

Henrik Moen Lütke
Kari Sværen Klævold
Mathias Oliver Botn
Øyvind Andreas Edvardsen

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser

Emission free construction sites

Bacheloroppgave i Elkraft og bærekraftig energi

Veileder: Ola Furuhaug

Medveileder: Fredrik Vihovde Endresen

Mai 2022

Henrik Moen Lütke
Kari Sværen Klævold
Mathias Oliver Botn
Øyvind Andreas Edvardsen

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser

Emission free construction sites

Bacheloroppgave i Elkraft og bærekraftig energi
Veileder: Ola Furuhaug
Medveileder: Fredrik Vihovde Endresen
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elkraftteknikk



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

GRUPPEMEDLEMMER:

Henrik Moen Lütke

Kari Sværen Klævd

Mathias Oliver Botn

Øyvind Andreas Edvardsen

DATO:	OPPDRAGSGIVER:	GRUPPENUMMER:	ANTALL SIDER:
20.05.22	Norconsult	E2234	73

VEILEDERE:

Ola Furuhaug (NTNU)

Fredrik Vihovde Endresen (Norconsult)

TITTEL:

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser

Sammendrag

Bygge- og anleggsbransjen står for store nasjonale klimagassutslipp. Norge har forpliktet seg utover parisavtalen til å redusere utslippene med 50-55%, sammenlignet med nivåene i 1990. For å nå disse målene må utslippene kuttes, og fremtidens bygge- og anleggsplasser må bli utslippsfrie. Flere norske storbyer har skrevet under på en felles storbyerklæring, hvor de går sammen om at kommunenes bygge- og anleggsprosjekter skal være utslippsfrie innen 2025.

Norconsult er rådgivere i alle ledd av plan- og byggefasen, og har et ønske om å heve sitt kompetansenivå på dette området. Denne rapporten skal undersøke hvordan en kan gjennomføre et bygge- og anleggsprosjekt utslippsfritt, samt peke på hvilke utfordringer som oppstår og hvilke løsninger som finnes. Gjennom intervjuer av blant annet byggherrer, entreprenører, nettselskaper og maskinleverandører samles erfaringer og synspunkter fra de forskjellige partene.

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser skaper nye utfordringer. Markedet for utslippsfrie anleggsmaskiner er for øyeblikket lite, og består i stor grad av elektriske anleggsmaskiner som har et høyt effektbehov. Dette skaper utfordringer med å få levert nok effekt fra strømmettet. I tillegg er det knyttet store investeringskostnader til innkjøp av utslippsfrie anleggsmaskiner.

Gjennom undersøkelser og intervjuer ble det konkludert med at det er mulig å gjennomføre bygge- og anleggsplasser utslippsfritt. Elektriske anleggsmaskiner vil spille en stor rolle, og planlegging av strømtilførselen til maskinene bør gjøres så tidlig som mulig. For å gjennomføre et prosjekt utslippsfritt, kreves det tydelige krav i anbudsdokumenter fra byggeherre. Alle partene må involveres tidlig i planleggingsfasen, og samarbeid mellom dem er en forutsetning for å gjennomføre et slikt prosjekt.

Abstract

The construction industry is responsible for a substantial amount of greenhouse gas emissions. Norway has made an obligation exceeding the Paris Agreement to reduce the emissions by 50-55 % compared to the levels in 1990. To reach these goals, the emissions must be reduced, and the construction sites of the future must be completely emission free. A great deal of Norwegian cities have united and signed a declaration, stating that the construction sites in the municipalities will be emission free within 2025. The declaration is called "Storbyerklæringen".

Norconsult is an advisor in every aspect of the plan- and construction phase and have ambitions to increase their level of knowledge in the field. This report will examine how a construction site can be carried out completely emission free, while pinpointing the challenges that might occur, as well as the solutions that will be unveiled. By conducting interviews of contractors, power companies, mobile battery suppliers and machine producers the group has gathered experiences and perspectives from the trade.

Zero emission construction sites creates new challenges. The market for zero emission heavy machines is limited at the moment, and consist largely of electrical machines with high power requirements. This creates challenges for the electrical grid to deliver enough power to the construction sites. In addition to this, there is a considerable cost of investment attached to acquiring new zero emission machines.

It was concluded through thorough studies and interviews that it is possible for a construction site to be emission free. Electrical machines will play an important part, and the planning of the power supply for the machines must be conducted at an early stage in the engineering process. For a project to be carried out emission free, there has to be distinct demands in the tender document carried out by the construction client. All parts must be involved early in the planning phase, and the cooperation between them is a prerequisite for a project like this to be carried out.

Forord

Denne rapporten markerer slutten på det 3-årige bachelorprogrammet Elektroingeniør, studieretning Elkraft og bærekraftig energi, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Rapporten er bygd opp slik at de aller fleste kan få en forståelse av hva en utslippsfri bygge- og anleggsplass er, men for å få full uttelling av innholdet bør leseren ha kjennskap til noe matematikk og elektroteknikk.

Rapporten er skrevet våren 2022, og har dermed vært noe påvirket av Covid-19 pandemien. Den første måneden ble arbeidet med rapporten gjennomført på hjemmekontor. Gjennomføringer av intervjuer og møter med veiledere og eksterne aktører har i stor grad blitt gjennomført gjennom digitale plattformer som Microsoft Teams, med unntak av noen fysiske møter. I tillegg til dette ble det foretatt en befaring på en utslippsfri anleggsplass ved marinen i Trondheim sentrum, i regi av Trondheim kommune. Befaringen var nyttig for gruppen, slik at en fikk en forståelse hvordan en utslippsfri bygge- og anleggsplass ser ut i praksis.

