K]

Scriptet beregner transmisjonstapet for hver time av fyringssesongen ved å bruke formelen over.

Når infiltrasjonstap og transmisjonstap for bygningskroppen er beregnet adderes disse to effektene for hver time. Den resulterende effekten er det varmetapet bygningen har til omgivelsene. Effektene indekseres med bokstaven «i» for å tydeliggjøre at denne operasjonen gjøres timevis.

$$\dot{P}_{varme,total,i} = \dot{P}_{I,i} + \dot{P}_{T,i} [W] \quad [ 8 ]$$

Når disse effektene er summert for alle timer kan det totale effektbehovet brukes for å regne ut energibehovet. Siden temperaturdataene brukt som grunnlag er timesoppløst og det beregnes ett gitt effektnivå for hver time, vil summen av effektene tilsvare antall Wh med energi forbrukt.

$$Energibehov_{total} = \sum_i \dot{P}_{varme,total,i} \cdot 1h [Wh] \quad [ 9 ]$$

### 4.2.3 Beregning av effekt for ulike oppvarmingsløsninger

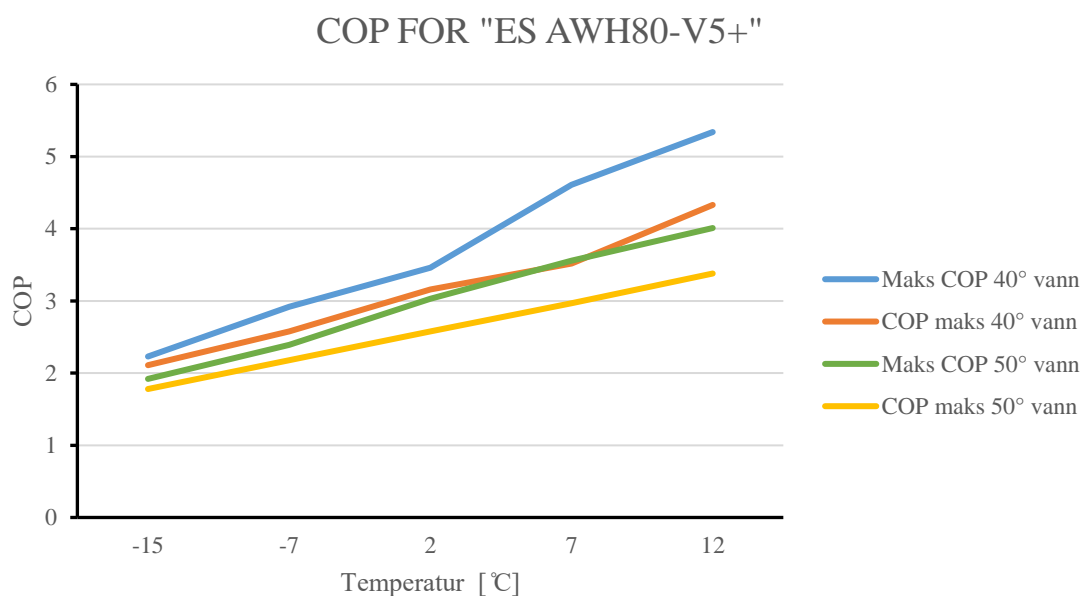
Når prosjektets energi- og effektbehov er kjent, gitt de forutsetningene som er beskrevet i oppgaven, brukes virkningsgrad og COP for å dimensjonere oppvarmingsløsninger for henholdsvis ren strømfyring og varmepumpefyring.

For ren strømfyring antas det en virkningsgrad på 100 % og den dimensjonerte oppvarmingsløsningen vil ha sammenfallende effekt- og energiprofil som det beregnede behovet.

Bruken av omgivelsesvarme gjør at en varmepumpeløsning kan benytte mindre elektrisk energi enn en konvensjonell elektrisk oppvarmingskilde. Forholdet mellom denne energibruken kalles «coefficient of performance» (COP), og er definert ved levert varme dividert med medgått elektrisk arbeid.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{\text{levert}}}{W_{\text{el}}} \quad [ 10 ]$$

COP avhenger sterkt av omgivelsestemperaturen og varmepumpen kan dermed ha en svært varierende virkningsgrad. Ved lave temperaturer må varmepumpen benytte mer elektrisitet for å omgjøre omgivelsesvarmen til brukbar termisk energi. Jo lavere forskjellen mellom ønsket temperatur og omgivelsestemperaturen er, desto mer effektiv er varmepumpen. COP-karakteristikk er forskjellig fra varmepumpe til varmepumpe og kan avhenge av faktorer som arbeidsfluid og kompressoreffekt. For denne oppgaven brukes COP-karakteristikk for UCOs varmepumpe ES AWH80-V5+ (ES ENERGY SAVE AB, 2022).



Figur 13: COP-karakteristikk for varmepumpe oppgitt fra leverandør.

I scriptet som beregner nødvendig effekt for varmepumpeløsningen angis COP for gitte temperaturintervaller i henhold til denne tabellen. Tabellen er oppgitt fra leverandør.

Tabell 15: COP for varmepumpeløsning.

Temperaturintervall [°C]	COP
T < -15	1,25
-15 < T < -7	1,98
-7 < T < 2	2,38
2 < T < 7	2,78
7 < T < 12	3,18
12 < T	4

COP-verdi blir på lik linje med effekt bestemt for hver time av fyringssesongen. Dimensjonerende effekt for varmepumpe beregnes ved å dividere effekt til oppvarmingsbehov med COP.

$$\dot{P}_{varmepumpe,i} = \frac{\dot{P}_{varme,total,i}}{COP_i} [W] \quad [11]$$

Energimengde for varmepumpe beregnes med samme summasjon som for totalt varmebehov. Varmedistribusjonstapet for varmepumpen er ikke medregnet da denne verdien antas å variere utfra hva slags utstyr som anvendes og hvordan systemet bygges opp på den aktuelle byggeplassen.

#### 4.2.4 Beregning av kostnader og utslipp

Beregning av energikostnader og nettleie gjøres på bakgrunn av de prismodeller og priser som er oppgitt i litteraturkapitlet.

For elektrisitet er det i oppgaven fastsatt en energipris på 100 øre/kWh.

Nettleie blir beregnet utfra energiledd og makseffekt per måned.

Tabell 16: Tabellen viser satser for beregning av nettleie.

Årstid	Fastledd/måned [NOK/måned]	Energiledd [NOK/kWh]	Effektledd [NOK/kW]	
			0-200 kW	over 200 kW
Sommer	1833	0,036	58,2	51
Vinter	1833	0,042	67,7	57

Prismodell for månedsvis nettleie vil være slik:

$$Nettleie = Fastledd + Energiledd \cdot E_{strøm,total} + Effektledd \cdot \dot{P}_{max} \quad [12]$$

Beregning av utslipp fra byggeplassen vil gjøres på bakgrunn av den elektriske energimengden som forbrukes. Energimengden vil multipliseres med en utslippsfaktor på 18 g CO<sub>2e</sub>/kWh. Bakgrunnen for valg av denne faktoren blir drøftet i diskusjonskapitlet i oppgaven.

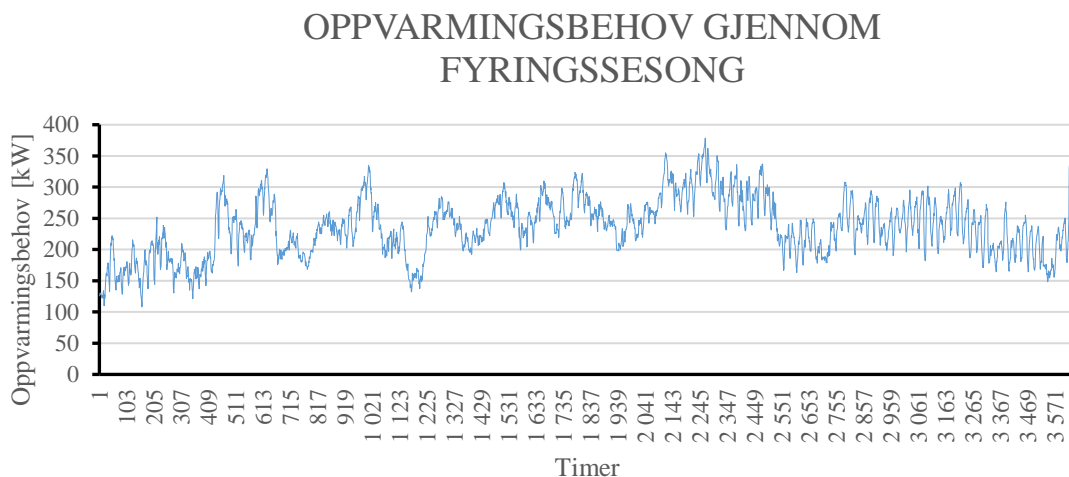
$$Totalt utslipp = E_{elektrisk} \cdot utslippsfaktor \quad [13]$$

Leiekostnader for utstyr til oppvarming blir beregnet på bakgrunn av priser oppgitt av UCO (UCO, 2021). For oppvarmingsutstyr brukes en gjennomsnittlig leiekostnad per energienhet for å beregne total kostnad.

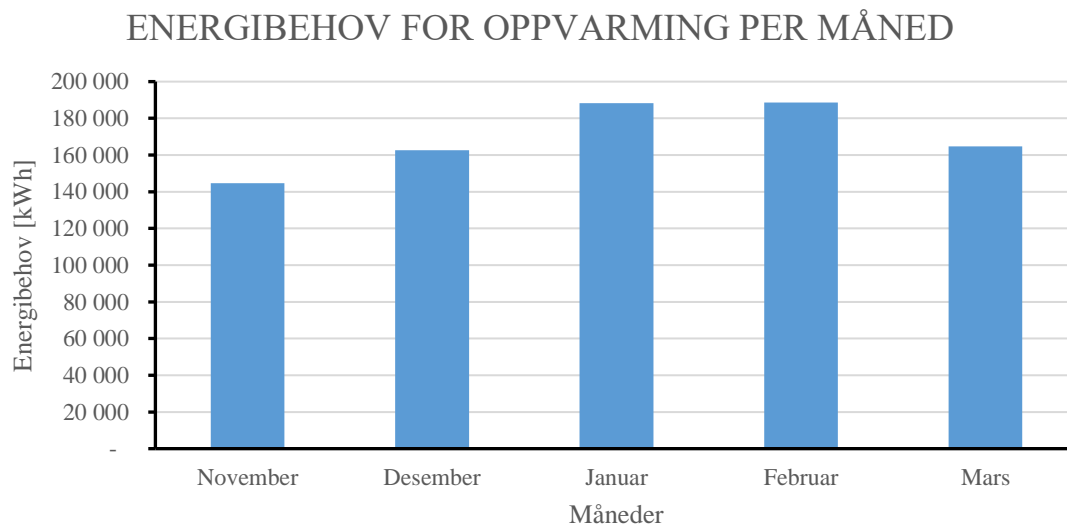
## 5. Resultater

### 5.1 Oppvarmingsbehov for prosjektet

Oppvarmingsbehov utgjør en vesentlig del av beregningsgrunnlaget for energi- og effektforbruk og det er derfor hensiktsmessig å presentere resultatene fra dette punktet først.



Figur 14: Figuren viser effektbehov til oppvarming fra første time i november til siste time i mars.

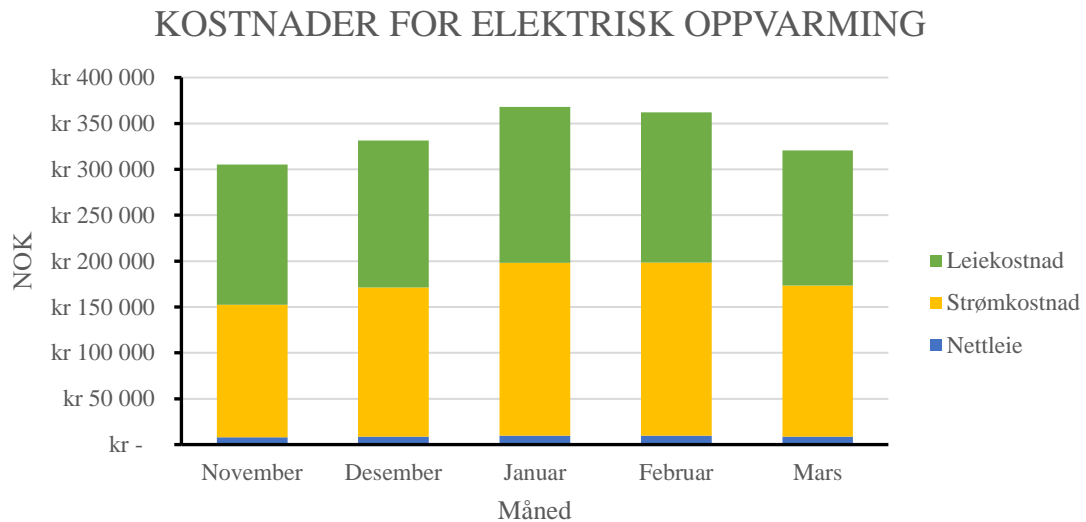


Figur 15: Figuren viser energibehov per måned av fyringssesongen.

Figurene viser at det beregnede effektbehovet varierer mellom 108 kW og 379 kW. Februar er måneden med høyest effekt- og energibehov, med henholdsvis 379 kW maks effektbehov og 188 595 kWh energibehov. Det akkumulerte energibehovet er 852 981 kWh for en fyringssesong.

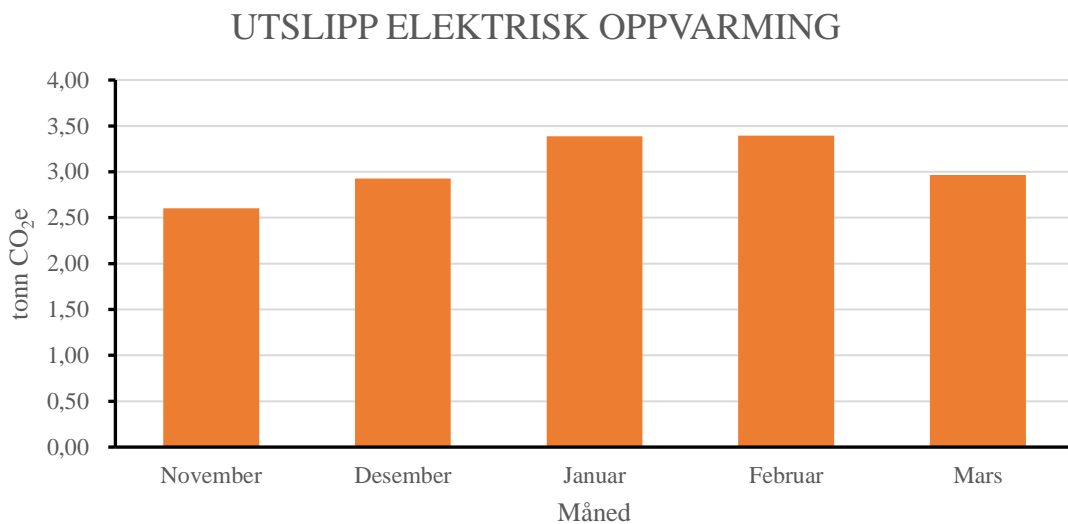
### 5.1.1 Elektrisk oppvarming

I oppgaven legges det til grunn at elektrisk oppvarming har en 100 % virkningsgrad og effekt- og energiforbruk er derfor antatt å samsvare med det beregnede behovet presentert i forrige punkt. Resultatene viser tall for én fyringssesong.



Figur 16: Figuren viser kostnader for elektrisk oppvarming.

Den akkumulerte kostnaden for ren elektrisk oppvarming vil være 1 686 908 kr per fyringssesong. Nettleien som vises i figuren, utgjør kun energiledd da effektledet beregnes utfra byggeplassens totale effektforbruk i kapittel 5.3.



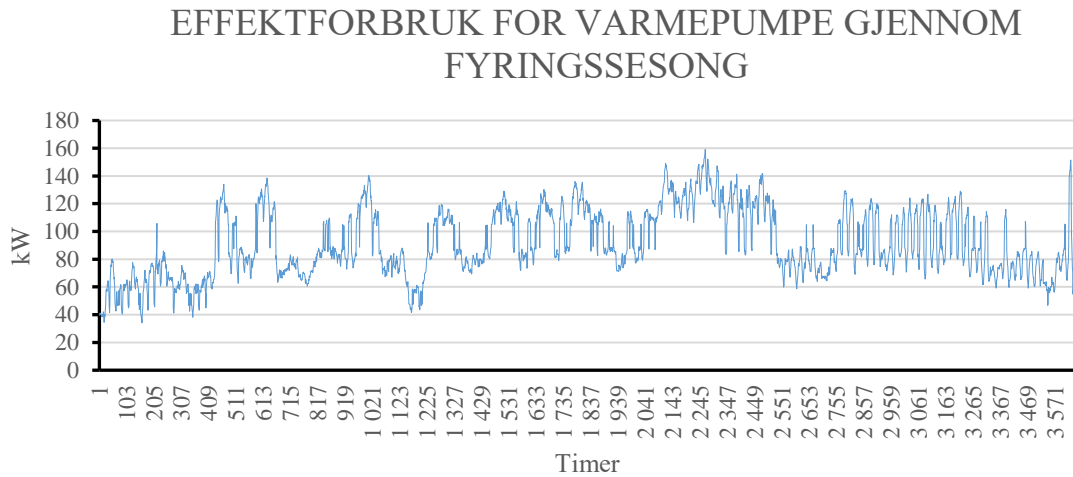
Figur 17: Figuren viser månedlige utslippstall for ren elektrisk oppvarming.

Det akkumulerte utslippet fra ren elektrisk oppvarming vil være 15,28 tonn CO<sub>2</sub>e.

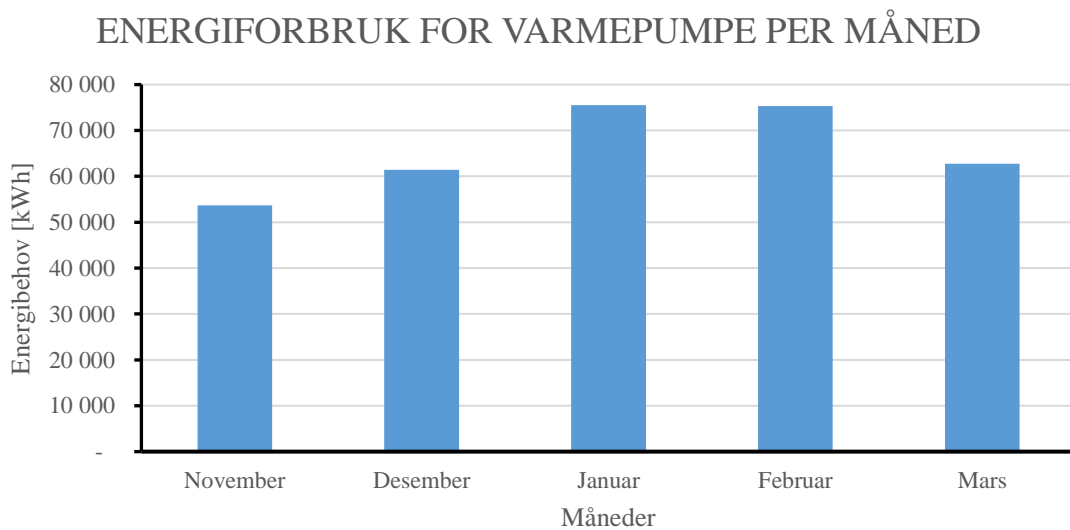


### 5.1.2 Varmepumpe

Når varmepumpens COP hensyntas, vil energi- og effektforbruket til varmepumpen ikke samsvare med det beregnede behovet. Energi- og effektforbruket til varmepumpen vil være redusert. Resultatene viser tall for én fyringssesong.

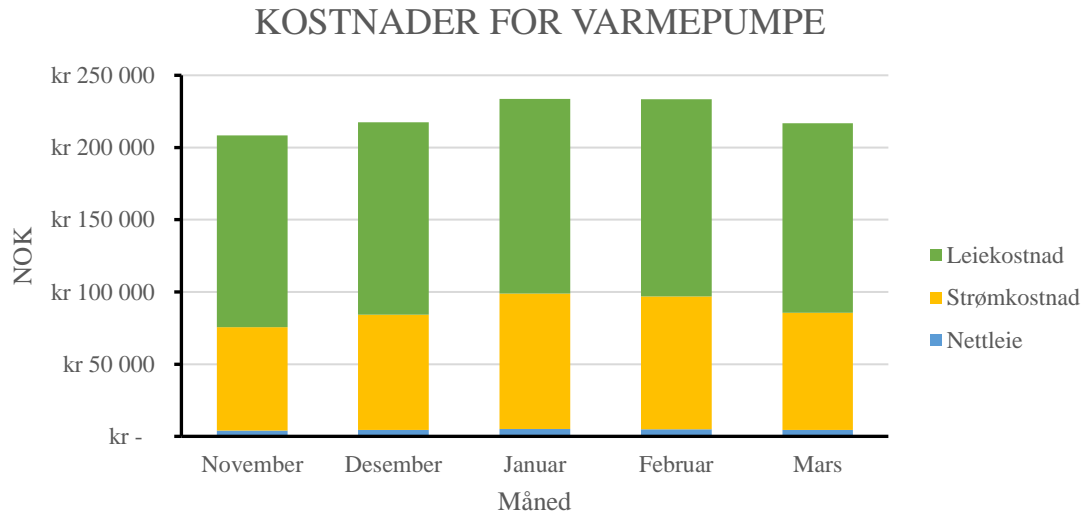


Figur 18: Figuren viser effektforbruket ved bruk av varmepumpe til oppvarming.