Opgaven ble valgt med bakgrunn i bachelorgruppens interesser i fornybar energi, energilagring, elektroinstallasjoner og økonomi. Gruppen hadde et ønske om å se på en samfunnsaktuell problemstilling, som kunne løses ved hjelp av opparbeidet kunnskap gjennom studiet. Valget på oppgave falt derfor på utslippsfrie bygge- og anleggsplasser, utgitt av sivilingeniør Fredrik Vihovde Endresen fra Norconsult.

Gruppen ønsker å takke Fredrik Vihovde Endresen for sitt store engasjement og kunnskap rundt temaet, og Norconsult for deling av kompetanseressurser brukt i oppgaven. Videre rettes en takk til veileder Ola Furuhaug fra NTNU, for god konstruktiv tilbakemelding som hadde vært vanskelig for gruppen å se alene. En spesiell takk gis også til førsteamanuensis Eilif Hugo Hansen fra NTNU, for god veiledning til problemstillinger i elektroinstallasjoner. Til slutt gis en stor takk til alle intervjuobjekter, som har tatt seg tid til å dele sine erfaringer med oss.

God lesing.

Bachelorgruppen

Trondheim, 20.mai 2022

Begrepsliste

Batteribank: Flere batterier koblet sammen for å lagre store mengder energi.

CCS: Combined Charging System (1).

CO₂: Karbondioksid.

CO₂-avgift: Avgift på utslipp av klimagasser (2).

CO₂-ekvivalent (CO₂e): Vekt av klimagass multiplisert med GWP-verdi (3).

dBA: Lydskala tilpasset mennesker med "normal" hørsel (4).

El-graver: Elektrisk gravemaskin.

EVSE: Electric Vehicle Supply Equipment (5).

FCEV: Fuel Cell Electric Vehicles.

Fossilfri byggeplass: Benytter energikilder som ikke slipper ut CO₂e på byggeplassen. Inkluderer bruk av sertifisert biobasert brensel (6).

GWP: Global Warming Potetnial. For et tonn spesifisert klimagass er GWP-verdien den akkumulerte påvirkningen på drivhuseffekten sammenlignet med et tonn utslipp av CO₂ over et spesifisert tidsrom (3).

Helelektrisk maskin: Batterielektrisk maskin eller maskin som er koblet direkte til strømmettet med kabel (7).

HMS: Helse, miljø og sikkerhet.

HVO: Hydrotreated vegetable oil (8).

Ikke-veigående maskiner: Anleggsmaskiner, traktorer, gaffeltrucker, skogsmaskiner, aggregater, samt noen mindre motorredskaper. (7).

Klimakur: Rapport skrevet av Miljødirektoratet, Statens vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat og Enova. Rapporten har utredet tiltak som kan gi minst 50 % reduksjon i ikke-kvotepliktige utslipp i 2030, sammenlignet med 2005 (9).

Klimakvote: Tillatelse til å slippe ut en viss mengde CO₂ (10).

Krygoen lagring: Flytende lagring av gass ved lav temperatur.

Lastbalansering: Effektuttaket justeres fortløpende etter tilgjengelig strøm i området (11).

LIB: Lithium-ion batteri.

NO_x: Nitrogendioksider, samlebetegnelse på NO, NO₂ og N₂O₃ (6).

NTNU: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Områdekonsesjon: En løyve som gir tillatelse til å drifte et kraftnett i et avgrenset område, med spenning opp til 22kV (12).

Peak Shaving: Barbering av effekttopper for å unngå overbelastning av strømmettet (13).

PEMFC: Proton Exchange Membrane Fuel Cell.

PM_x: Particulate Matter, svevestøv der x oppgis som størrelsen i mikrometer.

Skilletransformator: En transformator brukt til å skape et galvanisk skille mellom en last og et strømmett (14).

SO_x: Svoveloksider.

SOC: State Of Charge.

Utslippsfri byggeplass: Benytter energikilder som ikke slipper ut CO₂e eller NO_x på byggeplassen (6).

Innhold

	Side
Innhold	vii
Figurliste	ix
Tabelliste	xi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Avgrensninger	2
2 Metode og ressurser	4
2.1 Metode	4
2.2 Ressurser	4
3 Klimagassutslipp	6
4 Anleggsmaskiner	9
4.1 Typer anleggsmaskiner	9
4.2 Valg av teknologi og drivstoff	10
4.2.1 Biodrivstoff	12
4.2.2 Hydrogen	12
4.2.3 Litiumbatterier	14
4.3 Elektriske gravemaskiner	15
4.3.1 Kabelelektriske maskiner	16
4.3.2 Batterielektriske maskiner	18
4.3.3 Kabel- og batterielektriske maskiner	18
4.4 Barrierer for bruk av utslippsfrie anleggsmaskiner	18
4.5 Investering- og driftskostnader	19
4.6 Helse, miljø og sikkerhet	20
4.7 Fordeler og ulemper med elektriske anleggsmaskiner	21
5 Kraftnett og kraftmarked	23
5.1 Om kraftnettet	23
5.1.1 Transmisjons- og distribusjonsnett	23
5.1.2 Kapasitet og flaskehals	24
5.2 Tilknytning til kraftnettet	25
5.2.1 Leveringsplikt og kvalitet	25
5.2.2 Anleggsbidrag	25
5.2.3 Byggestrøm	26
5.2.4 Oppgradering av nettet	26
5.3 Kraftmarked og strømpris	27
5.3.1 Strømpris	27
5.3.2 Nettleie	29