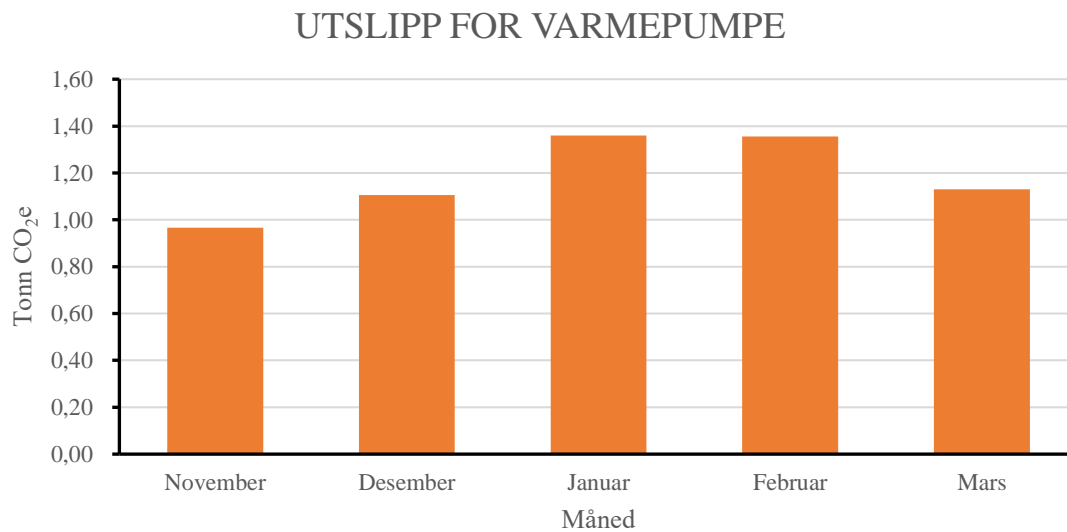
Figur 19: Figuren viser det månedlige energiforbruket til varmepumpen.

Figurene over viser at varmepumpen vil ha et minimalt og maksimalt effektforbruk på henholdsvis 34 kW og 159 kW. Det akkumulerte energiforbruket er beregnet til 332 864 kWh per fyringssesong.



*Figur 20: Figuren viser kostnader for oppvarming med varmepumpe.*

Den akkumulerte energikostnaden for varmepumpeløsningen vil være 1 110 021 kr. Nettleien som vises i figuren, utgjør kun energiledd da effektleddet beregnes utfra byggeplassens totale effektforbruk i kapittel 5.3.



*Figur 21: Utslipp for varmepumpe.*

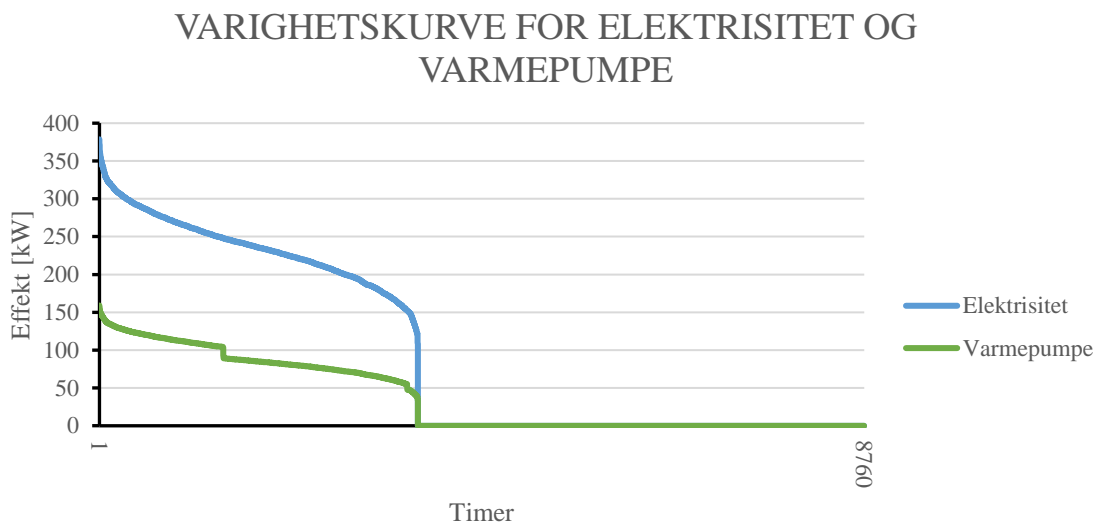
Det akkumulerte utslippet fra en varmepumpeløsning vil være 5,92 tonn CO<sub>2</sub>e.

### 5.1.3 Sammenligning av oppvarmingsløsninger

Oppvarmingsløsningene har forskjellige kostnader, utslipp, effektforbruk og energiforbruk.

Tabell 17: Tabellen viser sammenligning av oppvarmingsløsninger.

Faktor	Elektrisk oppvarming	Varmepumpe	Endring [%]
Peak effektforbruk [kW]	379	159	-58,0 %
Energiforbruk [kWh]	852 981	332 864	-61,0 %
Strømkostnad [NOK]	848 674	418 122	-50,7 %
Nettleie energiledd [NOK]	44 809	22 971	-48,7 %
Utslipp [tonn CO <sub>2</sub> e]	15,28	5,92	-61,3 %
Leiekostnad [NOK]	793 425	668 928	-15,7 %



Figur 22: Figuren viser varighetskurven for oppvarming med elektrisitet og varmpumpe.

En varmepumpeløsning vil sammenlignet med ren elektrisitet ha en peak-effektreduksjon på 58 %. Dette reduserer maksforbruket med 220 kW (tilsvarer en stor, kablet gravemaskin). Varmepumpe som oppvarmingskilde vil også redusere energibruk, kostnader og utslipp. Det plutselige utslaget på varighetskurven for varmepumpe kan tyde på en svakhet i beregningsmodellen<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Analyseres i diskusjonskapittel

## 5.2 Energiforbruk og utslipp knyttet til maskinpark og grunnbelastning

Energiforbruket og utslippet til maskinparken og grunnbelastningene er antatt å være likt i alle scenarioene, og blir derfor presentert som et eget punkt. Nettleien som fremlegges utgjør kun energiledd da effektleddet må beregnes for byggeplassen totalt.

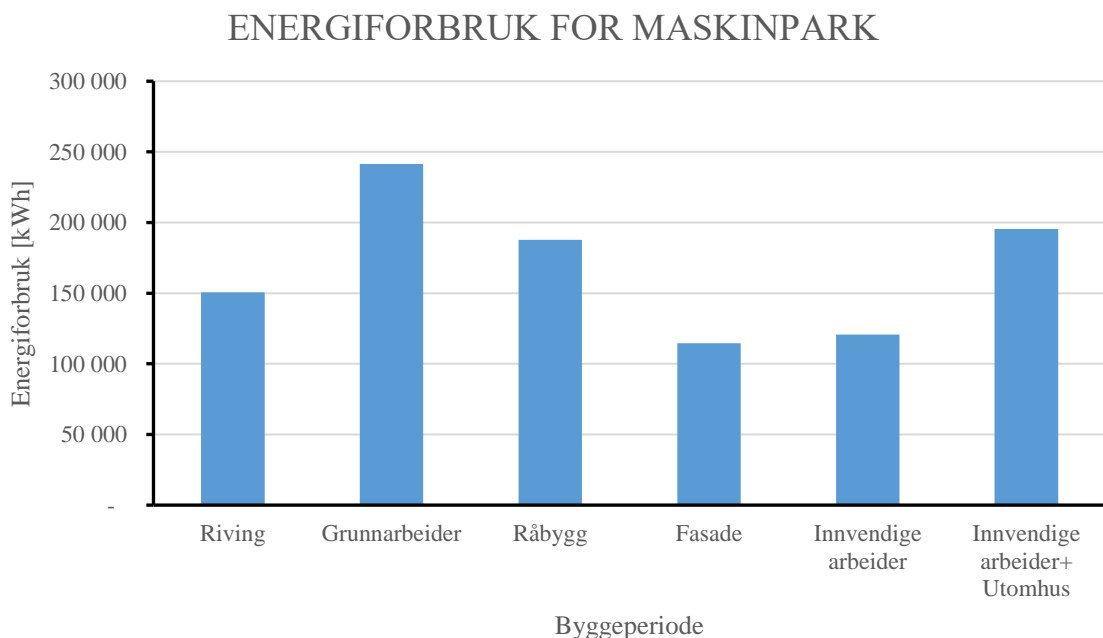
### 5.2.1 Energiforbruk og kostnader

Grunnbelastningen bestående av brakkerigg, mindre elektrisk utstyr og elbillading er beregnet å ha et forbruk på 120 000 kWh årlig. Dette tilsvarer et månedlig forbruk på 10 000 kWh i snitt.

Maskinparkens beregnede behov er basert på en 34 % gjennomsnittsbetlastning av makseffekt, en 8,25 timer arbeidsdag og 21,67 arbeidsdager per måned.

Tabell 18: Tabellen viser energiforbruk for maskiner for hver byggeperiode.

Byggeperiode	Energiforbruk per dag [kWh]	Energiforbruk per måned [kWh]	Energiforbruk totalt [kWh]
Rivning	1 738	37 656	150 624
Grunnarbeider	3 715	80 509	241 527
Råbygg	1 445	31 304	187 824
Fasade	1 321	28 629	114 518
Innvendige arbeider	696	15 075	120 596
Innvendige arbeider+ Utomhus	1 804	39 084	195 422



Figur 23: Figuren viser totalt energiforbruk for maskiner for hver byggeperiode.

Det samlede energibehovet til alle maskinene gjennom prosjektets varighet vil være 1 010 509 kWh.

For maskinpark og grunnbelastning sammenlagt blir det totale energiforbruket 1 310 509 kWh. Ved en gjennomsnittlig strømpris på 100 øre/kWh vil den samlede energikostnaden for grunnbelastning og maskinpark være 1 310 509 kr for prosjektet.

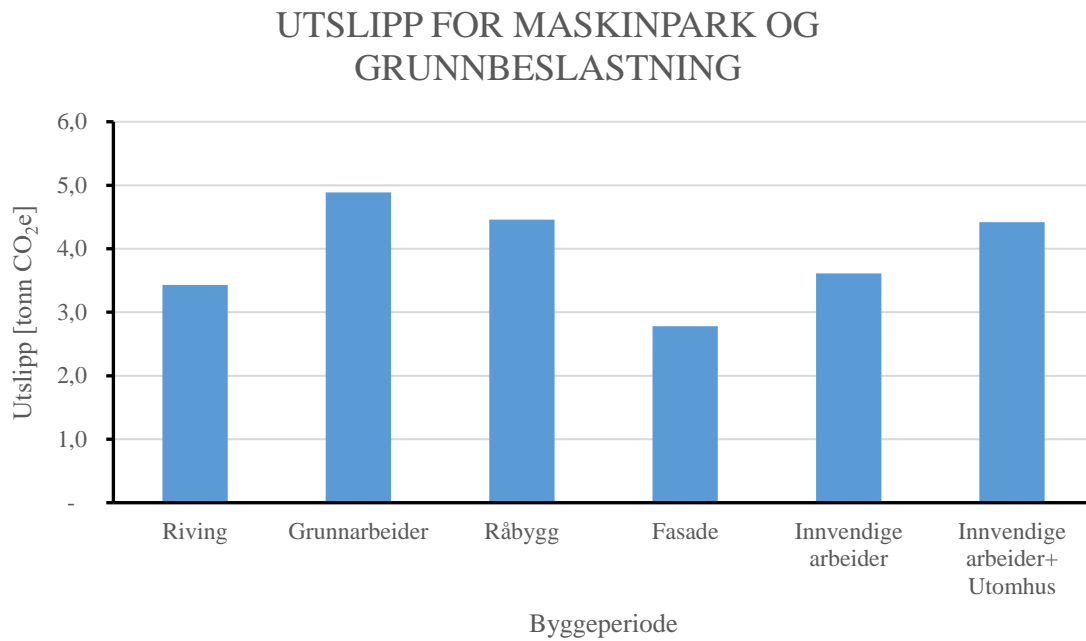
Energileddet i nettleien blir totalt 38 704 kr for maskinparken gjennom prosjektets byggeperiode. I resultatene som viser effektforbruk vil dette energileddet legges sammen med effektleddet og utgjøre den totale nettleien.

*Tabell 19: Tabellen viser energileddet for maskinparken for hver måned av byggeperioden.*

Måned nr.	Måned	Energiledd [NOK]
1	januar 2023	1 582
2	februar 2023	1 582
3	mars 2023	1 582
4	april 2023	1 356
5	mai 2023	2 898
6	juni 2023	2 898
7	juli 2023	2 898
8	august 2023	1 127
9	september 2023	1 127
10	oktober 2023	1 127
11	november 2023	1 315
12	desember 2023	1 315
13	januar 2024	1 315
14	februar 2024	1 202
15	mars 2024	1 202
16	april 2024	1 031
17	mai 2024	1 031
18	juni 2024	543
19	juli 2024	543
20	august 2024	543
21	september 2024	543
22	oktober 2024	543
23	november 2024	633
24	desember 2024	633
25	januar 2025	633
26	februar 2025	1 642
27	mars 2025	1 642
28	april 2025	1 407
29	mai 2025	1 407
30	juni 2025	1 407

### 5.2.2 Utslipp

Ved en utslippskonstant på 18 g CO<sub>2</sub>e/kWh vil utslippet for maskinparken og grunnbelastningen bli totalt 23,6 tonn CO<sub>2</sub>e.

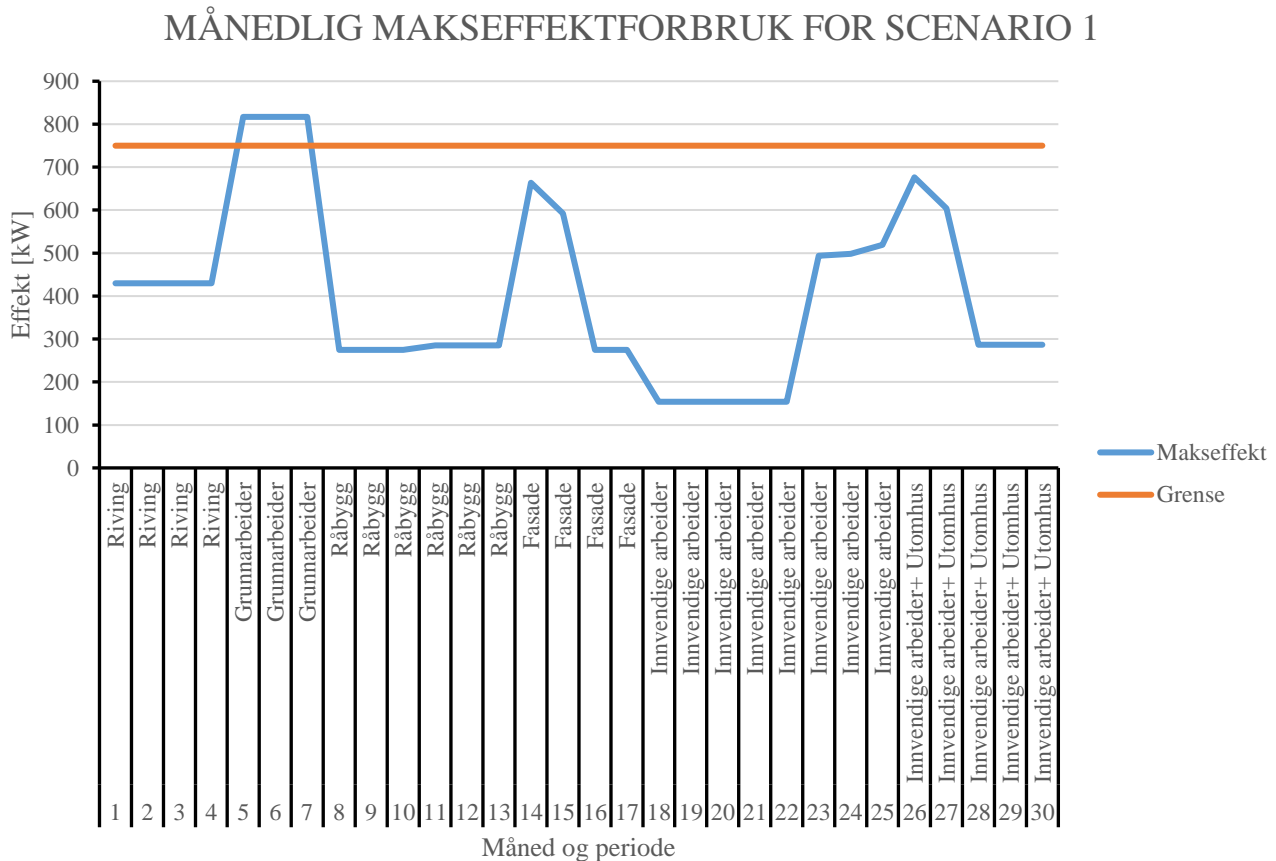


*Figur 24: Figuren viser utslipp for maskinpark og grunnbelastning.*

## 5.3 Effektforbruk, kostnader og utslipp for byggeplass

### 5.3.1 Scenario 1

Scenario 1 er tenkt å vise hvordan makseffektbehovet for byggeplassen vil være dersom ingen effektbesparende tiltak gjøres.

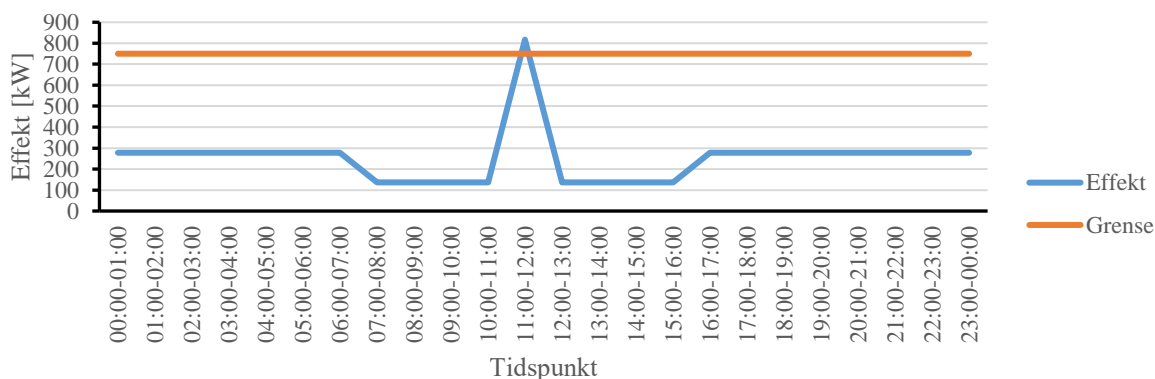


Figur 25: Figuren viser månedlig makseffektforbruk for Scenario 1.

Månedlig makseffektforbruk på byggeplassen vil variere mellom 154 kW og 817 kW avhengig av hvilken fase prosjektet er inne i. I figuren fremkommer det tydelig at effektforbruket på byggeplassen vil ligge over tillatt maksimalverdi i perioden hvor det gjøres grunnarbeider. Laveste effektforbruk inntreffer i perioden hvor den kun gjøres innvendige arbeider. De to andre effekttoppene som inntreffer mellom måned 13-16 og 25-28 skyldes oppvarming og introduksjon av utvendige arbeider.

Da perioden med grunnarbeider er fasen med høyest effektforbruk velges en dag fra en av disse månedene som utgangspunkt for dimensjonerende last. Effektprofilen per dag gjennom perioden er identisk da det ikke er behov for oppvarming, og kun maskinparken påvirker belastningen.

## DAGSPROFIL MED DIMENSJONERENDE LAST SCENARIO 1



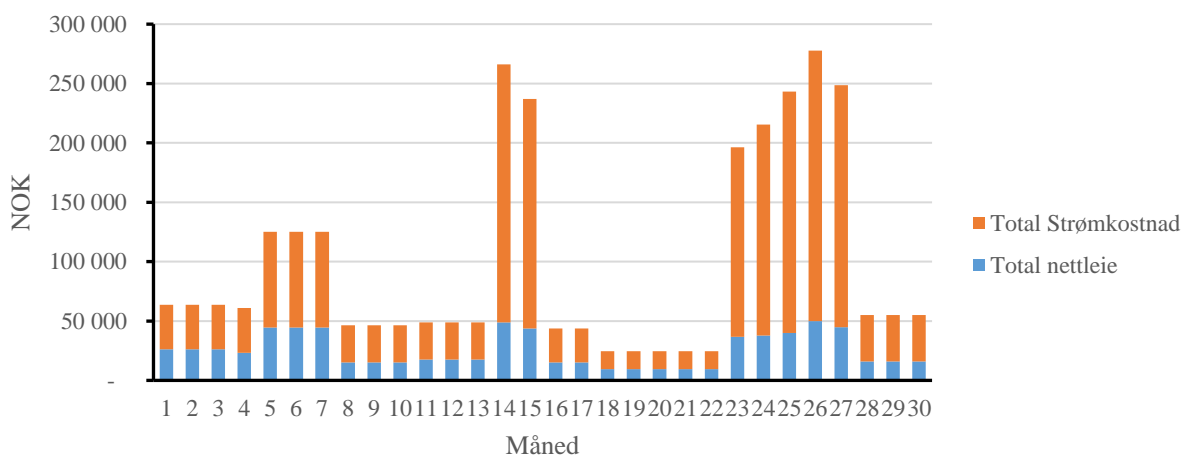
Figur 26: Figuren viser dagsprofil med dimensjonerende last for Scenario 1.

Av figuren fremkommer det tydelig at det er hurtigladingen i spisepausen mellom 11:00 og 12:00 som er opphav til maksbelastningen på 817 kW. Belastningen for resten av arbeidstiden er 136,5 kW. Effektforbruket utenfor arbeidstiden er høyere (277,3 kW) da maskinparken lades på nattetid, men er i bruk på dagen.

### Kostnader)

En makseffekt på 817 kW antyder at byggeplassen trenger hovedsentralen på 1600 A (1109 kW) fra UCO. Total kostnad for leie av denne sentralen gjennom prosjektperioden vil være 1 309 490 kr ved en dagskostnad på 1439 kr.

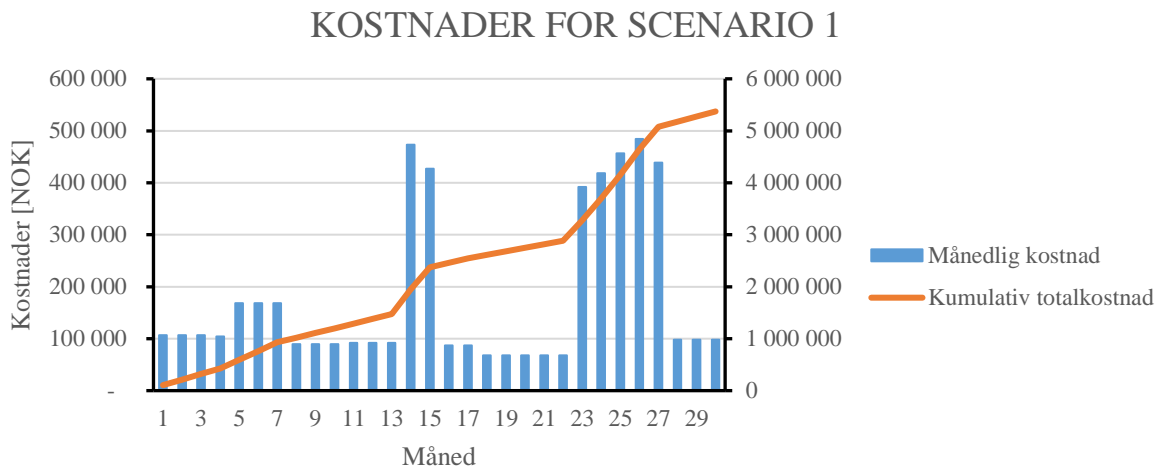
## NETTLEIE OG STRØMKOSTNAD FOR SCENARIO 1



Figur 27: Figuren viser beregnet nettleie og strømkostnad for Scenario 1.



Periodevis er andelen nettleie og strømkostnad relativt like. Dette er mest fremtredende i perioder med lavt effektforbruk. I perioder hvor det brukes mye effekt og energi er forskjellen mellom kostnadene større.

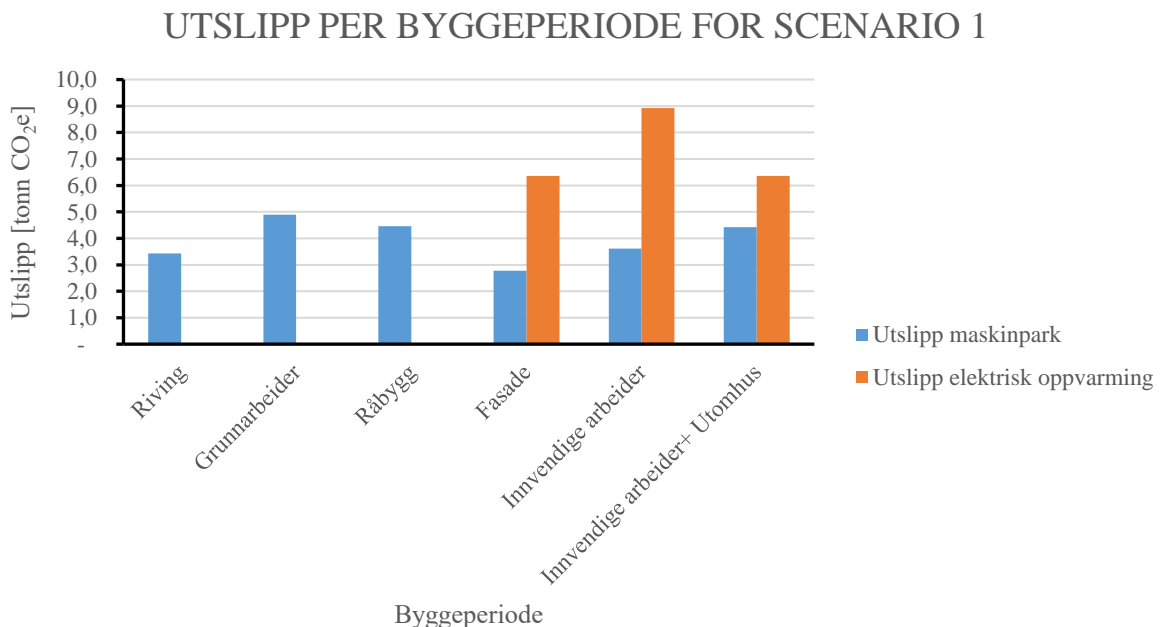


Figur 28: Figuren viser månedlig og kumulativ kostnad for Scenario 1.

Den totale kostnaden for Scenario 1 blir 5 372 499 kr.

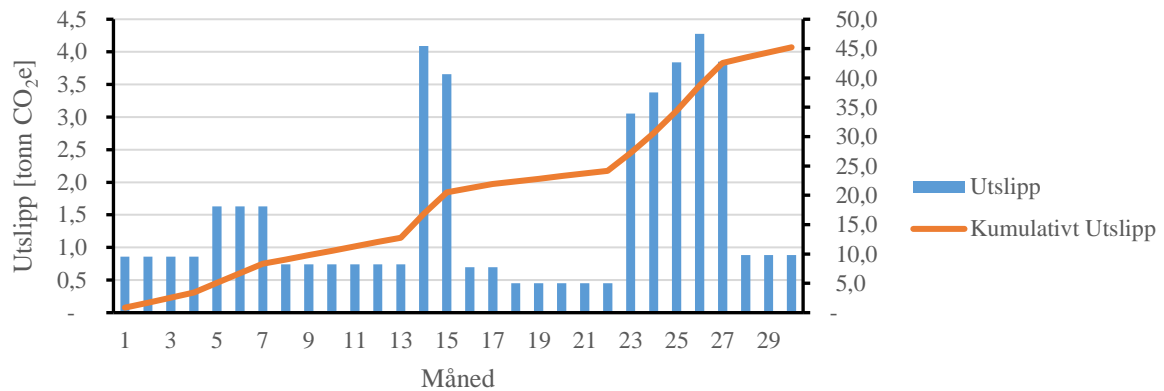
#### Utslipp)

Det totale utslippet for Scenario 1 blir summen av utslippet fra elektrisk oppvarming og maskinpark (inkluderer grunnbelastning).



Figur 29: Figuren viser utslippet per byggeperiode for Scenario 1.

## MÅNEDLIG OG KUMULATIVT UTSLIPP FOR SCENARIO 1



Figur 30: Figuren viser månedlig og kumulativt utslipp for Scenario 1.

Det totale utslippet for Scenario 1 blir 45,2 tonn CO<sub>2</sub>e. Utslippet fra maskinparken og oppvarmingen er tilnærmet like i størrelse til tross for at oppvarming kun finner sted i 7 av prosjektets totale 30 uker.

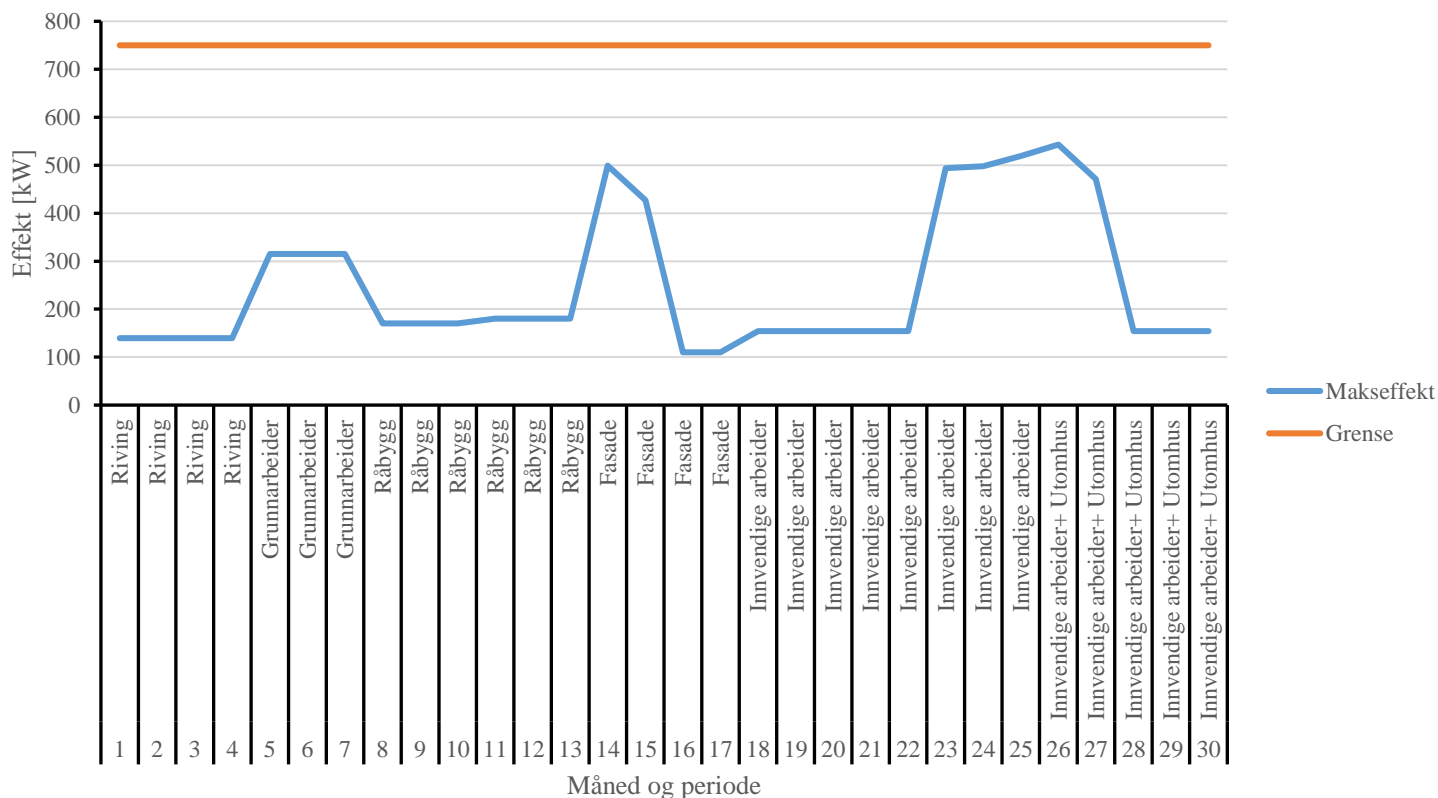
### 5.3.2 Scenario 2

I Scenario 2 anvendes batterier som effektbesparende tiltak. Størrelsen på batteribanken tilpasses månedlig behov, og er beregnet på bakgrunn av ladeeffekt og lengden på spisepausen hvor det hurtiglades. Den beregnede størrelsen rundes ned der det anses som hensiktsmessig.

Tabell 20: Tabellen viser den beregnede størrelsen på batteribanken for bruk til hurtiglading.

Måned nr.	Ladeeffekt spisepause [kW]	Minimum batteristørrelse [kWh]	Antall moduler [281 kWh]
1	380	285	2
2	380	285	2
3	380	285	2
4	380	285	2
5	767	575,25	4
6	767	575,25	4
7	767	575,25	4
8	225	168,75	1
9	225	168,75	1
10	225	168,75	1
11	225	168,75	1
12	225	168,75	1
13	225	168,75	1
14	225	168,75	1
15	225	168,75	1
16	225	168,75	1
17	225	168,75	1
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	237	177,75	1
27	237	177,75	1
28	237	177,75	1
29	237	177,75	1
30	237	177,75	1

## MÅNEDLIG MAKSEFFEKTFORBRUK FOR SCENARIO 2

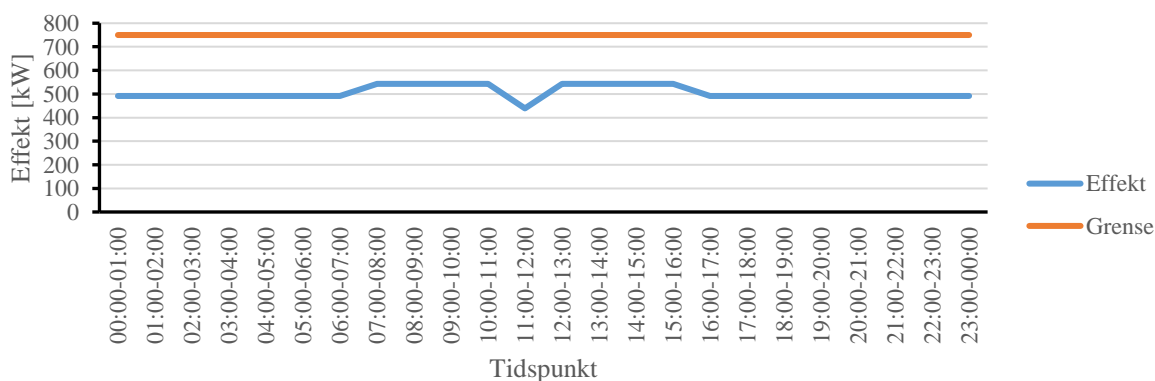


Figur 31: Figuren viser månedlig makseffektforbruk for Scenario 2.

Makseffektforbruket for Scenario 2 varierer mellom 110 kW og 542 kW avhengig av byggeperiode. Effektforbruket ligger godt innenfor grensen på 750 kW for hovedfordeling. Maksimale effektforbruk inntreffer i perioden hvor det gjøres innvendig arbeid, utomhus arbeid og det i tillegg er behov for oppvarming.

Februar 2025 er måneden med høyest effektforbruk i Scenario 2. Dagen med maksimalt oppvarmingsbehov i denne måneden brukes som utgangspunkt for dimensjonerende last.

## DAGSPROFIL MED DIMENSJONERENDE LAST SCENARIO 2

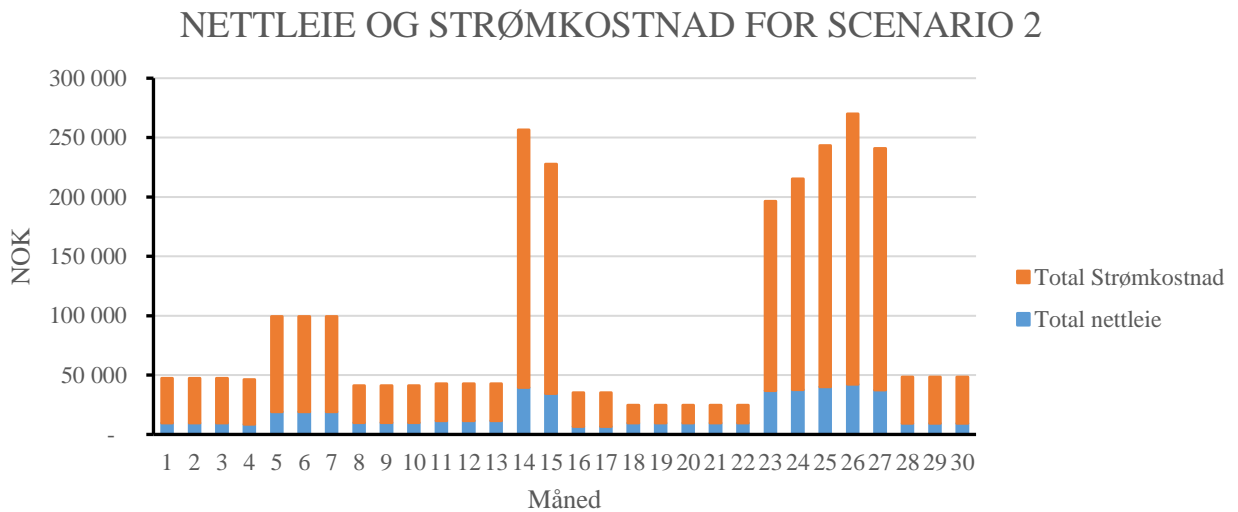


Figur 32: Figuren viser dagsprofil med dimensjonerende last for Scenario 2.

Figuren viser at effektkurven gjennom døgnet er forholdsvis flat, med en liten økning i arbeidstiden, og en reduksjon i spisepausen. Det relativt jevne forbruket skyldes at oppvarmingen er påskrudd gjennom hele døgnet og utgjør den største delen av belastningen.

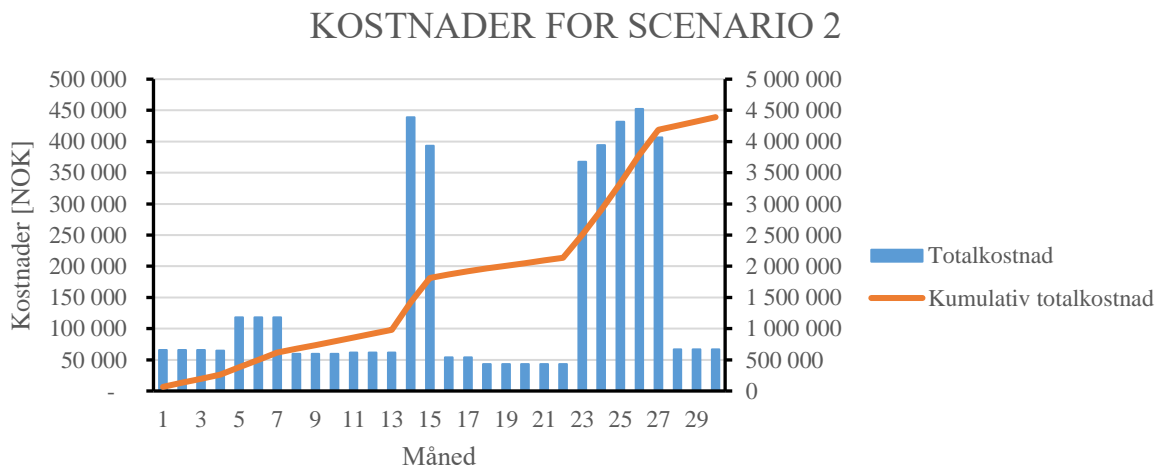
**Kostnader)**

En makseffekt på 542 kW impliserer at byggeplassen må leie hovedsentralen fra UCO med størrelse 800 A (554 kW). Hovedsentralen har en døgnpris på 622 kr, og total leiekostnad for prosjektets varighet blir 566 020 kr.



Figur 33: Figuren viser beregnet nettleie og strømkostnad for Scenario 2.

Kostnaden for strøm er dominerende i forhold til nettleie. Nettleien har sammenlignet med strømkostnad en jevnere kurve med mindre variasjoner.

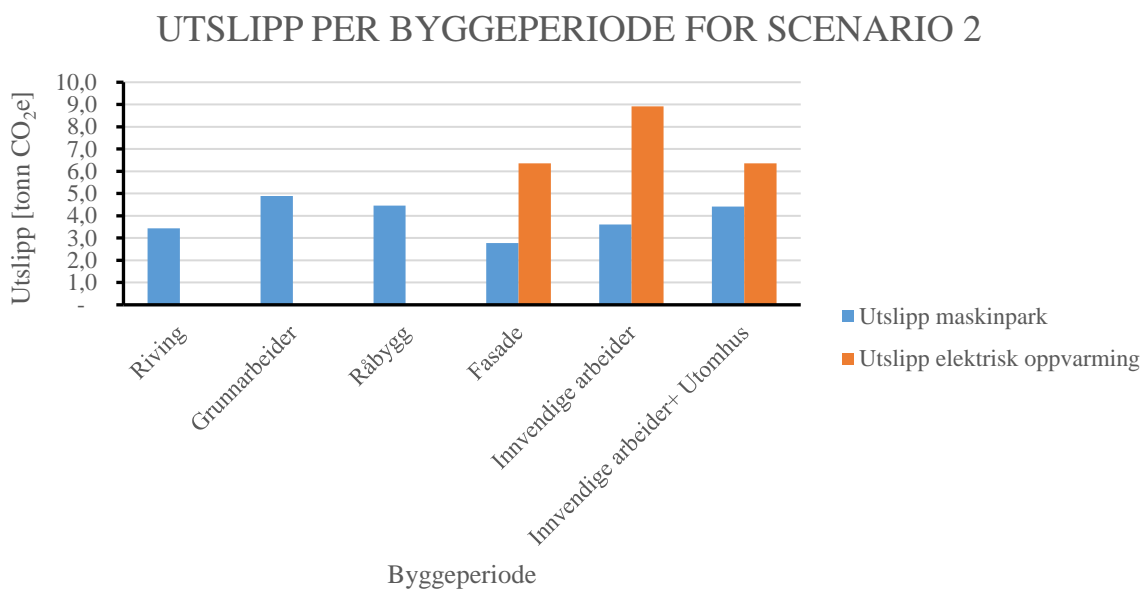


Figur 34: Figuren viser månedlig og kumulativ kostnad for Scenario 2.