6	Ladesystemer	31
6.1	Ladere og ladeteknologi	31
6.1.1	Batteribanker	31
6.2	Ladeaktører	33
6.2.1	Eviny	33
6.2.2	Ohmia Construction	35
6.3	Peak shaving	36
6.4	Pris	39
6.5	Erfaringer med hurtiglading, normallading og batteribanker	40
6.6	Lastbalansering og lademodus	41
6.7	Brannfare i batteribanker	42
7	Organisatoriske forhold	44
7.1	Rådgiverens rolle	44
7.2	Miljøpakken	46
7.3	Økonomiske forhold	46
7.3.1	Utgifter drivstoff og strøm	47
7.3.2	Priseksempel	47
7.3.3	Prisdifferanser mellom strøm og anleggsdiesel	48
7.4	Sirkulær økonomi	49
7.5	BREEAM	50
7.6	Andre forhold	51
7.6.1	Opplæring	51
7.6.2	Samarbeid og kommunikasjon	51
7.6.3	Muligheter fra myndighetene	51
8	Regneeksempel	52
8.1	Forutsetninger	52
8.2	Prosjektbeskrivelse	52
8.3	Effektberegninger	53
8.3.1	Effektbehov i bygget	53
8.3.2	Effektbehov i bygge- og anleggsfasen	53
8.3.3	Kapasitet i transformator	56
8.3.4	Spenningskvalitet	58
8.4	Dimensjonering av anlegget	59
8.5	Mulige feilkilder	60
9	Diskusjon	61
10	Konklusjon	63
10.1	Videre arbeid	64
11	Referanser	65
		65

Vedlegg

Figurliste

1	Klimagassutslipp fra traktorer, anleggsmaskiner og andre motorredskaper: diesel, 1990-2019, tusen tonn CO ₂ e (15).	6
2	Utslipp fra ikke-veigående maskiner fordelt på næringer i 2017 (9).	7
3	Utslipp fra ikke-veigående maskiner fordelt på maskintyper i 2017 (9).	7
4	Elektrisk gravemaskin levert av Nasta AS (16).	9
5	Elektrisk hjullaster (17).	10
6	Hvilken teknologi passer best? (Andersen, F & Brække, S, Product Managers Volvo Maskin, 27.04.22, Epost)	11
7	Grønt Hydrogen,(18)	13
8	Lagring av kryogen hydrogen (19).	14
9	Litiumbatterier i en 26 tonn gravemaskin fra Veidekke (20).	15
10	Prinsippskisse av en kablet elektrisk gravemaskin (21)	16
11	Prinsippskisse av kabelcontainer (21)	17
12	Oversikt over svar på spørsmålet: "Hva opplever du er den viktigste årsaken til at utslippsfrie/fossilfrie anleggsmaskiner ikke tas i bruk?" (22).	19
13	Antall personer i bygge- og anleggsvirksomhet som i 2017 ble utsatt for støynivåer over 50 dBA (22).	21
14	Kraftnettets oppbygning (23).	24
15	Prisområder i Norge (24).	27
16	Historiske strømpriser i Norge (25).	28
17	Fyllingen Maskin - Lading av elektrisk gravemaskin med mobilt batteri og hutrigladecontainer fra Eviny (26).	33
18	Forskjellen på AC og DC lading (1).	35
19	BoostCharger fra Ohmia Construction (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).	36
20	Hummingbird fra Ohmia Construction (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).	36
21	Eksempel nøkkeltall fra anleggsprosjekt i november (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).	37
22	Peak shaving med BoostCharger reduserer nettuttaket ved lading betydelig på prosjektet på Petersrønningen (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).	38
23	Peak shaving fra BoostCharger reduserer nettuttaket ved lading betydelig (27).	38
24	Peak-shaving fra BoostCharger reduserer nettuttaket ved lading betydelig. Gul: effektinntak [kW]. Rød: AC-uttak [kW]. Grønn: SOC under hurtiglading på maskinen [%]. Blå: Effektuttak under hurtiglading [kW]. (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 29.04.22, Epost)	39
25	Ulike lademodus (1).	41
26	CCS (28).	42

27	Prosessbeskrivelse byggestrøm, hentet fra erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser (29).	44
28	Breeam sine 9 punkter for klassifisering (30).	50
29	Transformatordata (Bård Svendsen, Ingeniør Linea AS, 25.03.22, epost).	57
30	Belastningsgrad transformator (Bård Svendsen, Ingeniør Linea AS, 25.03.22, Epost).	57
31	Struktur av systemet.	59

Tabelliste

1	Vektklasser for gravemaskiner i tonn.	9
2	Vektklasser for hjullastere i tonn (31).	10
3	Batterikapasitet (32).	18
4	Forventet driftstid med kun batteri (33).	32
5	Priser (inkl. mva) og energitetthet. *Pris fra 03.05.22. **Gjennomsnitt hele landet 4. kvartal 2021.	47
6	Utgifter drivstoff.	48
7	Effektbehov til utstyr i bygge- og anleggsfasen.	55
8	Resultater fra dimensjonering.	60

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Bygge- og anleggsbransjen står for betydelige nasjonale klimagassutslipp. I takt med det grønne skiftet må disse utslippene reduseres, dersom en skal nå FNs bærekraftsmål nr.13, å stoppe klimaendringene (34). Norge har i tillegg forpliktet seg i Parisavtalen til å redusere utslippene sine med minst 50%, og opp mot 55% i 2030, sammenlignet med 1990 (15). På sikt må bygge- og anleggsplasser bli helt utslippsfrie. De norske storbyene Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Tromsø, Kristiansand og Drammen har nå skrevet under på en felles storbyerklæring. I erklæringen står det at kommunenes bygge- og anleggsprosjekter i disse byene skal være utslippsfrie innen 2025, og at all bygge- og anleggsvirksomhet skal være utslippsfri innen 2030 (35).

En stor andel av utslippene på en bygge- og anleggsplass er knyttet til anleggsmaskiner som forbrenner fossilt drivstoff. En viktig forutsetning for at bygge- og anleggsprosjekter skal kunne gjennomføres utslippsfritt, blir derfor at dagens anleggsmaskiner erstattes av utslippsfrie maskiner. Dagens tilbud av utslippsfrie maskiner er begrenset til et lite utvalg elektriske maskiner, som enten forsynes direkte av en kabel, et batteri eller en kombinasjon av disse.

Elektriske anleggsmaskiner har et betydelig effektbehov under drift og lading, og det kan bli utfordrende å få levert nok effekt på bygge- eller anleggsplassen. Det er vanskelig å se for seg at dagens løsninger for byggestrøm vil kunne levere nok effekt. De elektriske maskinene som finnes på markedet i dag har også en betydelig høyere innkjøpskostnad enn vanlige maskiner, noe som gjør investeringsbeslutningen større for entreprenører.

Norconsult AS er rådgivere i alle ledd av plan- og byggefasen, men har foreløpig sett lite krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser i anbudsdokumenter. De har et ønske om å øke kompetansen innenfor området, slik at de kan bidra med råd og legge til rette for at bygge- og anleggsprosjekter kan gjennomføres utslippsfritt. I samarbeid NTNU har de derfor gitt ut en bacheloroppgave som skal se nærmere på temaet.

1.2 Problemstilling

Prosjektet skal belyse hvilke utfordringer som oppstår når en skal gjennomføre et utslippsfritt bygge- og anleggsprosjekt, og utforske mulige løsninger på disse utfordringene. I denne oppgaven vil det fokuseres på de elkrafttekniske utfordringene og løsningene. Spesielt vil det fokuseres på utslippsfrie anleggsmaskiner og strømforsyning til disse. Det vil også bli sett på mer organisatoriske utfordringer, som hvordan en planlegger et utslippsfritt anleggsprosjekt og hvordan det kan legges til rette for dette i anbudskonkurranser.

Hvilke tekniske og organisatoriske utfordringer forekommer ved utslippsfrie anleggsplasser, og hvordan kan et slikt prosjekt gjennomføres?

1.3 Avgrensninger

Prosjektet vil fokusere på direkte utslipp, det vil si utslipp inne på selve anleggsplassen. De dominerende utslippskildene inne på en anleggsplass er utslipp fra anleggsmaskiner og utstyr, byggvarme og byggtørk, samt transport av materialer og personell. Direkte utslipp vil være særlig dominerende i prosjekter hvor det er mye transport, for eksempel i forbindelse med massehåndtering. Det er hovedsakelig direkte utslipp som angår vår oppdragsgiver og som de kan bidra til å redusere (36).

Det vil ikke bli sett på utslippene som kommer fra oppvarming og uttørkning av bygninger, da disse kun tilsvare om lag 5 % av det totale utslippet til bygge- og anleggsnæringen. De resterende 95 % er utslipp fra transport og drift av maskiner (29).

Det vil ikke bli sett på indirekte utslipp, selv om disse i enkelte prosjekter kan være større enn de direkte utslippene. Indirekte utslipp inkluderer blant annet utslipp i forbindelse med produksjon av materialer. De vil således være dominerende i materialintensive prosjekter, hvor det for eksempel benyttes mye stål og betong. For at bygg- og anleggsbransjen skal bli helt utslippsfri, sett fra et livsløpsperspektiv, må også indirekte utslipp kuttes.

Begrepene *utslippsfri* og *fossilfri* kan lett forveksles, men det er et viktig skille mellom disse. En *utslippsfri* bygge- og anleggsplass har ikke utslipp av CO₂e eller NO_x. En *fossilfri* anleggsplass har ikke utslipp av CO₂e, og åpner således for bruk av biobasert brensel i tillegg til de utslippsfrie alternativene (6). Prosjektet vil, som tittelen tilsier,

fokusere på de utslippsfrie alternativene. Det er likevel skrevet noen avsnitt om biobasert brensel, da det anses som relevant for oppgaven.

Rapporten vil ikke gi noen fasit på hva som vil være de beste løsningene, men heller fungere som en rettleiding på hvordan utfordringene kan løses.

2 Metode og ressurser

2.1 Metode

Målet med rapporten er å innhente relevant informasjon om gjennomføringen av en utslippsfri bygge- og anleggsplass. Metoden som er brukt for å innhente denne informasjonen er todelt.

For å samle informasjon om dagens løsninger og utfordringer har det blitt gjennomført intervjuer gjennom hele prosjektfasen. Hovedtemaene i intervjuene var anleggsmaskiner, nettkapasitet (både i sentrumsnære og grisgrendte strøk), ladelogistikk, økonomi, tilgjengelig teknologi, nødvendige samarbeidsparter, rekkefølge av planlegging og gjennomføring.

For å skaffe et høyt kompetansenivå innen utfordringer og løsninger på utslippsfrie anleggsplasser, har det blitt innhentet informasjon gjennom relevante rapporter og artikler. Nettsider til maskin- og ladeleverandører har også vært svært nyttig.

2.2 Ressurser

Prosjektet har benyttet seg av mange ressurser som har bidratt til arbeidet. Gjennom intervjuer med aktører i bransjen er det samlet mye kompetanse og erfaringer. Under listes de virksomheter som er intervjuet.

Bane NOR | Statlig foretak med ansvar for den nasjonale jernbanestrukturen.