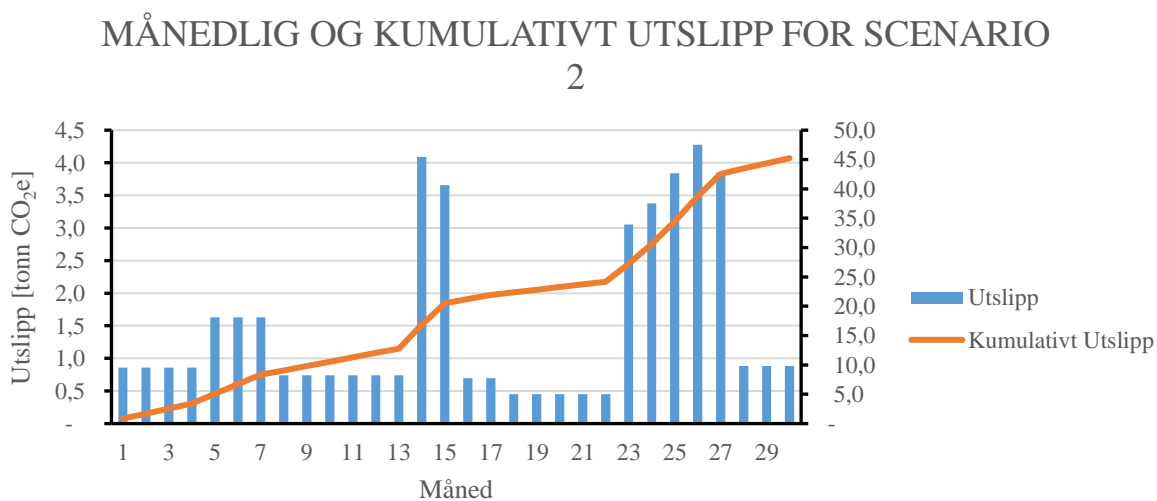
Den totale kostanden for Scenario 2 blir 4 390 774 kr.

## Utslipp)

Det totale utslippet for Scenario 2 blir summen av utslippet fra elektrisk oppvarming og maskinpark (inkluderer grunnbelastning).



Figur 35: Figuren viser utslippet per byggeperiode for Scenario 2.

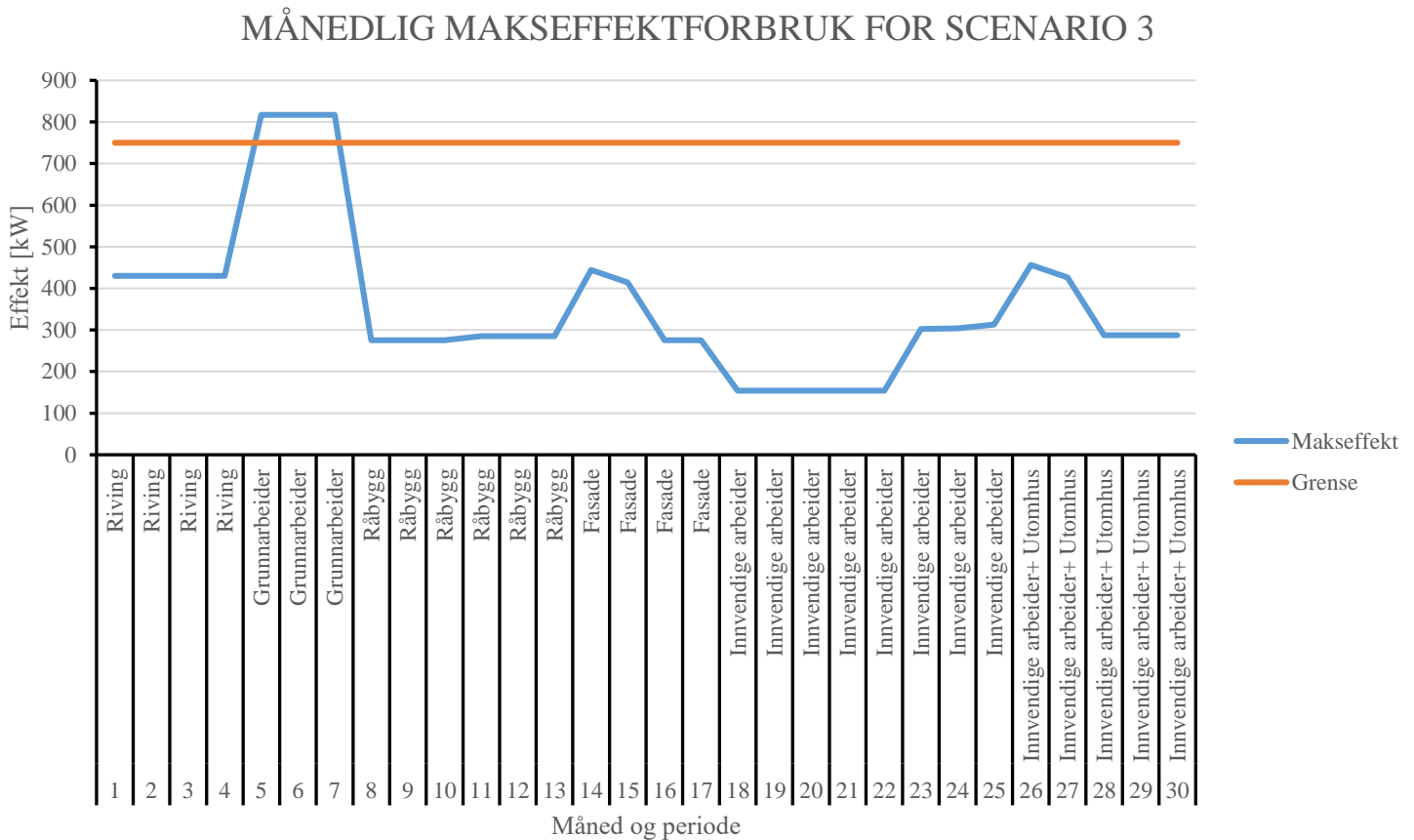


Figur 36: Figuren viser månedlig og kumulativt utslipp for Scenario 2.

Det totale utslippet for Scenario 2 blir summen av utslippet fra elektrisk oppvarming og maskinpark (inkluderer grunnbelastning); 45,2 tonn CO<sub>2</sub>e.

### 5.3.3 Scenario 3

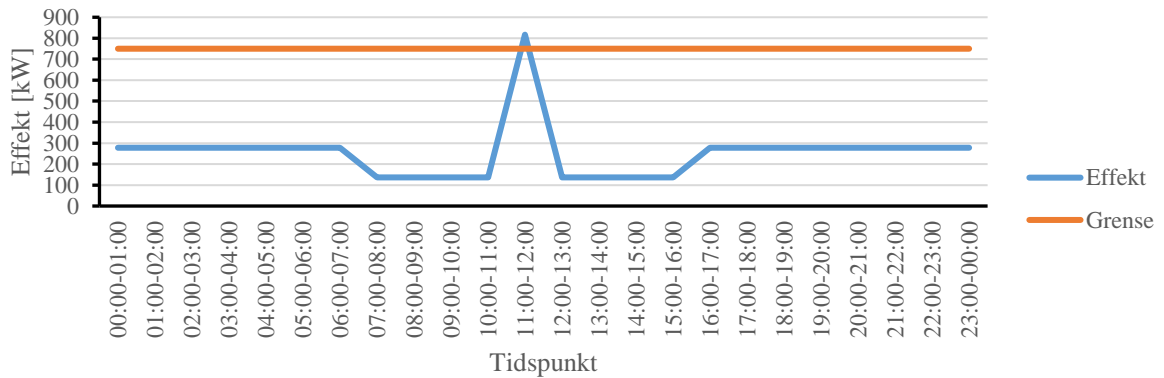
I Scenario 3 benyttes varmepumpe som effektbesparende tiltak i perioder hvor det er nødvendig med oppvarming av byggeplassen.



Figur 37: Figuren viser månedlig makseffektforbruk for Scenario 3.

Maksforbruket for Scenario 3 er 817 kW i perioden hvor det gjennomføres grunnarbeider. Det laveste maksforbruket inntreffer i månedene hvor det gjennomføres kun innvendige arbeider og blir på 154 kW. Av figuren fremkommer det tydelig at effektforbruket for Scenario 3 overskrider grensen på 750 kW. Dimensjonerende last inntreffer på en av dagene det gjøres grunnarbeider.

## DAGSPROFIL MED DIMENSJONERENDE LAST SCENARIO 3



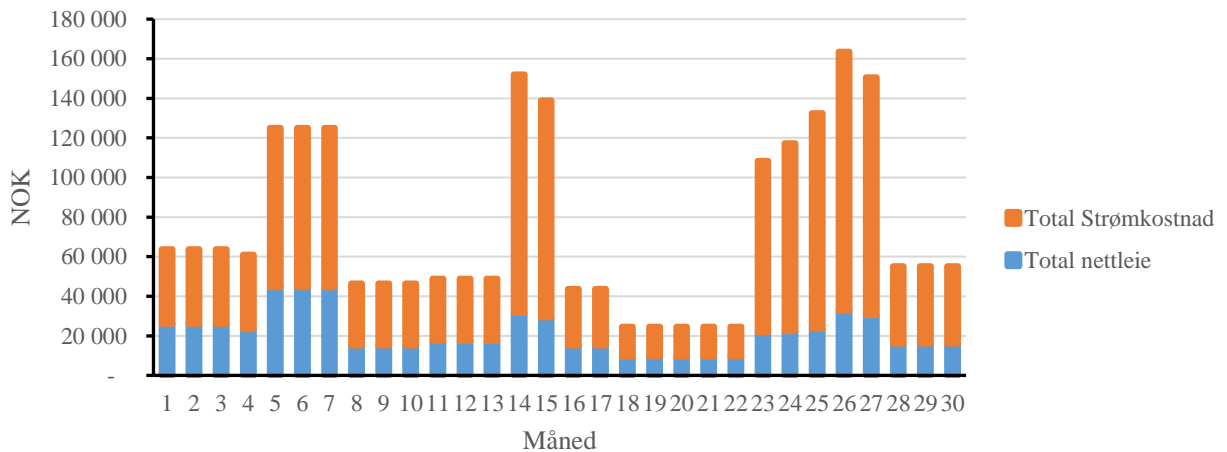
Figur 38: Figuren viser dagsprofil med dimensjonerende last for Scenario 3.

Den maksimale effektbelastningen inntreffer i spisepausen hvor maskiner brukt i grunnarbeider skal hurtiglades. Dette resulterer i at profilen har en markant effekttopp mellom 11:00 og 12:00. De resterende timene i døgnet har en belastning som ligger langt under grenseverdien for forsyningen til byggeplassen.

### **Kostnader)**

En makseffekt på 817 kW antyder at byggeplassen trenger hovedsentralen på 1600 A (1109 kW) fra UCO. Total kostnad for leie av denne sentralen gjennom prosjektperioden vil være 1 309 490 kr ved en dagskostnad på 1439 kr.

## NETTLEIE OG STRØMKOSTNAD FOR SCENARIO 3

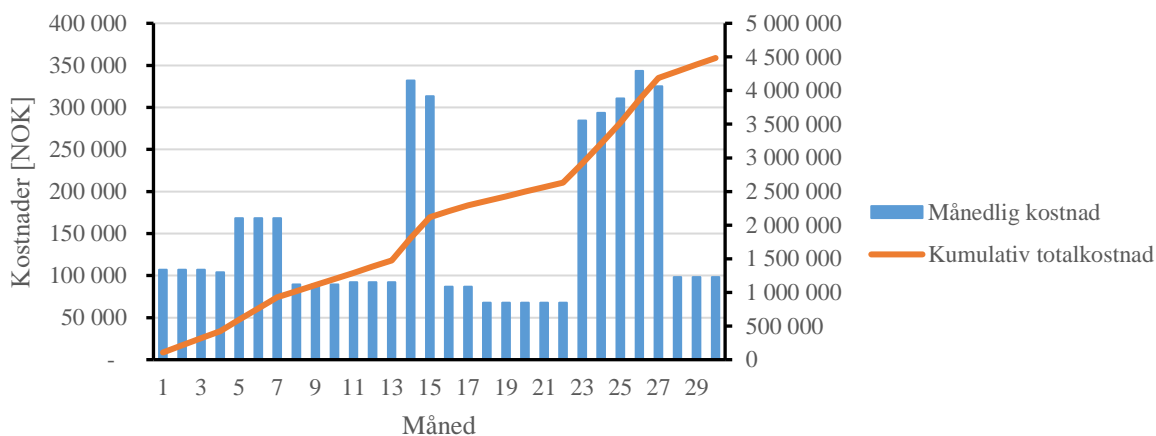


Figur 39: Figuren viser beregnet nettleie og strømkostnad for Scenario 3.

Strømkostnaden er større enn nettleien i samtlige av prosjektets måneder. I perioder med høyt energiforbruk øker strømkostnaden mer enn nettleien.



### KOSTNADER FOR SCENARIO 3



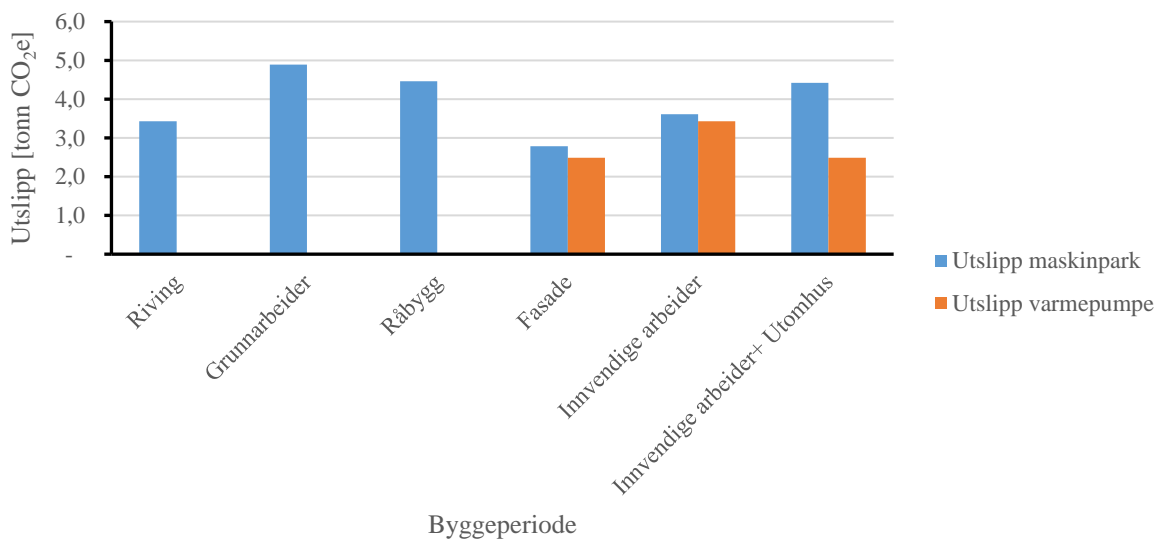
Figur 40: Figuren viser månedlig og kumulativ kostnad for Scenario 3.

Totalkostnaden for Scenario 3 blir 4 484 278 kr.

### Utslipp)

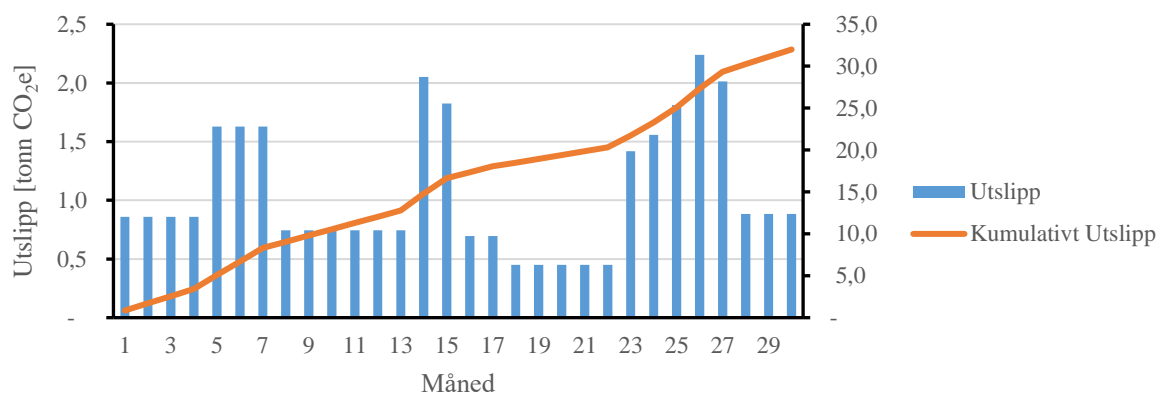
Det totale utslippet for Scenario 3 blir summen av utslippet fra maskinparken (inkluderer grunnbelastning) og utslippet fra varmpumpen.

### UTSLIPP PER BYGGEPERIODE FOR SCENARIO 3



Figur 41: Figuren viser utslippet per byggeperiode for Scenario 3.

### MÅNEDLIG OG KUMULATIVT UTSLIPP FOR SCENARIO 3



Figur 42: Figuren viser månedlig og kumulativt utslipp for Scenario 3.

Det totale utslippet blir 32 tonn CO<sub>2</sub>e.

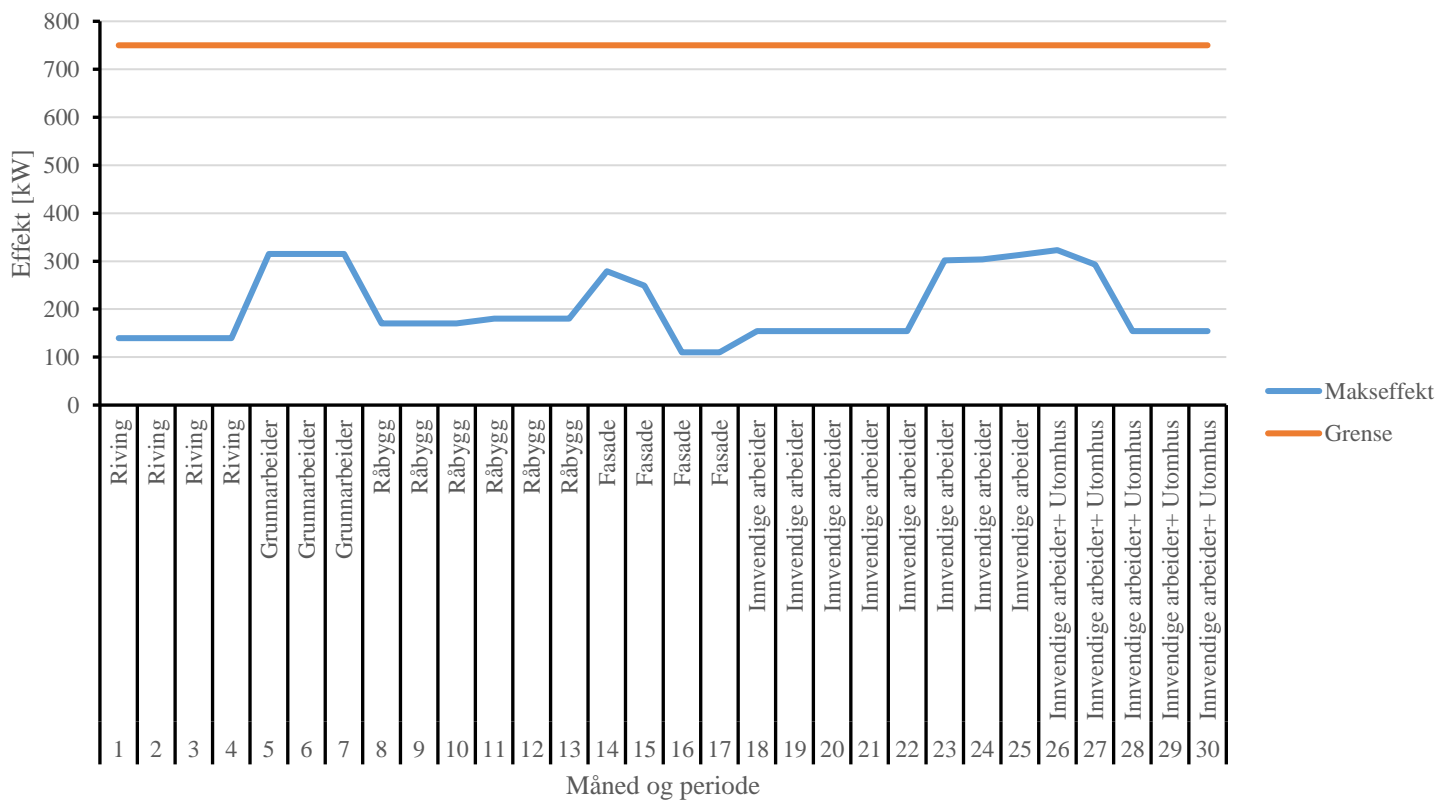
### 5.3.4 Scenario 4

Scenario 4 benytter batterier for hurtiglading og varmepumpe til oppvarming for å redusere effektforbruk. Batteribanken blir tilsvarende som den i Scenario 2.