Betonmast AS | En av Norges største byggentreprenør.

BKK AS | Nettselskap på Vestlandet.

Elvia AS | Nettselskap i Oslo, Viken og Innlandet.

Eviny AS | Energiselskap som også leier ut batteribanker og ladere.

Linea AS | Nettselskap i Nordland.

Nasta AS | Norsk maskinleverandør.

Norconsult AS | Tverrfaglig rådgiverbedrift.

Ohmia Construction | Datterselskap av TrønderEnergi som blant annet leverer ladecontainere.

Rana kommune | Kommunal byggherre.

SINTEF | Uavhengig forskningsinstitutt.

Statens vegvesen | Statlig forvaltningsorgan og byggherre.

Søbstad AS | Byggherre i Trøndelag.

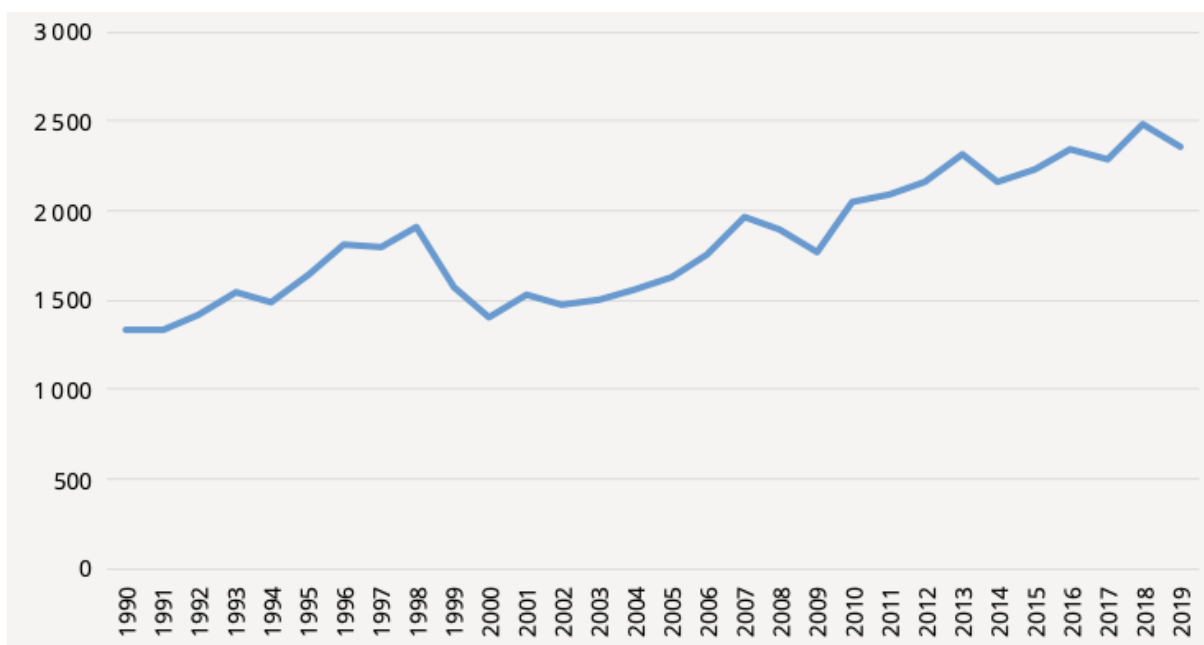
Trondheim kommune | Kommunal byggherre. Har som mål å ha utslippsfrie bygge- og anleggsprosjekter innen 2023 (37).

Volvo Maskin AS | Internasjonal produsent av anleggsmaskiner.

3 Klimagassutslipp

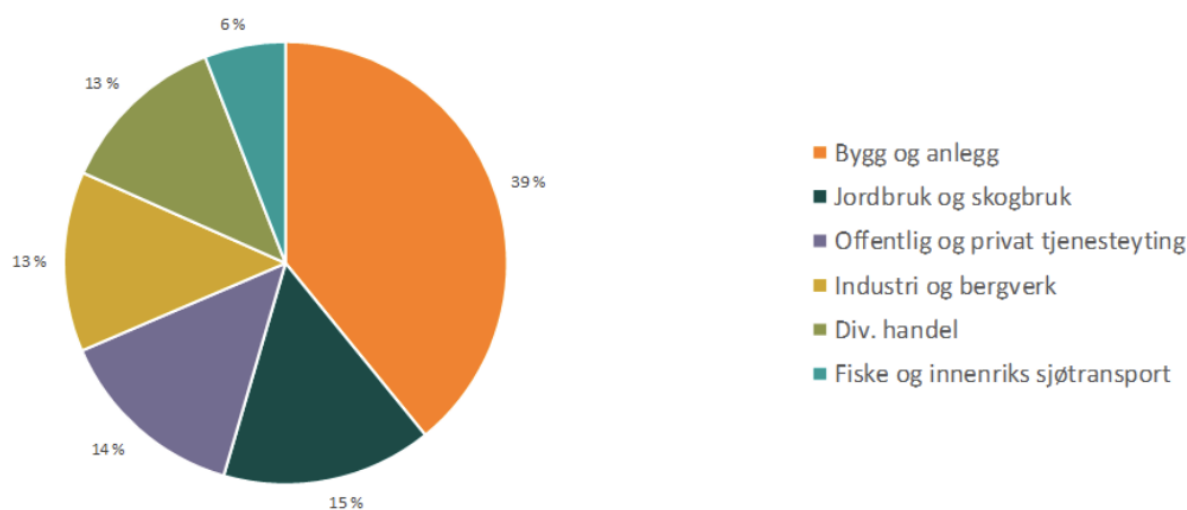
Hvert år kommer 1% av Norges klimagassutslipp fra bygg- og anleggsnæringen (38). De direkte utslippene av bygg- og anleggsvirksomhet i Norge estimert til ca. 600 000 - 700 000 tonn CO₂e. hvert år. Dette tilsvarer om lag 4-5 % av hele utslippet til transportsektoren, som slipper ut 15 millioner tonn CO₂e. per år (15). I 2020 ble det sluppet ut totalt 49,3 millioner CO₂e. i hele Norge (39).