Tabell 21: Tabellen viser beregnet størrelse på batteribanken brukt til hurtiglading av maskiner.

Måned nr.	Ladeeffekt spisepause [kW]	Batteristørrelse [kWh]	Antall moduler [281 kWh]
1	380	285	2
2	380	285	2
3	380	285	2
4	380	285	2
5	767	575,25	4
6	767	575,25	4
7	767	575,25	4
8	225	168,75	1
9	225	168,75	1
10	225	168,75	1
11	225	168,75	1
12	225	168,75	1
13	225	168,75	1
14	225	168,75	1
15	225	168,75	1
16	225	168,75	1
17	225	168,75	1
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	237	177,75	1
27	237	177,75	1
28	237	177,75	1
29	237	177,75	1
30	237	177,75	1

## MÅNEDLIG MAKSEFFEKTFORBRUK FOR SCENARIO 4

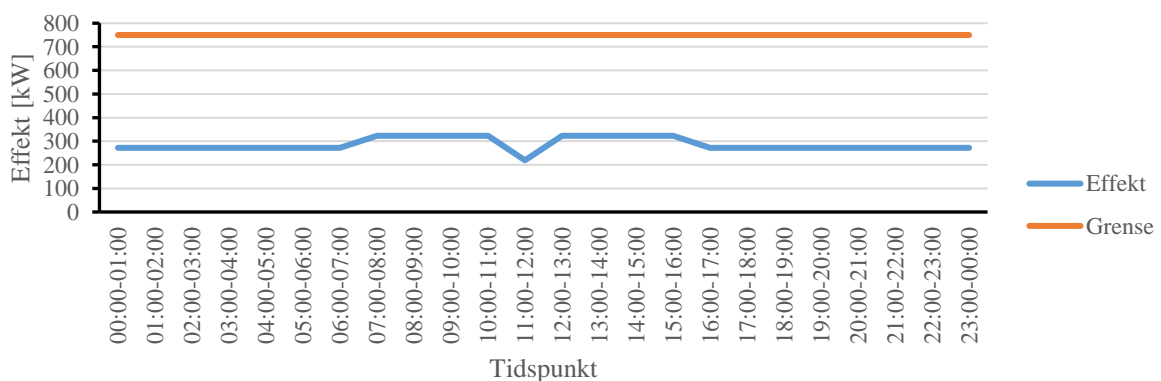


Figur 43: Figuren viser månedlig makseffektforbruk for Scenario 4.

Makseffektforbruket varierer mellom 110 kW og 323 kW for Scenario 4. Effektforbruket er godt innenfor grensen på 750 kW. Maksimal effektbelastning inntreffer i perioden med innvendige arbeid, arbeid utomhus og behov for oppvarming.

Måneden med maksimal belastning blir februar 2025. Dagen med maksimalt oppvarmingsbehov denne måneden vil være grunnlag for den dimensjonerende lasten for prosjektet.

## DAGSPROFIL MED DIMENSJONERENDE LAST SCENARIO 4

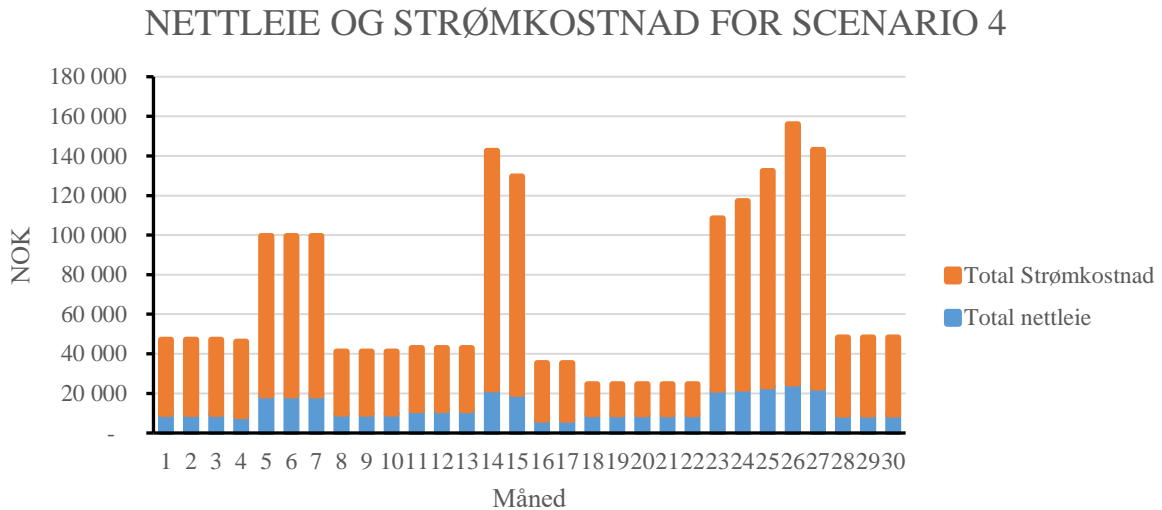


Figur 44: Figuren viser dagsprofil med dimensjonerende last for Scenario 4.

Effektprofilen har en relativt jevn belastning gjennom døgnet. Effektforbruket er noe høyere i arbeidstimer og noe redusert i spisepausen.

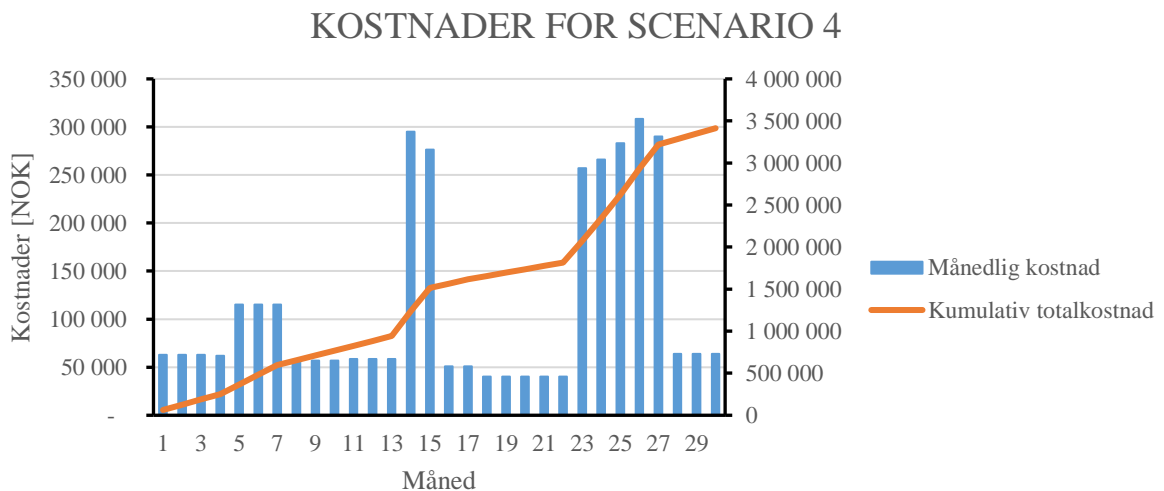
### **Kostnader)**

Et maksimalt effektforbruk på 323 kW plasserer byggeplassen i segmentet med hovedsentralstørrelse 630 A (436 kW). Hovedsentralen har en døgnpris på 523 kr, og en totalkostnad på 475 930 kr.



Figur 45: Figuren viser beregnet nettleie og strømkostnad for Scenario 4.

Strømkostnaden utgjør den dominerende andelen av energikostnadene. Nettleien har en jevnere fordeling enn strømkostanden da effektforbruket er mer konstant enn energibruken. De store endringene i strømkostnader skyldes hovedsakelig oppvarming av byggeplassen. Perioden med høyest energiforbruk utenom oppvarmingsperiodene er fasen hvor det gjennomføres grunnarbeider.

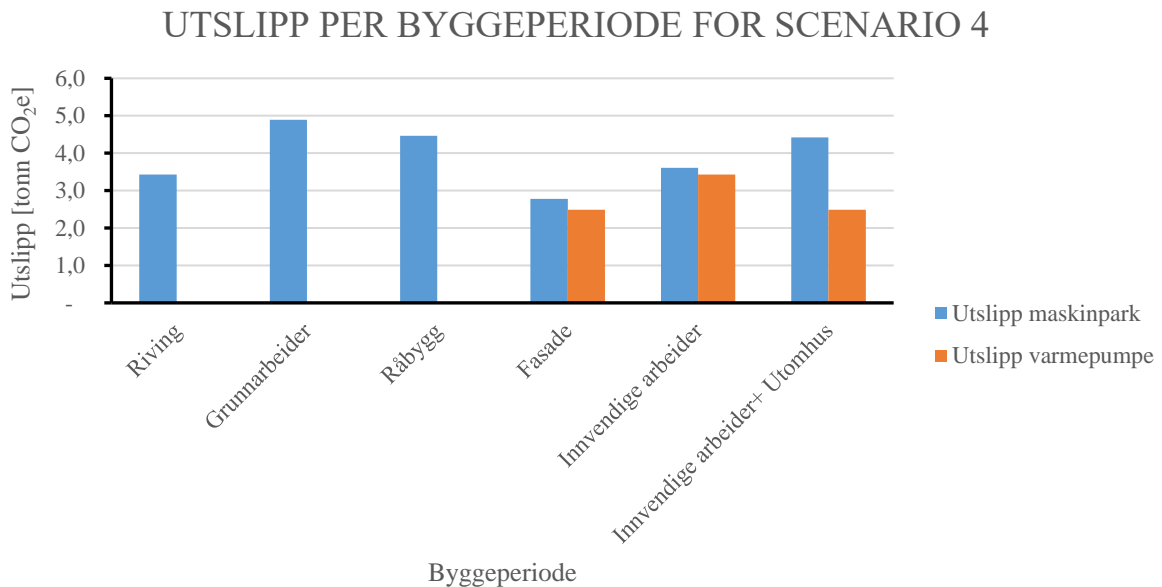


Figur 46: Figuren viser månedlig og kumulativ kostnad for Scenario 4.

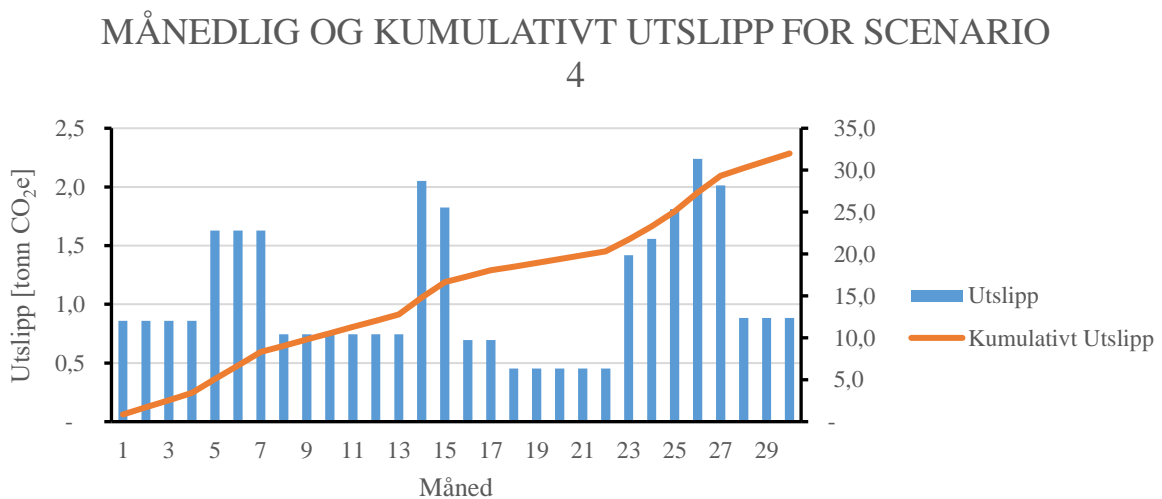
Totalkostnaden for Scenario 4 vil være 3 413 452 kr.

**Utslipp)**

Det totale utslippet for Scenario 4 blir summen av utslippet fra maskinparken (inkluderer grunnbelastning) og utslippet fra varmepumpen.



Figur 47: Figuren viser utslippet per byggeperiode for Scenario 4.



Figur 48: Figuren viser månedlig og kumulativt utslipp for Scenario 4.

Det totale utslippet blir 32 tonn CO<sub>2</sub>e. Dette er tilsvarende som for Scenario 3.

### 5.3.5 Sammenligning av scenarioer

Resultatene for de ulike scenarioene kan plottes inn i tabeller for å gi en bedre oversikt over forskjeller og likheter.

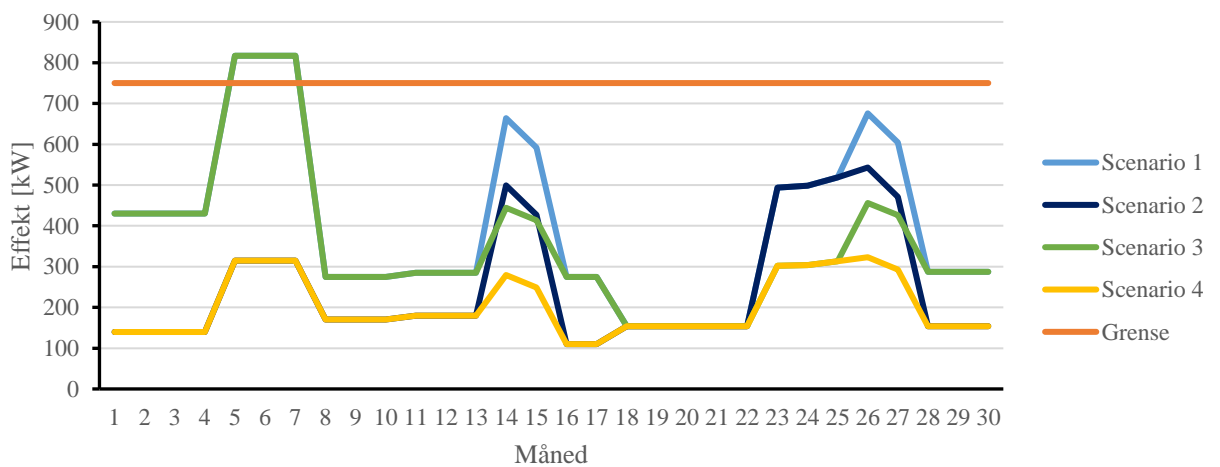
Tabell 22: Tabellen er en oversikt over resultater fra de ulike scenarioene.

Scenario	Makseffekt [kW]	Minste makseffekt [kW]	Totalkostnad [kr]	Utslipp [tonn CO <sub>2</sub> e]	Innenfor grenseverdi effekt
1	817	154	5 372 499	45,2	Nei
2	542	110	4 390 774	45,2	Ja
3	817	154	4 484 278	32	Nei
4	323	110	3 413 452	32	Ja

Tabell 23: Tabellen viser spesifikke verdier for hvert scenario. Tallene er beregnet for et ferdigbygget areal på 13 000 m<sup>2</sup>.

Scenario	Energibruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Utslipp [tonn CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ]	Kostnad [NOK/ m <sup>2</sup> ]
1	143,35	0,0035	413
2	143,35	0,0035	338
3	103,34	0,0025	345
4	103,34	0,0025	263

### SAMMENLIGNING AV MÅNEDLIG MAKSEFFEKT

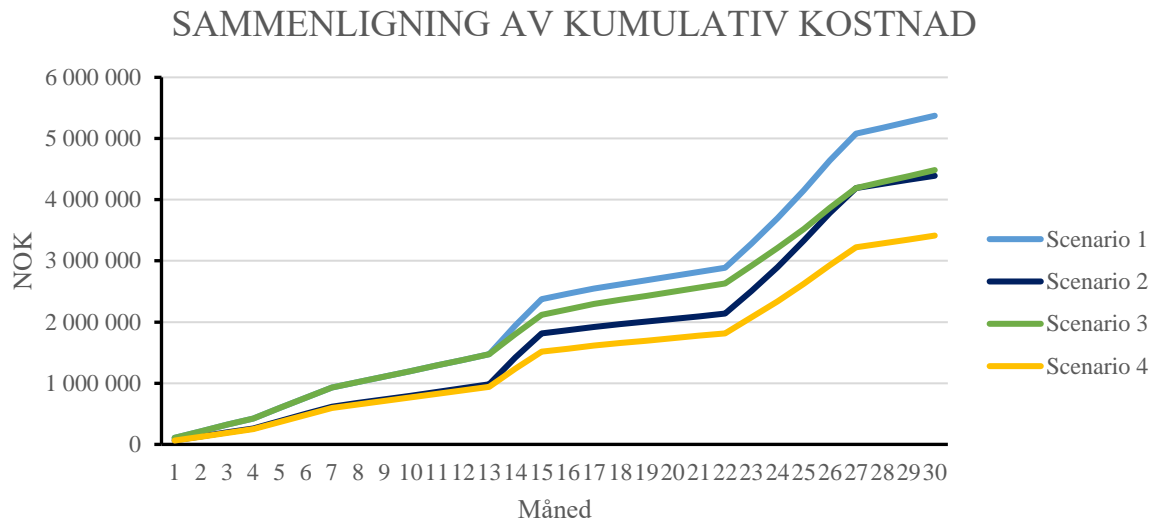


Figur 49: Figuren viser makseffekt per måned for alle scenarioer.

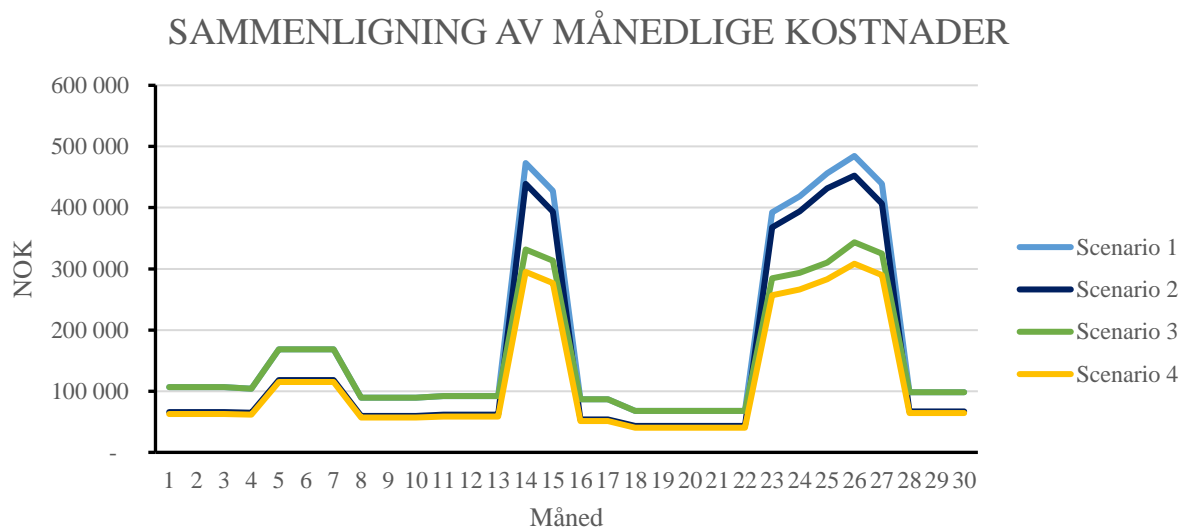
Kun to av scenarioene som er beregnet tilfredsstillende kravet om effektforbruk under 750 kW. Scenario 1 og 3 overskrider begge grenseverdien i månedene hvor det gjennomføres grunnarbeider, da scenarioene ikke har effektbesparende tiltak for hurtiglading. Scenario 2 og 4 har et kraftig redusert effektforbruk i denne perioden. I månedene hvor det er behov for oppvarming har alle scenarioene tydelige effektøkinger. Batteritiltaket i Scenario 2 reduserer effektforbruket noe i disse månedene, men varmepumpeløsningen i Scenario 3 har en kraftigere reduksjon. Scenario 4, hvor begge de effektbesparende tiltakene er innført har den klart laveste effektprofilen i oppvarmingsperiodene, med en tidvis halvering av forbruket. I perioder hvor det ikke er oppvarming og få anleggskjøretøy på

plassen er forskjellene mellom løsningene mindre. Effektforbruket i disse periodene er også lavere enn tidligere makseffekt. Dette indikerer at effektbesparelser i disse månedene kan være mindre kostnadseffektive, da de ikke påvirker nettleie eller forsyningsdimensjonering i stor grad.

Scenario 4 har det laveste spesifikke utslippet og kostnaden beregnet mot arealet til den ferdige bygningsmassen.



Figur 50: Figuren viser kumulativ totalkostnad for alle scenarier.



Figur 51: Figuren viser månedlige kostnad for alle scenarier. Linjediagram er valgt for fremstilling da det gir et mer oversiktlig bilde sammenlignet med stolpediagram.

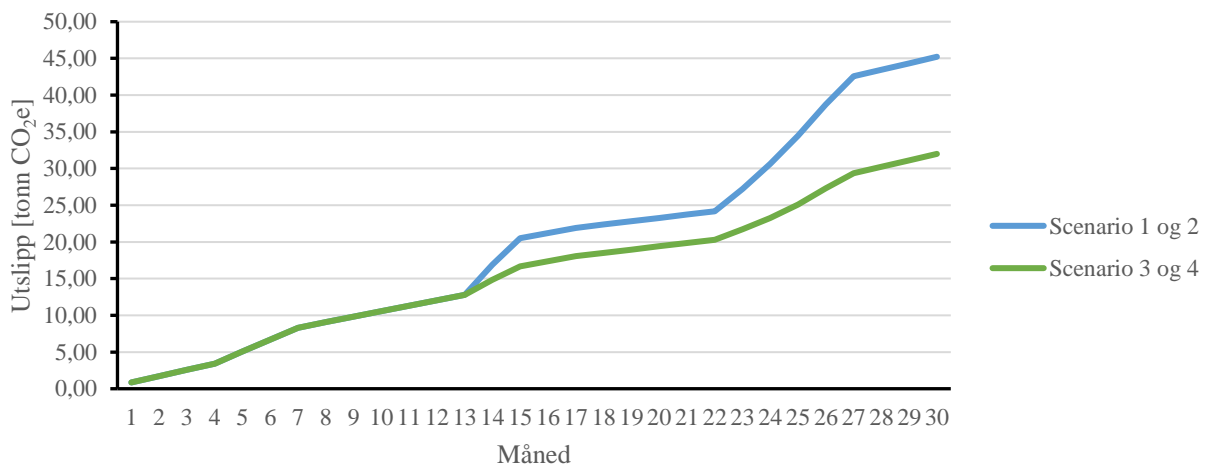
Kumulativ kostnad viser at Scenario 4 er det billigste og at Scenario 1 er det dyreste. Ved å se på kostnadsflyten gjennom prosjektet fremkommer det tydelig at oppvarming er mer kostnadskrevende enn lading av maskinparken. Besparelsene i effektforbruk i grunnarbeid-perioden har mindre kostnadseffekt enn endring av oppvarmingsløsning. Effektkuttet er større i grunnarbeid-perioden, men mengden energiforbruk i denne



perioden reduseres ikke da batteriene er antatt å fungere ideelt. Denne endringen i kostnader underbygger at oppvarming er mer energikrevende enn maskindrift i snitt per måned. Scenario 3 har høyere total kostnad enn Scenario 2, men dette skyldes i hovedsak at hovedsentral-kostnaden er dobbelt så stor for Scenario 3. Generelt sett antyder resultatene at det er i perioder med høyt effekt- og energiforbruk at tiltakene har høyest kostnadseffekt.

En viktig del av kostnadsbildet som er utelatt fra beregningene grunnet manglende datagrunnlag er leiekostnad for batteriløsning. Resultatene kan brukes for å angi hva som vil være en passende kostnad for denne løsningen. Scenario 2 har en kostnadsreduksjon på om lag 980 000 kr sammenlignet med Scenario 1. Gitt at Scenario 1 hadde vært en plausibel løsning måtte total leiekostnad vært under 980 000 kr for batteriløsningen dersom det skulle vært kostnadsmessig gunstig for prosjektet.

### SAMMENLIGNING AV KUMULATIVT UTSLIPP



Figur 52: Figuren viser kumulativt utslipp for alle scenarioer.

Scenario 1 og 2 har tilsvarende utslipp og har et høyere samlet utslipp enn Scenario 3 og 4. Da energimengden for maskinparken er antatt å være likt i alle scenarioer, er det varmepumpen som står for den største reduksjonen i utslipp. Om lag 13 tonn indirekte utslipp fra kraftnettet utgjør forskjellen for de ulike scenarioene.

### 5.3.6 Tilpasset løsning for prosjektet

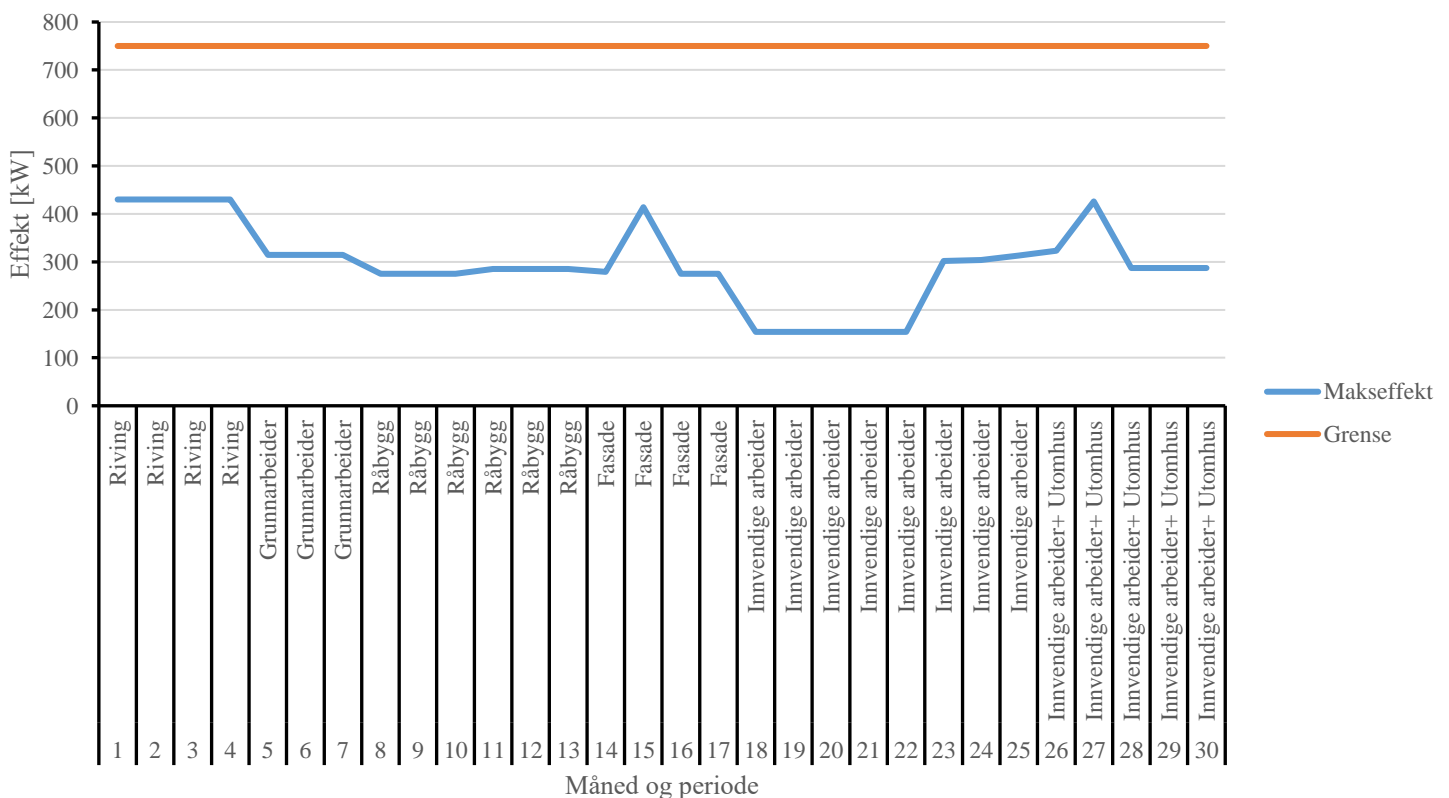
For å definere en tilpasset løsning for prosjektet på bakgrunn av de beregnede scenarioene er det nødvendig å avklare perspektivet for løsningen. Netteier og entreprenør kan ha ulike oppfatninger av hva som er den optimale løsningen; minimert effektforbruk eller minimert kostnadsnivå? Generelt sett anses det å være naturlig at det må være en balanse mellom reduserte kostnader og redusert effektforbruk.

I realiteten er det kun to av scenarioene som er plausible løsninger da de er innenfor grenseverdien på 750 kW; Scenario 2 og 4. Av disse to scenarioene er det 4 som har lavest utslipps- og kostnadsnivå. Bruken av varmepumpe til oppvarming anses som mest gunstig da denne løsningen reduserer kostnader, utslipp og effektforbruk. Bruken av batteriløsning er nødvendig i perioden med grunnarbeider, men må kostnadsmessig analyseres for de andre månedene.

Dersom det forutsettes at det brukes batterier i grunnarbeid-perioden og varmepumpe for oppvarming kan det gjennom analyse av resultatene for Scenario 3 og 4 defineres hvilke andre måneder en batteriløsning er gunstig.

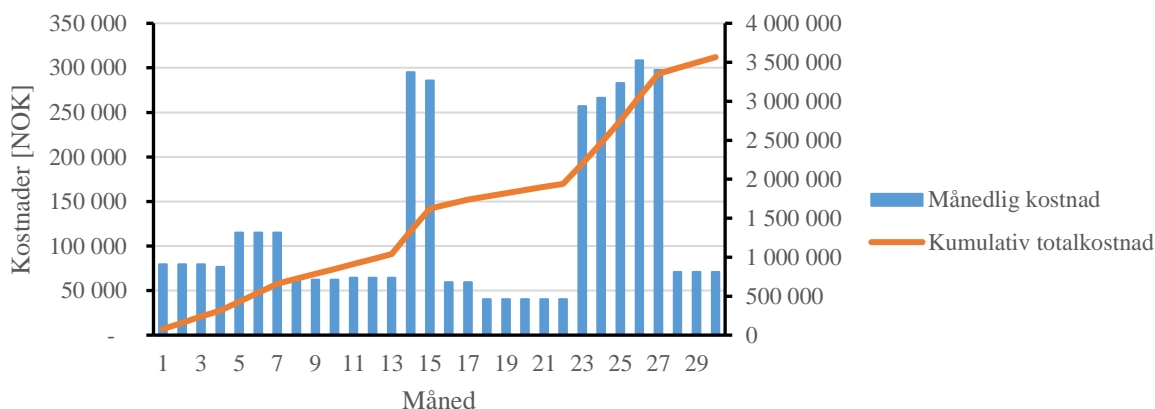
To utslagsgivende måneder for Scenario 3 og 4 er måned 14 og 26. I disse to månedene ligger effektforbruket for Scenario 3 over 436 kW. Dette medfører at byggeplassen må over på en større hovedsentral som medfører at den totale kostnaden øker med 90 090 kr. Det er derfor sannsynligvis hensiktsmessig å anvende batterier for hurtiglading i disse to månedene (leiekostnaden er sannsynligvis mindre enn 45 000 kr + nettleiebesparelser per måned). Dersom prosjektet velger alternativet med batteribruk i grunnarbeidsperioden og i disse to månedene vil makseffekten ligge på en relativt jevn belastning.

#### MÅNEDLIG MAKSEFFEKTFORBRUK FOR TILPASSET LØSNING



Figur 53: Figuren viser månedlig makseffektforbruk for den tilpassede løsningen.

## KOSTNADER FOR TILPASSET LØSNING



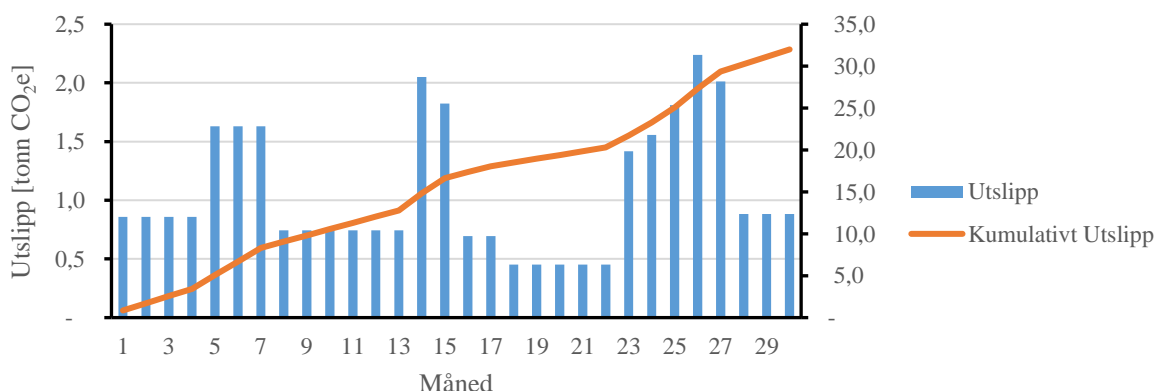
Figur 54: Figuren viser månedlig og kumulativ kostnad for tilpasset løsning.

Totalkostnaden for tilpasset løsning er 3 566 055 kr. Dette tilsvarer en økning på 152 603 kr i forhold til Scenario 4. Siden de to løsningene har samme hovedsentral og oppvarmingsmetode utgjør nettleiebesparelser ved bruk av batterier forskjellen i kostnader. Denne forskjellen i kostnader kan avgjøre om leie av batterier i de andre månedene er kostnadmessig gunstig. Scenario 4 har ytterligere 22 månedsleier for batterier fordelt utover prosjektperioden sammenlignet med den tilpassede løsningen. For at Scenario 4 skal være et bedre økonomisk alternativ må månedsleien på batterimoduler være mindre enn:

$$\frac{152\,603\text{ kr}}{22\text{ måneder}} = 6937\text{ kr}$$

Det totale utslippet for den tilpassede løsningen er tilsvarende som for Scenario 3 og 4; 32 tonn CO<sub>2</sub>e.

## MÅNEDLIG OG KUMULATIVT UTSLIPP FOR TILPASSET LØSNING



Figur 55: Figuren viser månedlig og kumulativt utslipp for den tilpassede løsningen.

## 6. Diskusjon

### 6.1 Prosjektrammer og beregningsmetode

Oppgaver som inkluderer beregninger og simuleringer vil alltid ha en grad av usikkerhet. Usikkerhetene knyttet til slike prosesser er svært viktige og må ses i sammenheng med de presenterte resultatene.

Det som anses som den største kilden til usikkerhet i oppgaven er hvordan effektbehovet er beregnet og definert. En summering av peak-effekter vil sjelden angi den faktiske maksbelastningen da sannsynligheten for en samtidig peak på alle laster er liten. Ved skalering av elektriske installasjoner brukes ofte samtidighetsfaktor for å angi den dimensjonerende lasten (Hansen, 2021). Eksempelvis er en forsyning for et bolighus ikke beregnet for at alle elektriske apparater og installasjoner i boligen skal være påslått samtidig. En slik nedskalering er et kostnadsbesparende tiltak. Utfordringen med å bestemme samtidighet for byggeplasser er tilgjengelig datagrunnlag. For boliger finnes det svært store mengder tilgjengelig informasjon og data, mens det for elektriske byggeplasser finnes lite informasjon rundt strømbruk. Dette kunnskapsgapet har gjort at det i denne oppgaven ble ansett som hensiktsmessig å bruke en mer direkte tilnærming. En klar svakhet ved en slik tilnærming er at energiberegninger blir mer krevende. Makseffekten kan med en viss grad av usikkerhet brukes til å dimensjonere forsyningen, men den kan ikke brukes for å beregne energiforbruk. Dersom makseffekt ble brukt til å gjøre energiberegninger ville mengden energi vært tilnærmet tredoblet (34 % belastning antatt i beregninger).

Et aspekt som taler for en direkte summasjon av laster er bruken av hurtiglading i maskinparken. Ved hurtiglading vil samtidig makseffekt for flere laster være mer sannsynlig. Ladeeffekt og ladekurver er sjelden ideelle, men i en situasjon hvor det er tilstrekkelig temperatur og ladetilstand i batteriene kan de maksimale hurtigladeeffektene for et mindre antall kjøretøy summeres. I periodene hvor hurtiglading i spisepausen utgjør maksimalbelastningen er det sannsynlig at denne effekten er mer realistisk enn der kablede kjøretøy og grunnbelastninger utgjør dimensjonerende last. Etter hvert som kunnskaps- og datagrunnlaget for elektriske byggeplasser blir utvidet vil det være naturlig å introdusere samtidighet som en del av dimensjoneringen for slike prosjekter. Bruk av samtidighetsfaktor i denne oppgaven ville sannsynligvis redusert kostnadsnivå og størrelsen på forsyninger.

I oppgaven antas det at bruk av elektrisitet har en virkningsgrad på tilnærmet 100 % for oppvarming (Rosvold, snl.no, 2018) og lading av kjøretøyer. I realiteten vil alle prosesser hvor energi overføres eller bytter form medføre tap. Oppvarming ved elektrisitet er svært effektivt, og denne tilnærmingen vil derfor være nokså nærme virkeligheten. For batteriløsninger er virkningsgraden noe lavere enn for oppvarming. I noen av løsningene presentert i oppgaven skal den elektriske energien lagres i batterier to ganger før den anvendes; batteribanken på byggeplassen og i selve maskinen. Batterimodulen som leveres fra Eviny er produsert av selskapet Northvolt og bruker litium-ion-teknologi. Denne typen batterier har gjerne en virkningsgrad på 90-95 % (Sauer, 2009). I et verst tenkelig tilfelle vil mengden energi som kan nyttiggjøres etter to slike ladeprosesser være 81 % av den opprinnelige energien:

$$\eta = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$$

Dersom denne virkningsgraden hadde vært medregnet ville det spesifikke energiforbruket for prosjektet økt.

Tabell 24: Tabellen viser spesifikt energiforbruk med og uten medregnet virkningsgrad for maskinpark og batterier.

Scenario	Energibruk uten virkningsgrad [kWh/m <sup>2</sup> ]	Energibruk med virkningsgrad [kWh/m <sup>2</sup> ]	Økning
1	143,35	161,58	12,7 %
2	143,35	161,58	12,7 %
3	103,34	121,57	17,6 %
4	103,34	121,57	17,6 %

Effekt forbrukt til opplading av batterimoduler på nattestid ville økt fra 18,73 til 20,8 kW ved medregnet virkningsgrad. Det antas ikke at økningen i effekt ville påvirket dimensjoneringen av systemet.

Systemgrensene og rammebetingelsene for utslippsfrie byggeplasser er i stadig endring. Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i de rammene som var gjeldene i begynnelsen av 2022. For en bransje midt i en grønn omstilling og overgang kan og bør kravene for utslippsfrie byggeplasser endres etter hvert som nye løsninger og erfaringer blir tilegnet.

Oppgaven tar utgangspunkt i en byggeplass med en tilgjengelig effekt på 750 kW. Sammenlignet med erfaringstallene oppgitt fra UCO (550 kW) og Elvia (500kW i Oslo sentrum) er dette en byggeplass med god tilgang til elektrisk effekt. Tilgang på effekt og energi er en avgjørende faktor i overgangen til elektriske byggeplasser. Tilgjengeligheten og topografien for kraftnettet i områdene hvor byggeplassene er tiltenkt vil være svært utslagsgivende for hva slags løsninger som må anvendes. Dette blir spesielt aktuelt i distriktene. Per nå er det særlig i de største byene at de statlige aktørene stiller krav om nullutslipp og elektrifisering, men i fremtiden vil det være naturlig at disse kravene også stilles til prosjekter som ligger mindre urbant til. I prosjekter hvor tilgangen på elektrisitet er mer begrenset kan batterier spille en større rolle enn i urbane strøk. Mange av byggebransjens ressurser brukes i store anleggsprosjekter som kan ligge svært usentralt til, og ha et mye større maskinbehov enn bolig- og næringsbygg. For disse prosjektene vil elektrifisering sannsynligvis bli en større og vanskeligere utfordring å løse. Erfaringer fra prosjekter i urbane områder slik som ved Midtbygda kan bli svært viktig i denne overgangen.

Den tilpassede løsningen presentert i resultatene er dimensjonert med utgangspunkt i de beregnede scenarioene. Scenarioene er en god måte å se hvordan ulike løsninger påvirker kostnader, utslipp og effektforbruk, men de er ikke nødvendigvis den «optimale»

løsningen for prosjektet. I Scenario 2 og 4 er batterier eksempelvis anvendt i flere perioder uavhengig av økonomisk gevinst.

## 6.2 Kostnader

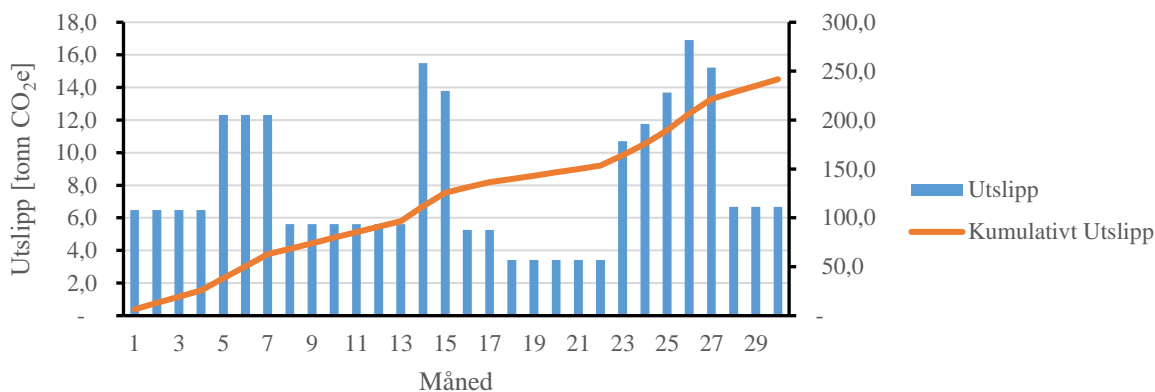
Kostnader og besparelser vil alltid være en del av beslutningsgrunnlaget og en kilde til usikkerhet i prosjekter. Kostnader kan som nevnt tidligere i diskusjonskapitlet være et vanskelig tema for pilotprosjekter da verdien av besparelser må ses opp mot verdien av kunnskap om de nye løsningene. Etter hvert som elektriske byggeplasser og bruk av batteriløsninger blir mer utbredt vil det være naturlig at også disse løsningene blir gjenstander for økonomisk beslutningstaking.