Figur 1 viser klimagassutslipp fra bruk av anleggsdiesel, som tilsvarer diesel uten veibruksavgift. Dette er også omtalt som utslipp fra *ikke-veigående maskiner og kjøretøy*, og inkluderer utslipp fra blant annet jordbruksmaskiner, maskiner på industriområder i tillegg til utslipp fra bygge og anleggsnæringen (15). Derimot inkluderes ikke tog og skinnegående maskiner i jernbanesektoren, snøscootere eller fritidsbåter i denne grafen (9). Figuren viser at andelen klimagassutslipp har økt betraktelig siden 1990. Det er viktig å snu denne trenden, slik at Norge kan nå målene i Parisavtalen.



Figur 1: Klimagassutslipp fra traktorer, anleggsmaskiner og andre motorredskaper: diesel, 1990-2019, tusen tonn CO₂e (15).

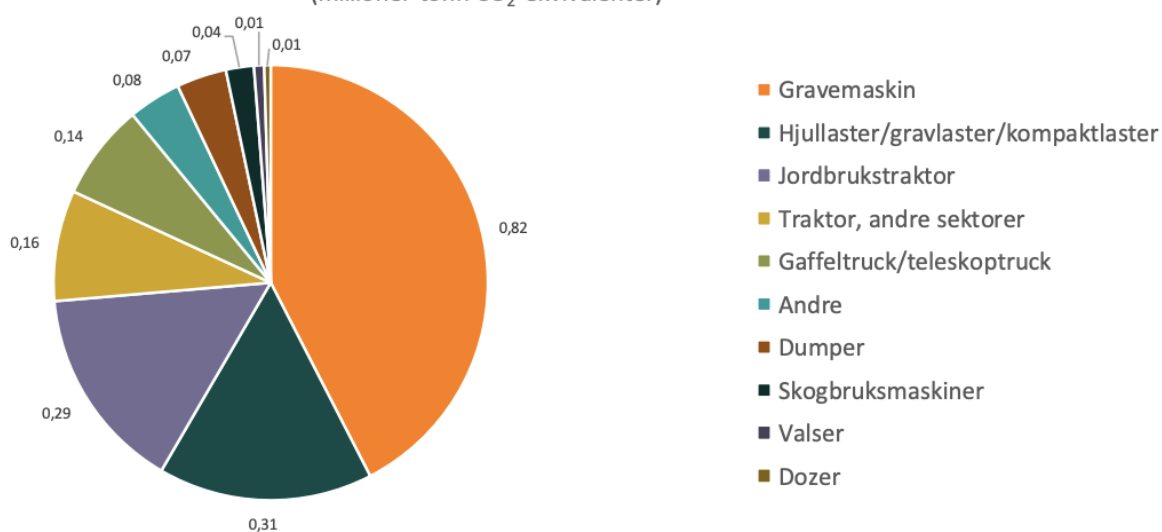
Utslipp fra ikke-veigående maskiner fordelt på næringer i 2017
(prosent)



Figur 2: Utslipp fra ikke-veigående maskiner fordelt på næringer i 2017 (9).

Figur 2 viser at bygge- og anleggsnæringen står for en stor del av utslippet fra ikke-veigående maskiner. Klimakur, som da inkluderer Miljødirektoratet, Statens vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat og Enova, har som mål at innen 2030 skal 70 % av alle ikke-veigående maskiner være utslippsfrie (9) (7).

Utslipp fra ikke-veigående maskiner fordelt på maskintyper i 2017
(millioner tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 3: Utslipp fra ikke-veigående maskiner fordelt på maskintyper i 2017 (9).

Figur 3 viser at gravemaskiner står for den største andelen av utslippet, og det vil derfor være naturlig å fokusere på å elektrifisere denne maskintypen først. Deretter kommer hjullaster, gravlaster og kompaktlaster, som også blir brukt i anleggssektoren. I tillegg vil det være viktig å implementere elektriske gravemaskiner i de andre næringene for å redusere det totale utslippet fra ikke-veigående maskiner.

4 Anleggsmaskiner

Dette kapittelet vil ta for seg anleggsmaskiner, ulike typer teknologier og drivstoff. Det vil hovedsakelig bli sett på elektriske gravemaskiner og hjullastere.

4.1 Typer anleggsmaskiner

En anleggsmaskin er en maskin som utfører et arbeid på en bygge- og anleggsplass, for å effektivisere driften (40). Det finnes forskjellige maskiner alt etter hvilken jobb som skal utføres, og noen av disse er gravemaskiner, hjullastere, jordbrukstraktorer, traktorer og dumpere. En anleggsmaskinen er definert som en ikke-veigående maskin (3). Per dags dato er det hovedsakelig gravemaskiner og hjullastere som kommer i elektriske versjoner, og disse vil derfor vektlegges mest i denne oppgaven.

Gravemaskiner og hjullastere kan deles inn i forskjellige vektklasser, som avgjør hvor disse brukes. Vektklasser er definert for gravemaskiner i tabell 1, og for hjullastere i tabell 2.