Et av hovedargumentene som dukket opp i forbindelse med bruk av batterier på byggeplasser var kostnadene knyttet til etablering av forsyning. Tilbydere av batteriløsninger anså dette som en potensiell betydelig kilde til besparelser i prosjektene. Under arbeidet med oppgaven var det vanskelig å finne og innhente informasjon om kostnadsnivået for ulike forsyningsstørrelser lagt opp av nettselskaper. Generelt sett skyldes dette at det er store variasjoner i disse etableringskostnadene avhengig av prosjektenes beliggenhet og særegne karakteristikker. I oppgaven er prisen for etablering av ulike forsyningsstørrelser antatt lik. Prisen for etablering av forsyning burde være en del av den kostnadsmessige analysen knyttet til batteribruk, og oppgaven har derfor en betydelig usikkerhet knyttet til denne utgiften. Dersom det er store forskjeller i etableringskostnaden for forsyning, kan dette gjøre batteribruk mer økonomisk gunstig.

## 6.3 Utslipp

Et sentralt aspekt i alle diskusjoner som omhandler fornybar energi, utslipp og relaterte temaer er utslippsfaktorer. Utslippsfaktorer utgjør grunnlaget for å beregne utslippet fra ulike energikilder, og kan gi store påvirkninger på utfall i miljøanalyser. Hva som utgjør det beste beregningsgrunnlaget for utslippsfaktorer er et omdiskutert tema som i stor grad påvirker analyser som den gjennomført i denne oppgaven. Utslippsfaktoren som er angitt for det norske kraftsystemet i denne oppgaven er hentet fra NS3720 (Standard Norge, 2018). Her benyttes en utslippsfaktor på 18 g CO<sub>2</sub>e/kWh. En endring i denne faktoren ville påfølgende endret utslippsbildet for de vurderte løsningene og byggeplassen som helhet. Når miljøgevinsten ved innføring av utslippsfrie byggeplasser beregnes, er det viktig med en bevisstgjøring på usikkerheten og utslaget slike faktorer kan ha på det endelige resultatet. Faktoren som brukes i denne oppgaven kan ikke defineres som mer «rett» enn andre faktorer, men bruken av et standardisert system gjør sammenligninger enklere. Hvis oppgaven hadde anvendt en utslippsfaktor for blanding av norsk og europeisk elektrisitetsmiks på 136 g CO<sub>2</sub>e/kWh, ville dette økt utslippet for den tilpassede løsningen proporsjonalt med økningen i utslippsfaktor.

## MÅNEDLIG OG KUMULATIVT UTSLIPP FOR TILPASSET LØSNING



Figur 56: Figuren viser utslipp for den tilpassede løsningen ved en utslippsfaktor på 136 g CO<sub>2</sub>e/kWh.

Utslipper ved blandingsfaktoren er totalt 242 tonn CO<sub>2</sub>e. Det totale utslippet er 7-8 ganger større enn ved bruk av faktoren for kun norsk elektrisitet. En slik forskjell i utslipp og avtrykk understreker viktigheten av bevisst og konsekvent bruk av utslippsfaktorer.

Historisk sett har diesel og andre fossile kilder til energi vært mye brukt i bygg- og anleggsbransjen. Disse kildene har driftet maskinpark og oppvarming av byggeplassen. Ved å introdusere uttrykket «utslippsfri byggeplass» og gjennomføre en overgang til en grønnere bygg- og anleggsbransje er det naturlig å si noe om utslippsreduksjon som følge av denne overgangen. I litteraturstudiet i denne oppgaven ble virkningsgrad, utslippstall og kostnader knyttet til bruk av diesel fremlagt. Generelt sett har diesel en høyere utslippsfaktor enn elektrisitet. Dette sett sammen med en lavere virkningsgrad for forbrenningsmotorer og forbrenningsoppvarming, gjør at elektriske byggeplasser med rett opphavsgaranti for elektrisitet kommer bedre ut av utslippsanalyser.

Dieseloppvarming har en virkningsgrad på 90 % (Genetech, 2022) og dieselanleggsmaskiner en virkningsgrad på 30 % (DNV GL, 2017). HVO100 biodiesel har en energitetthet på 9,6 kWh/l (Preem, 2020). Vanlig diesel slipper ut 2,68 kg CO<sub>2</sub>e/l. (Thompson, 2020). Regnet ut fra Miljødirektoratets anslag på 65 % utslippsreduksjon (Miljødirektoratet, 2021) for HVO100 kontra vanlig diesel svarer dette til et utslipp på 1,742 kg CO<sub>2</sub>e/l<sup>8</sup>. En ren fossil byggeplass ved Midtbygda som kun bruker HVO100 biodiesel til maskindrift og oppvarming ville ha sluppet ut tilnærmet 783,2 tonn CO<sub>2</sub>e. Det er 24,5 ganger mer enn en elektrisk byggeplass (Ved bruk av akkurat disse faktorene). Om faktoren tok hensyn til indirekte utslipp for biodiesel (mindre opptak i skog o.l.) vil utslippet blitt større.

I oppgaven forutsettes det at bruk av batterier på byggeplassen ikke fører til økt utslipp av klimagasser for prosjektet. I realiteten vil produksjonen og transporten av disse batteriene

<sup>8</sup> Dette utslippet er direkte utslipp fra forbrenning, og dermed ikke direkte sammenlignbart med utslippet beregnet tidligere i oppgaven.

medføre økte utslipp. Hvorvidt disse utslippene kan tilegnes prosjektet er avhengig av rammene rundt begrepet «utslippsfri byggeplass». Slik begrepet brukes og defineres av Oslo kommune i 2022 (Oslo kommune, 2022) vil en slik tilegnelse ikke være aktuelt.

## 6.4 Oppvarming av byggeplasser

Beregningen av oppvarmingsbehov er basert på erfaringsverdier, tilnæringsverdier verdier for bygningskroppen og værdata. Erfaringsverdiene er hentet fra UCO og tar utgangspunkt i oppvarming av byggeplasser i senere år. Erfaringsverdier vil alltid være en kilde til usikkerhet da disse verdiene har få prosjektspesifikke parametere. Dette gjør at oppvarmingsberegningen i all hovedsak må anses som en tilnærming til de reelle verdiene for Midtbygda sykehjem. De spesifikke værforholdene vil også påvirke oppvarmingsbehovet i stor grad. Da det beregnede behovet i denne oppgaven er basert på gjennomsnittsverdier for de siste 10 årene i området hvor Midtbygda sykehjem ligger, er det sannsynlig at de reelle verdiene vil avvike fra de brukt i beregningen. Det anses som lite sannsynlig at begge fyringssesongene i prosjektperioden vil følge gjennomsnittsverdier for temperatur. En mild eller kald vinter kan følgende påvirke effektbehovet som kreves for oppvarming. En mild vinter og et mindre effektbehov vil ikke ha særlig påvirkning på energiforsyningen til byggeplassen, men en kald vinter med økt effektforbruk kan gjøre at forsyninger vil være underdimensjonert.

Ved dimensjonering av oppvarming for boliger og næringsbygg er det vanlig at behovet for effekt beregnes utfra en dimensjonerende utetemperatur (DUT) definert som laveste snittemperatur over en periode på tre dager i en 30-års periode. Dersom DUT hadde blitt anvendt i denne oppgaven hadde oppvarmingsbehovet for byggeplassen sannsynligvis hatt en større allokert effekt. Gjennom samtaler med UCO ble det fastlagt at en slik dimensjoneringsmetode er lite hensiktsmessig og lite brukt for norske byggeplasser i dag.

I oppgaven forutsettes det at batteriene som installeres på byggeplassen kun kan brukes til drift av hurtiglading av maskiner og ikke for eksempel oppvarming. En eventuell tilkobling av oppvarming til en batteribank kunne ytterligere ha flatet ut effektprofilen for byggeplassen. Samtidig påpekes det i oppgaven at oppvarming har et større energibehov enn hurtiglading og derav også ville vært avhengig av en betydelig batteribank om et hensiktsmessig nivå av fleksibilitet skulle vært tilgjengelig i systemet. Dette medfører igjen at kostnadsnivået ved en slik løsning mulig ville vært høyere enn den totale gevinsten. En eventuell endring i effekttariffer for natt- og dagtid ville kunne bidra til at en slik løsning ble mer gunstig.

I oppgaven er det ren elektrisk oppvarming og oppvarming med varmepumpe som vurderes som mulige oppvarmingsløsninger. En annen mulig løsning som kan utredes for utslippsfrie byggeplasser er bruken av tidlig innlagt fjernvarme der det er tilgjengelig. Dette anses som spesielt gunstig i bygninger som også skal bruke fjernvarme når det settes i drift. Flere leverandører av fjernvarme tilbyr i dag egne priser og avtaler knyttet til slik oppvarming (Fortum, 2022).



Bruk av fjernvarme for oppvarming ville redusert effektforbruket på byggeplassen betydelig. Elektrisiteten og effekten som brukes til å drifte fjernvarmesystemet er neglisjerbart sammenlignet med effektforbruket ved elektrisk oppvarming eller bruk av varmpumpe. Bruk av fjernvarme ville sannsynligvis gjort at en batteriløsning kun ville vært økonomisk hensiktsmessig i grunnarbeidsperioden. Andre løsninger som kan vurderes for byggeplassen inkluderer en mulig kombinasjon av varmpumpe og fjernvarme om det er nødvendig infrastruktur og utstyr tilgjengelig.

I resultatene for oppvarmingsbehov viste varighetskurven for varmpumpen et plutselig fall. Denne uregelmessigheten i kurven skyldes sannsynligvis en svakhet i beregningen av effektforbruket for varmpumpen. Svakheten kan ligge i bruken av «temperaturintervaller» i stedet for en jevn fordeling for ulike COP-verdier. Dersom trinnene mellom de ulike COP verdiene tilknyttet intervallene blir for store, kan dette resultere i at det for noen spesifikke effekter og temperaturforhold blir uregelmessigheter i beregningene.

## **6.5 Elektriske anleggsmaskiner**

I oppgaven antas det at ladekurver for hurtiglading er ideelle og at ladestasjonen leverer den maksimale effekten den er dimensjonert for. I realiteten vil ladekurver, ladeeffekt og ladetid variere på bakgrunn av flere ulike variabler. Ved hurtiglading av maskiner i arbeidspauser er det viktig at føreren av maskinen bevisst tilrettelegger for best mulig ladeforhold. Tiltak som forvarming av batterier forut ladingen kan sikre at maskinen oppnår tilfredsstillende lade- og effektnivå.

For energiberegninger for maskiner i oppgaven er det antatt en gjennomsnittsbetlastning på 34 % av makseffekt. Dette tallet er basert på en rapport fra Sintef som omhandler erfaringer fra bruk av nullutslippsgravere (Kjendseth Wiik, et al., 2020). Denne antagelsen har en klar svakhet da den er basert på bruken av én enkelt maskin i et prøveprosjekt. Prosentandelen brukes også for andre maskintyper enn nullutslippsgravere. Bruken av denne prosentfaktoren er et resultat av manglende datagrunnlag, og kan ha påvirket resultatene knyttet til energimengder, kostnader og utslipp. Uten mer kjennskap til verdier for ulike maskintyper er det vanskelig å vurdere hvorvidt det virkelige energiforbruket vil være høyere eller lavere enn det som er beregnet.

Elektriske bygg- og anleggsmaskiner har frem til nå 2022 typisk vært ombygde maskiner som tidligere brukte fossilt drivstoff. I tiden som kommer er det bekreftet at flere leverandører vil lansere maskiner som er bygd på en helelektrisk plattform og i så måte er bedre tilpasset elektrisk drivlinje. Dette sett sammen med den raske utviklingen av batterier og andre elektriske kjøretøy gjør at det er rimelig å anta at batterikapasitet, ladeeffekt og effektivitet vil bli bedre for elektriske bygg- og anleggskjøretøy i årene som kommer. Investeringskostnaden ved innkjøp av maskinene vil sannsynligvis avta i fremtiden. Bransjen er midt inne i en omstilling som er preget av rask utvikling og hurtig

utrulling av nye løsninger. Kjøretøyene og teknologien brukt i denne oppgaven kan derfor fort bli utfaset til fordel for nye, bedre løsninger.

## **6.6 Smartstyring og energiplanlegging**

Et energi- og effektbesparende tiltak som ikke er implementert som løsning i denne oppgaven er bruken av smartstyring for elektriske laster. Bruken av smartstyring på byggeplasser har sannsynligvis et betydelig sparepotensial, men er ikke spesielt utbredt i dag. Muligheten til å forskyve laster og tilpasse effektprofiler ved bruk av smartstyring kan være en svært kostnadseffektiv løsning. Et eksempel på et mulig tiltak som kan gjennomføres ved bruk av slik styring er å kutte oppvarmingslaster i pauser hvor maskiner skal hurtiglades. Det anses som rimelig at oppvarmingen eksempelvis kan kuttes i 45 minutter uten at det har stor påvirkning på fremdrift eller arbeidsmiljø på byggeplassen. Et eksempel på et tiltak som kan gjennomføres med og uten smartstyring er forskyvning av ladetidspunkt. Muligheten for å lade kjøretøyer fordelt utover flere pauser i stedet for samtidig vil være en tilnærmet gratis måte å redusere effektforbruk. Samtidig til det redusere behovet for antall ladepunkter. For at smartstyring skal bli et aktuelt alternativ er det nødvendig med mer kunnskap om energibruk på byggeplasser.

En mulig fordel ved å forskyve laster og energibruk ved hjelp av batterier er at det er mulig å utnytte forskjeller i energipriser. Strøm er ofte billigere på natten enn på dagen, og lading av batterimoduler utenfor arbeidstid kan utnytte denne forskjellen. For at en slik besparelse skal bli gunstig er det nødvendig med en spotprisavtale som følger strømpriser time for time. Da Skanska har fastprisavtaler over lengre perioder per dags dato er dette ikke relevant for akkurat dette prosjektet. En mulig endring i nettleiemodeller hvor effektforbruk på natten er billigere ville også kunne medføre reduserte kostnader for en slik batteriløsning.

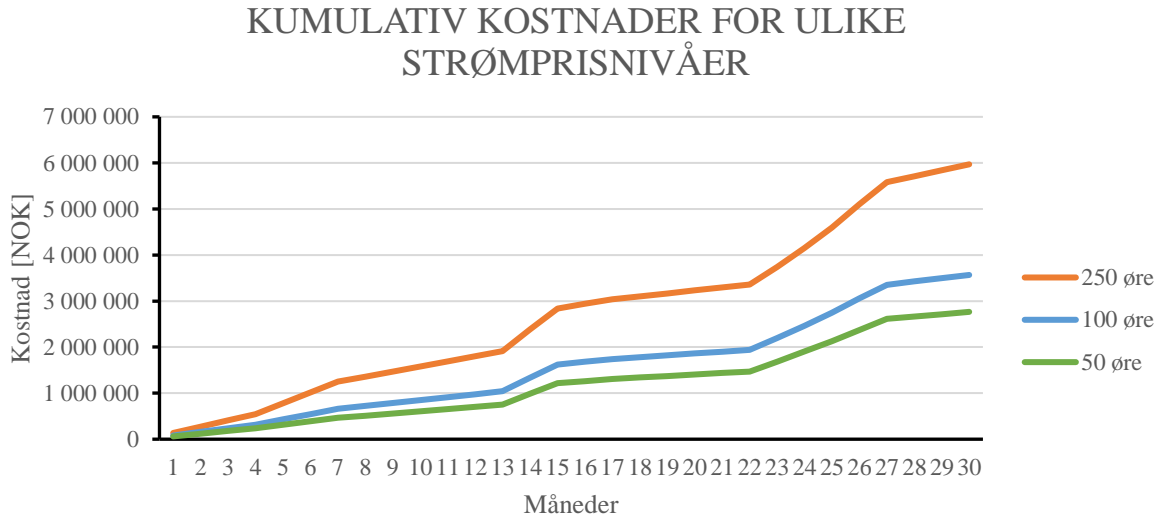
Gjennom samtaler med Skanska har det kommet frem at energiplanlegging i byggefase, i motsetning til driftsfase, har hatt en liten rolle i de tidlige fasene av prosjekter frem til i dag. Kostnader knyttet til energi i byggefasen er ofte små sammenlignet med total kostnad og har ikke blitt ansett som spesielt utslagsgivende i det store bildet. Med dagens fokus på ENØK og klimautslipp er det rimelig å anta at denne typen arbeid vil få en større og viktigere rolle i årene som kommer.

## **6.7 Energimarked**

I 2022 har energimarkedet vært preget av ekstraordinære hendelser og prisøkninger. Ringvirkninger knyttet til krigen i Ukraina og en allerede krevende kraftsituasjon i Europa kombinert med høy inflasjon har økt prisene på energi. Denne situasjonen i markedet gjør at økonomiske betraktninger og priser fremsatt i oppgaven har en vesentlig usikkerhet. Denne usikkerheten vil sannsynligvis prege all kraftkrevende industri i tiden som kommer. For å være best mulig tilpasset situasjonen og mulige prisutviklinger vil det være sentralt å ha et fokus på energiøkonomisering for Skanska og andre aktører i bransjen.

Usikkerheten i det globale energimarkedet kan i liten grad påvirkes av bygg- og anleggsbransjen, men ved å redusere energiforbruk kan effekten av økte priser reduseres.

I oppgaven er det fastsatt en strømpris på 100 øre/kWh. Usikkerheten rundt energipriser kan gi store utslag på kostnadene beregnet i oppgaven.



Figur 57: Figuren viser kumulativ kostnad for ulike strømpriser.

Ved en gjennomsnittlig strømpris på 50 øre vil totalkostnaden være om lag 2,8 millioner kroner. Dersom strømprisen i snitt ligger på 250 øre, vil totalkostnaden være rett i underkant av 6 millioner kroner. Dersom den geopolitiske situasjonen og trendene i markedet våren 2022 tas i betraktning er det ikke usannsynlig at prosjektet vil ligge nærmere totalkostnaden for 250 øre.

En kraftig økning i kostnader knyttet til energi kan øke terskelen og bremse overgangen til elektriske byggeplasser for aktører i bygg- og anleggsbransjen. Dette vil sannsynligvis være særlig relevant for mindre aktører med en strammere bunnlinje enn større entreprenører med mer likviditet. Prisøkningen for energi omfatter naturligvis også olje, gass og tilhørende fraksjoner, og prisforskjellen mellom elektrisitet og fossile energikilder vil dermed ikke nødvendigvis endres betraktelig. Selv om drivstoffkostnaden for både elektrisitet og fossile kilder øker korrelert, er det mulig at økt usikkerhet fører til en mer konservativ pengebruk og mindre nye investeringer.

## 6.8 Skanskas rolle i overgangen til utslippsfrie byggeplasser

En del av utfordringen med å lage en tilpasset løsning for prosjektet er hvilken innfallsvinkel som skal velges. Er målet å minimere kostnader, effektnivå eller utslipp? En slik problemstilling blir ikke enklere å besvare for prosjekter som er tiltenkt å være pilotprosjekter for nye teknologier. For den tilpassede løsningen presentert i resultatene er kostnader den utslagsgivende faktoren for hvilke måneder batterier burde anvendes. Denne løsningen benytter ikke batterimoduler i særlig stor grad. Generelt sett er det hensiktsmessig og nødvendig at det er en balanse i kostnader og effektbelastninger på strømmettet, men for et pilotprosjekt som Midtbygda sykehjem vil det ikke være unaturlig

å anvende batterier i perioder da det ikke er strengt tatt økonomisk gunstig da erfaringene og datagrunnlaget som tilegnes kan være mer verdifullt på sikt. I en overgangsperiode hvor nye løsninger prøves ut er det naturlig at aktører vil være villige til å påta seg en merkostnad for å øke kompetansenivået og kunnskapen om de nye løsningene.

Usikkerhet rundt hvilke selskaper som skal inneha hvilke roller er et naturlig resultat av nye markeder og muligheter. Når det gjelder effektbesparende tiltak på byggeplasser er det flere løsninger som kan innføres. Disse løsningene vil i varierende grad være knyttet til ulike aktører i markedet. Eksempelvis vil bruken av batteriløsningene ha hovedsakelig to hovedinteressenter i form av netteier og entreprenør. Netteier vil ønske å begrense investeringer og utvidelser av det allerede eksisterende nettet og entreprenør vil ønske å skaffe tilstrekkelig energi til byggeplassen innenfor de rammene som finnes. Samtidig vil også byggherre som stiller krav til utslippsfrie løsninger bli involvert i denne prosessen. Det anses som naturlig at åpenhet og kommunikasjon er en nøkkelfaktor for at overgangen til elektriske byggeplasser skal lykkes for alle interessentene.