Minigraver	Liten gravemaskin	Mellomstor gravemaskin	Stor gravemaskin
0-9	10-20	21-37	38-95

Tabell 1: Vektklasser for gravemaskiner i tonn.



Figur 4: Elektrisk gravemaskin levert av Nasta AS (16).

Kompaktlaster	Liten hjullaster	Mellomstor hjullaster	Stor hjullaster
0-5	6-16	17-38	39-240

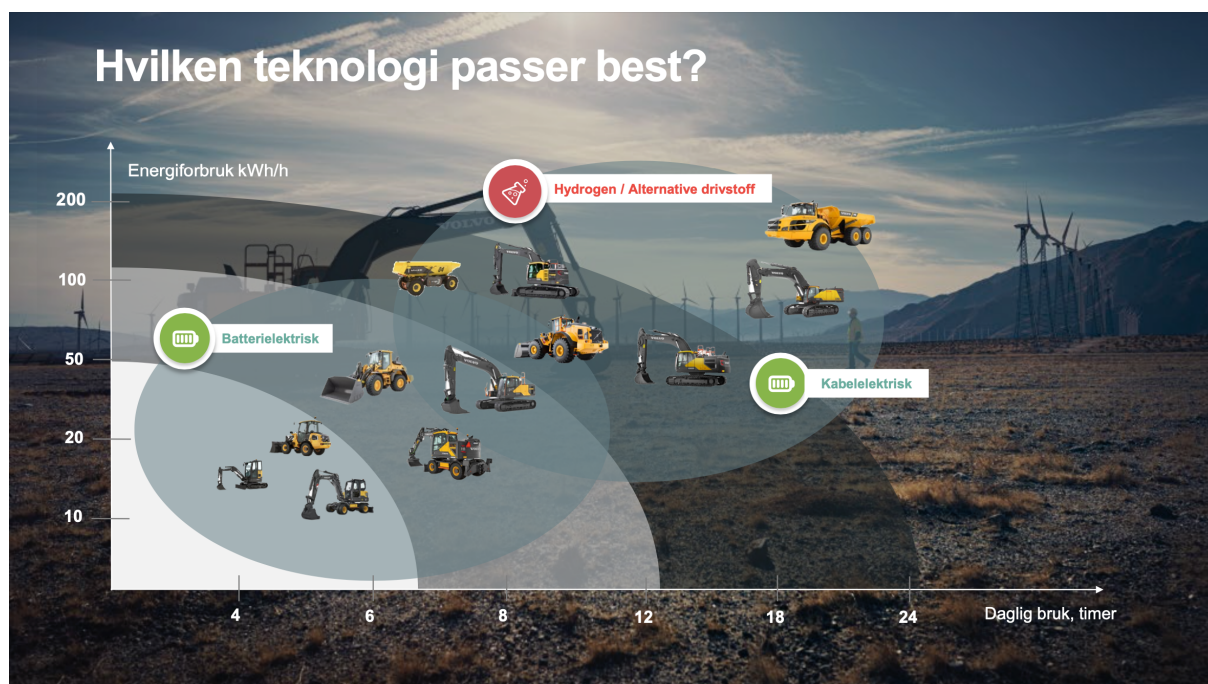
Tabell 2: Vektclasser for hjullastere i tonn (31).



Figur 5: Elektrisk hjullaster (17).

4.2 Valg av teknologi og drivstoff

For at anleggsmaskiner skal kunne driftes utslippsfritt så må dieselmotoren erstattes med et grønt alternativ. En har flere valgmuligheter, og de forskjellige alternativene har ulike fordeler og ulemper. Volvo maskin AS viser i figur 6 hvilken teknologi som vil passe til hvilke maskiner. Batteri vil fungere best i små maskiner med lavt energiforbruk og lav brukstid. Større maskiner med høyere energiforbruk og lengre brukstid vil fungere bedre som kabelelektisk. De største maskinene vil fungere best på hydrogen. Per dags dato er det lite utvalg av anleggsmaskiner som går på hydrogen, men utviklingen er godt i gang. Volvo Maskin antar at en hydrogendrevet gravemaskin på 30 tonn vil være i drift sent høsten 2022 i et pilotprosjekt (41).



Figur 6: Hvilken teknologi passer best? (Andersen, F & Brække, S, Product Managers Volvo Maskin, 27.04.22, Epost)

Elektriske anleggsmaskiner ser ut til å bli den foretrukne løsningen blant entreprenørene, fordi denne teknologien mest moden. Andre løsninger er i et tidligere stadie og dermed ikke klar til å implementeres i like stor grad. Leverandører som Nasta, Volvo Maskin og Pon-Cat leverer elektriske anleggsmaskiner i Norge.

Etter samtaler med Bane Nor, som omhandlet utbygging av jernbane med tilhørende veier og tuneller, kom det frem at det også var tro på hydrogendrevne maskiner (Dahl, Frode, Fagansvarlig Elektro veg og bane, Bane Nor, Intervju, 2022). De har sett på utfordringer med bygging av tuneller og det ble sagt at det mest sannsynlig ville egne seg bedre med en slik løsning, da det ble lettere og mye mindre tidkrevende å fylle på hydrogen enn å vente på at maskinen lades. Det er også flere HMS-utfordringer med både litiumbatterier og hydrogen. Skulle et litium batteri begynne å brenne, ville man hatt store utfordringer med å slukke dette inne i en tunell, da litium produserer eget oksygen som følge av de kjemiske reaksjonene i batteriet (42).