Usikkerheten knyttet til energikostnader i kommende perioder understreker viktigheten av energiøkonomisering og fokus på energiplanlegging for Skanska og andre entreprenører. Skanska kan i liten grad påvirke energipriser, men gjennom å begrense energibruk kan den totale energikostnaden bli mindre usikker. En pumpepris på 30,65 NOK/l for HVO100 diesel (CircleK, 2022) vil innen energien er omgjort til nyttbart maskinarbeid tilsvare en strømpris på 10,64 NOK/kWh.

$$\frac{30,65 \text{ NOK/l}}{9,6 \text{ kWh/l} \cdot 0,3} = 10,64 \text{ NOK/kWh}$$

Et slikt regnestykke avhenger naturligvis sterkt av virkningsgraden for gravemaskinen (DNV GL, 2017), men trenden i sluttkostnaden for nyttbar energi er allikevel fremtredende. Investeringskostnader for overgangen til elektriske byggeplasser er betydelig, men på sikt vil en slik investering gi høyere avkastning.

Skanska er en betydelig aktør i bygg- og anleggsbransjen. Selskapet har et stort marked nasjonalt og internasjonalt, og har markert seg som en fremoverlent entreprenør med et forskningsmessig forankret miljøarbeid. Engasjement fra store aktører er en forutsetning for at det grønne skiftet skal lykkes. Satsningen på forskning og nye løsninger i Skanska gjør at bransjen som helhet kan kutte klimagassutslipp. Å være en forløper i miljøarbeid medfører at Skanska må teste utprøvede løsninger hvor kostnader må veies opp mot fotavtrykk.

## 7. Konklusjon

Målet med denne oppgaven har vært å analysere og dimensjonere energiforsyningen som kreves for en utslippsfri byggeplass ved Midtbygda sykehjem. Energi- og effektforbruket har blitt analysert gjennom bruk av fire mulige scenarioer for prosjektet.

Byggeplassen ved Midtbygda sykehjem vil være avhengig av å innføre effektbesparende tiltak for å sikre kontinuerlig drift av byggeplassen og unngå overskridelser av strømværn. I grunnarbeidsperioden av prosjektet vil det være nødvendig å bruke batterier for å drifte hurtiglading av hele eller deler av maskinparken da effektforbruket uten tiltak ligger over 750 kW. I andre, utvalgte perioder av prosjektet vil det være hensiktsmessig å bruke batteriløsning for hurtiglading og varmepumpe for oppvarming for å redusere det totale utslipps- og kostnadsnivået. Den tilpassede løsningen for prosjektet vil være mest gunstig for det totale kostnads- og utslippsbildet. Denne løsningen har et utslipp på 32 tonn CO<sub>2</sub>e, og en total kostnad eksklusiv batterileie på 3 566 055 kr. Økonomiske faktorer må vurderes nøye opp mot læringsutbyttet ved en eventuell utvidet bruk av batteriløsning.

Resultatene av beregningene utført i oppgaven er preget av usikkerheter, og det vil være hensiktsmessig å utvide datagrunnlaget for elektriske byggeplasser for å gjøre fremtidige analyser mer nøyaktige.

## **8. Videre arbeid**

En naturlig videreføring av denne oppgaven vil være innsamling av data fra pilotprosjektet ved Midtbygda sykehjem og sammenligne disse med beregningene i denne oppgaven. Sammenligninger av beregnede og faktiske tall kan sikre at fremtidige analyser vil holde en høyere kvalitet. Eviny har planlagt å innhente informasjon om prosjektet gjennom sine ladestasjoner og eventuelle batterier. Utstyret er designet for informasjonsinnhenting og har mulighet til å gi høyoppløst datainnsamling.

I oppgaven lanseres kun to effektbesparende tiltak; varmepumpe og batterimoduler. Løsninger som smartstyring av laster og forskyvning av ladetidspunkter er effekttiltak som burde vies oppmerksomhet i videre analyser.

Anleggsprosjekter utgjør en stor andel av Skanskas prosjektportefølje og har et stort maskinbehov. En analyse og mulighetsstudie av elektriske anleggsprosjekter med krevende infrastruktur og topografi for kraftnett kan være av stor interesse for entreprenørbransjen.

## Referanser

- Miljødirektoratet. (2020, oktober 13). *miljodirektoratet.no*. Hentet fra Tabeller for omregning fra energivare til utslipp: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/formyndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>
- Advokatfirmaet Hjort DA. (2020). *Vurdering av om gjeldende plan- og bygningslov gir hjemmel til å innføre krav om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser*. Oslo: Advokatfirmaet Hjort DA.
- Ahkâm. (2022, april 25). *freeiconspng.com*. Hentet fra Switches Icons Download PNG Transparent Background: <https://www.freeiconspng.com/img/27061>
- BDO. (2019). *BYGG- OG ANLEGGSANALYSEN 2019- FORTSATT STERK VEKST MED LAVE MARGINER OG ØKT USIKKERHET*. BDO.
- BKK. (2022, februar 14). *nett.bkk.no*. Hentet fra Nettleie for bedriftskunder: <https://nett.bkk.no/produktdetaljer?productId=9af3a3e7-9813-489f-9eb4-4fbc29dd768&divisionName=Nett&productTab=1>
- CircleK. (2022, mai 15). *circlek.no*. Hentet fra drivstoffpriser: <https://www.circlek.no/bedrift/drivstoff/drivstoffpriser>
- Cojocar, A., & Myrann, M. W. (2017). *Ringvirkninger i energimarkedet*. Oslo: Handelshøyskolen ved HiOA.
- Davidsson, S., Øvrebø Lie, A., & Rustad, M. J. (2018). *Veileder for tilrettelegging av fossilfrie og utslippsfrie løsninger på byggeplassen*. Oslo: DNV GL.
- DNV GL. (2017). *Fossil- og utslippsfrie byggeplasser*. Høvik, Norway: DNV GL AS Energy.
- EBA. (u.d.). *byggemiljo.no*. Hentet fra Reduksjon av: [https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/74\\_Reduksjon-brakkerigg.pdf](https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2014/10/74_Reduksjon-brakkerigg.pdf)
- Enova. (2022, april 5). *enova.no*. Hentet fra Pilotering av elektrisk infrastruktur til utslippsfri anleggsplass: <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/pilotering-av-elektrisk-infrastruktur-til-utslippsfri-anleggsplass/>
- Eriksen, R. (2021, Oktober 21). Hvordan beregner UCO effektbehov. (E. Roland, Intervjuer)
- ES ENERGY SAVE AB. (2022, februar 28). <https://energysave.se/>. Hentet fra HeatBox Hydro 80 kW module & EcoStation: <https://energysave.se/wp-content/uploads/2021/04/20201007-es-datasheet-plug-and-play-module-eng-201007-02-s.pdf>
- Eviny. (2021, november 15). *eviny.no*. Hentet fra Slik kan bygg- og anleggsbransjen kutte utslippene: <https://www.eviny.no/nyheter/bygg-og-anlegg>
- Eviny. (2022, februar 8). *mobil-energi.bkk.no*. Hentet fra mobilt batteri: <https://mobil-energi.bkk.no/mobilt-batteri>

- Eviny. (2022, mars 24). *mobil-energi.eviny.no*. Hentet fra Hva sier kundene våre?:  
<https://mobil-energi.eviny.no/referanser#cky1s02hs3e2s0b5233suvty>
- Fjellheim, K. (2021, juni 14). *blogg.sintef.no*. Hentet fra Lavere effektbehov med driftsoptimalisering av utslippsfrie byggeplasser:  
<https://blogg.sintef.no/uncategorized/lavere-effektbehov-med-driftsoptimalisering-av-utslippsfrie-byggeplasser/>
- flaticon.com*. (2022, april 25). Hentet fra wifi-signal\_88014: [https://www.flaticon.com/free-icon/wifi-signal\\_88014](https://www.flaticon.com/free-icon/wifi-signal_88014)
- Fortum. (2022, 5 9). *fortum.no*. Hentet fra Byggvarme: <https://www.fortum.no/bedrift-og-borettslag/fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/om-fjernvarme/byggvarme>
- FOSU. (2022, april 25). *fosu.no*. Hentet fra SANY SY135C: <https://fosu.no/2021/12/08/sany-sy135c/>
- Genetech. (2022, mai 14). *genetech.no*. Hentet fra Oklima dieseldrivere:  
<https://www.genetech.no/wp-content/uploads/2019/05/varme.pdf>
- Hambro, E. (2020, oktober 22). *miljodirektoratet.no*. Hentet fra Still krav om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/innlegg/still-krav-om-utslippsfrie-bygge-og-anleggsplasser/>
- Hansen, E. H. (2021). *Elektroinstallasjoner*. Trondheim: Classica forlag AS.
- Johnsen, N. (2017, november 3). *aasnetidende.no*. Hentet fra Byrådet vil bevilge 550 millioner til nytt sykehjem:  
<https://www.aasnetidende.no/nyheter/2017/11/03/byraadet-vil-bevilge-550-millioner-til-nytt-sykehjem/>
- Kjendseth Wiik, M., Haukaas, N.-O., Ibsen, J. I., Lekanger, R., Thomassen, R., Sellier, D., . . . Suul, J. (2020). *Nullutslippsgravemaskin- LÆRINGSUTBYTTE FRA ELEKTRIFISERING AV ANLEGGSMASKINER*. Oslo: SINTEF akademiske forlag.
- Kurt.energy. (2022, april 25). *kurt.energy*. Hentet fra Container:  
<https://kurt.energy/products/container/>
- Larsen, H. N. (2019). *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*. asplan viak.
- LOS. (2022, februar 14). *los.no*. Hentet fra Historiske strømpriser:  
<https://www.los.no/dagens-strompris/historiske-strompriser/>
- Lyse Konsern. (2022, april 25). *seekpng.com*. Hentet fra Lyse Konsern - Photography:  
<https://www.seekpng.com/ima/u2q8t4i1e6o0y3u2/>
- Miljødirektoratet. (2021, mai 6). *miljodirektoratet.no*. Hentet fra Biodrivstoff:  
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/fornybar-energi/biodrivstoff/>
- NASTA. (2022, februar 3). *nasta.no*. Hentet fra ZERON ZE350 UTSLIPPSFRI GRAVEMASKIN PÅ KABEL:  
<https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze350/>



- NASTA. (2022, februar 3). *nasta.no*. Hentet fra Zeron-ze85:  
<https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze85/>
- NASTA. (2022, februar 3). *nasta.no*. Hentet fra zeron-ze210:  
<https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze210/>
- Nielsen, P. (2019, januar 17). *satema.no*. Hentet fra slik beregner du effektbehovet på byggeplassen: <https://www.satema.no/fagblogg/provstrom/slik-beregner-du-effektbehovet-pa-byggeplassen/>
- Norsk klimaservicesenter. (2022, februar 18). *seklima.met.no*. Hentet fra Observasjoner og værstatistikk: <https://seklima.met.no/>
- NVE. (2021). *LANGSIKTIG KRAFTMARKEDSANALYSE 2021-2040*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- NVE. (2021, juli 2). *nve.no*. Hentet fra Hvor kommer strømmen fra?:  
<https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/>
- Oslo kommune. (2022, januar 31). *oslo.kommune.no*. Hentet fra 2.1 Byrådets satsinger for å kutte klimagassutslipp i Oslo: <https://www.oslo.kommune.no/politikk/budsjett-regnskap-og-rapportering/budsjett-2021/budsjettforslag-2021-og-okonomiplan-2021-2024/?del=2-1#gref>
- Oslo kommune. (2022). *Standard klima- og miljøkrav til Oslo kommunes bygge- og anleggsplasser*. Oslo: Oslo kommune.
- Preem. (2020, september 16). *preem.no*. Hentet fra HVO Diesel 100:  
[https://www.preem.no/globalassets/preem.no/produktblad/hvodiesel100\\_sjursoya16092020.pdf](https://www.preem.no/globalassets/preem.no/produktblad/hvodiesel100_sjursoya16092020.pdf)
- Prestegården, H. (2021, juni 8). *bergen.kommune.no*. Hentet fra Utslippene i Bergen ned fem prosent: <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/bymiljo/utslippene-i-bergen-ned-fem-prosent>
- Ravndal, H. (2021, november 15). *miljodirektoratet.no*. Hentet fra Pilot utslippsfri byggeplass i Bergen kommune: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2021/pilot-utslippsfri-byggeplass--bergen-kommune/#>
- Rosvold, K. A. (2018, juli 3). *snl.no*. Hentet fra elektrisk oppvarming:  
[https://snl.no/elektrisk\\_oppvarming](https://snl.no/elektrisk_oppvarming)
- Rosvold, K. A. (2019, august 28). *snl.no*. Hentet fra energitetthet: <https://snl.no/energitetthet>
- Sauer, D. (2009). *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*. Elsevier Science.
- Skanska Norge. (2021, november 30). *kommunikasjon.ntb.no*. Hentet fra Skanska har signert samspillskontrakt om Midtbygda sykehjem:  
<https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/skanska-har-signert-samspillskontrakt-om-midtbygda-sykehjem?publisherId=89647&releaseId=17921443>
- snipstock.com*. (2022, april 25). Hentet fra PNG images Crane (9).png (ID 23274):  
<https://snipstock.com/image/png-images-crane-9-png-23274>

- SSB. (2021, juni 8). *ssb*. Hentet fra utslipp-til-luft: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft>
- SSB. (2022, februar 15). *ssb.no*. Hentet fra Priser på drivstoff: <https://www.ssb.no/statbank/table/09654/chartViewLine/>
- Standard Norge. (2018). *Metode for klimagassberegninger for bygninger*. Standard Norge.
- Strand, S. S. (2020, oktober 12). *bygg.no*. Hentet fra Her kommer Bergen kommunes første utslippsfrie byggeplasser: <https://www.bygg.no/her-kommer-bergen-kommunes-forste-utslippsfrie-byggeplasser/1446312/>
- SunisticsGroup. (2022, april 25). *sunisticsgroup.com*. Hentet fra Why install Electric Vehicle Charging Stations at your business?: <https://www.sunisticsgroup.com/electric-vehicle-charging-stations>
- Sørensen, H. (2018). *Utslippsfrie anleggsmaskiner- Tiltakspakke 4*. Oslo: Oslo kommune.
- Thompson, S. (2020). *KLIMAGASSUTSLIPP VED ULIKE DRIVLINJER OG DRIVSTOFF*. Drivkraft Norge.
- Tisto. (2022, april 25). *tisto.eu*. Hentet fra ptc elektrisk varmeovn med en kapasitet på 2,0kW: <https://tisto.eu/ptc-elektrisk-varmeovn-med-en-kapasitet-paa-2-0-kw/>
- UCO. (2021, mars). *uco.no*. Hentet fra PRISLISTE MARS 2021: <https://uco.no/wp-content/uploads/2021/05/prisliste-mars-2021.pdf>
- VB. (2022, april 25). *vb.no*. Hentet fra NIBE F2120-12 luft/vann varmpumpe: <https://vb.no/produkter/alle-produkter/merker/nibe/nrf8416512-nibe-luftvann-varmpumpe/>
- Vevig. (2022, mars 16). *vevig.no*. Hentet fra Tjenestesatser: <https://vevig.no/maling-og-avregning/tjenestesatser/>
- Viken Energimontasje. (2022, mars 16). *vikenem.no*. Hentet fra BYGGESTRØM / PROVANLEGG: <https://vikenem.no/byggestrom-provanlegg/>
- Wikipedia. (2021, oktober 28). *no.wikipedia.org*. Hentet fra Liste over Norges største tettsteder: [https://no.wikipedia.org/wiki/Liste\\_over\\_Norges\\_st%C3%B8rste\\_tettsteder](https://no.wikipedia.org/wiki/Liste_over_Norges_st%C3%B8rste_tettsteder)

# Vedlegg

## Script for beregning av oppvarmingsbehov

```
%{
Dette programmet tar inn værdata fra excel-dokumentet "Weather-
data.xlsx"
og beregner energibehov for å oppnå ønsket innvendig temperatur på
byggeplass.
%}

clear all;
clc;

%Inputs:

Rehab_logic = 0; %1 if project is rehabilitation of existing concrete
structure

Facade_logic = 0; %1 if project is in need of heating facade

Envelope_area = 5300; %Area of building envelope

BuildingVolume = 39000; %Volume of building

Set_temp = 15; %Temperature desired inside building.

%Allocations and fixed values

U_value = 1.9; %U-value of building envelope (Dynamic value for a
building site). Approximated value.

Infiltration = 0.7; %Hourly air exchange in building (Dynamic value
for a building site)

Facade_power = 0.003; %Power needed for facade heating on average [kW/
m^3]. DNVGL-report.

c = 0.33; %Heat capacity air

Temperatures = xlsread('Weather_data','P:P'); %Vector with
temperatures for given period.

EnergyLossEnvelope = 0; %Allocation

EnergyLossAir = 0;%Allocation

MaxThermalW = 0; %Allocation

MaxInfiltrationW = 0; %Allocation

Heat_index = []; %Vector that contains 0 for hours not in need of
heating, 1 otherwise.
```

```

Power_vector_thermal = []; %Vector that contains power for thermal
loss for each timestamp

Power_vector_infil = []; %Vector that contains power for infiltration
for each timestamp

Hours = [];

Heating_factor = 1; %Can be reduced if project is rehabilitation

%change energy needs if rehab
if Rehab_logic == 1
    Heating_factor = 0.82; %value approximated by UCO
end

%Find what hours are in need of heating and store them in vector.
for i=1:length(Temperatures)
    Hours(i,1)=i;
    if Temperatures(i)>= Set_temp
        Heat_index(i)=0;
    else
        Heat_index(i)=1;
    end
end

%Use U-value to calculate thermal loss through Envelope
for k=1:length(Temperatures)
    if Heat_index(k)==1
        ThermalHeatLoss = Heating_factor*(U_value*(Set_temp-
Temperatures(k))*Envelope_area)/1000;
        EnergyLossEnvelope = EnergyLossEnvelope +
ThermalHeatLoss; %Energyloss in kWh since temperatures are hourly
        Power_vector_thermal(k,1) = ThermalHeatLoss;
        if ThermalHeatLoss > MaxThermalW
            MaxThermalW = ThermalHeatLoss;
        end
    end
end

%Use infiltrationvalue to calculate loss
for k=1:length(Temperatures)
    if Heat_index(k)==1
        InfiltrationHeatLoss =
Heating_factor*(c*Infiltration*(Set_temp-
Temperatures(k))*BuildingVolume)/1000;
        EnergyLossAir = EnergyLossAir +
InfiltrationHeatLoss; %Energyloss in kWh since temperatures are
hourly
        Power_vector_infil(k,1) = InfiltrationHeatLoss;
        if InfiltrationHeatLoss > MaxInfiltrationW
            MaxInfiltrationW = InfiltrationHeatLoss;
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

%Energy used facade heating
if Facade_logic == 1
    Facade_power_total = Facade_power*BuildingVolume;
    Facade_Energy = Facade_power*BuildingVolume*length(Temperatures);
else
    Facade_Energy = 0;
    Facade_power_total = 0;
end

TotalE_heating_inside = EnergyLossEnvelope + EnergyLossAir; %total
inside heating power

Power_vector = Power_vector_thermal+Power_vector_infil
+Facade_power_total; %total power demand

Power_heatpump = Power_vector;

%Heat pump
for j=1:length(Power_heatpump)
    if Temperatures(j) <= -15
        COP = 1.25;
        Power_heatpump (j) = Power_heatpump (j)/COP;
    end
    if Temperatures(j) <= -7 && Temperatures(j) > -15
        COP = 1.98;
        Power_heatpump (j) = Power_heatpump (j)/COP;
    end
    if Temperatures(j) <= 2 && Temperatures(j) > -7
        COP = 2.38;
        Power_heatpump (j) = Power_heatpump (j)/COP;
    end
    if Temperatures(j) <= 7 && Temperatures(j) > 2
        COP = 2.775;
        Power_heatpump (j) = Power_heatpump (j)/COP;
    end
    if Temperatures(j) <= 12 && Temperatures(j) > 7
        COP = 3.175;
        Power_heatpump (j) = Power_heatpump (j)/COP;
    end
    if Temperatures(j) > 12
        COP = 4;
        Power_heatpump (j) = Power_heatpump (j)/COP;
    end
end
end

```

```

%Writing to Excel

%Inside heating
xlswrite('Results.xlsx',TotalE_heating_inside,'Energy and
  Power','I4');

%Facade_energy
xlswrite('Results.xlsx',Facade_Energy,'Energy and Power','I5')

%Powers for all hours
xlswrite('Results.xlsx',Hours,'Energy and Power','A2');
xlswrite('Results.xlsx',Power_vector,'Energy and Power','B2');

%Volume and envelope
xlswrite('Results.xlsx',Envelope_area,'Energy and Power','F9');
xlswrite('Results.xlsx',BuildingVolume,'Energy and Power','F10');

%Heat pump results
xlswrite('Results.xlsx',Hours,'Heat pump','A2');
xlswrite('Results.xlsx',Power_heatpump,'Heat pump','B2');

Error using xlsread (line 136)
Unable to open file 'Weather_data'.
File 'Weather_data' not found.

Error in Oppvarmingsberegning (line 34)
Temperatures = xlsread('Weather_data','P:P'); %Vector with
  temperatures for given period.

```

*Published with MATLAB® R2020b*