4.2.1 Biodrivstoff

Biodrivstoff er et type flytende brensel som blir fremstilt av biologisk materiale (43). I denne sammenheng så er det typen biodrivstoff som kan erstatte vanlig diesel, det vil si HVO biodiesel. Denne typen biodrivstoff har tekniske egenskaper som diesel. Fordelen med biodiesel er at det er lett å fylle på tanken og det tar kort tid, på samme måte som når man fyller vanlig diesel. Ulempen er at det er mye dyrere, ofte opp mot dobbelt så dyrt, som vanlig diesel (43). Det er også viktig å merke seg at biodiesel ikke regnes som utslippsfritt alternativ, men fossilfritt. Biodrivstoff slipper ut CO₂ under forbrenning, men det tas opp like mye CO₂ ved fotosyntese som under forbrenning (3).

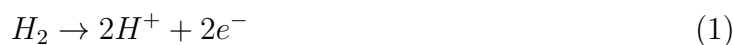
4.2.2 Hydrogen

Hydrogen kan også være et alternativt drivstoff, spesielt på steder der hvor det ikke er nok tilgang på strøm. Hydrogen kan brukes til å drive en forbrenningsmotor eller som drivstoff i en brenselcelle som kan drifte en elektrisk motor. De siste årenene har det vært mye forskning på brenselceller. Hydrogen begynner å bli en moden teknologi, og har blitt testet lenge fra bilprodusenter som f.eks. Toyota (44). Forbrenning av hydrogen avgir ingen klimagasser, men kun vann og litt energi i form av varme (45). I en brenselcelle vil hydrogen reagere med oksygenet, men på grunn av en membran som ligger i mellom, slipper kun protonet gjennom. Dette fører til at elektronet vil gå gjennom en ekstern krets. Elektroner i bevegelse gjennom en ledning er strøm. Denne strømmen blir brukt til å drive en elektrisk motor. På denne måten blir brenselceller brukt i elektriske motorer og kjøretøy.

I dag er PEMFC den mest vanlige typen brenselcelle i FCEV, og det vil være naturlig å anta at dette blir den mest vanlige typen i anleggsmaskiner også (46). I ligning 1, 2 og 3 kan en se reaksjonene som skjer når hydrogen forbrennes i en PEMFC. Volvo Maskin antar at hydrogen vil være det beste alternativet for de største anleggsmaskinene med høyest energiforbruk, fordi det har høy energitetthet, det vil si høy energi per enhet masse (Andersen, F og Brække Stian, Product Managers Volvo Maskin, 27.04.22, Intervju).

Reaksjonsligninger PEMFC(46):

Anodereaksjon:



Katodereaksjon:



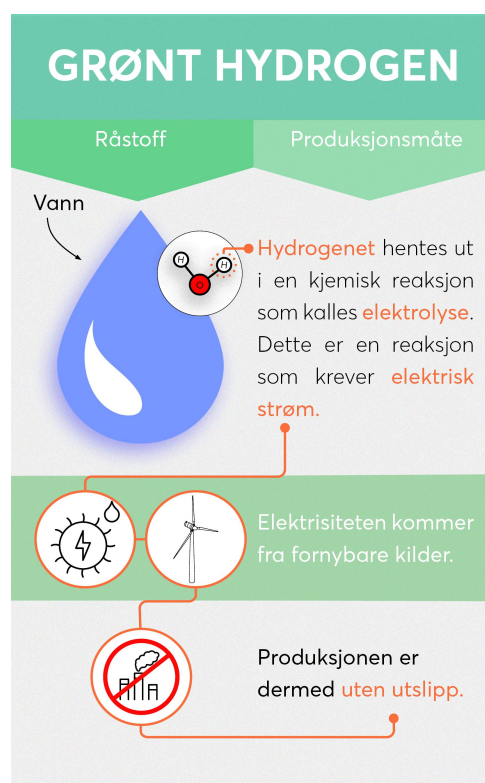
Nettoreaksjon:



På samme måte

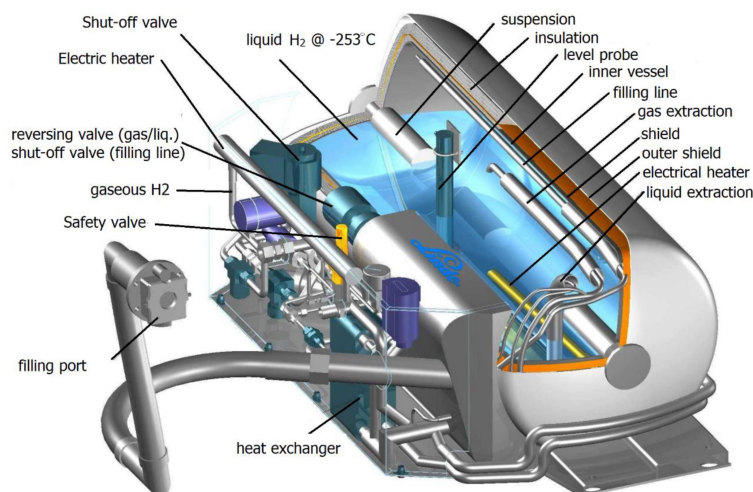
som for strøm, så kreves det energi for å produsere hydrogen, det hentes ikke direkte fra naturen som for eksempel olje og gass. En kan produsere hydrogen gjennom spalting av vann i en prosess som kalles elektrolyse (45). Denne prosessen krever energi i form av strøm, og hvis denne energien er fornybar så regnes prosessen som utslippsfri (45). En annen måte å fremstille hydrogen på er å reformere naturgass. I denne prosessen henter en ut hydrogen fra metangass ved hjelp av varme og vanndamp (44). Et problem med denne metoden er at den også produserer CO₂, og det er derfor viktig at man samler opp og lagrer denne for at det skal bli en klimavennlig løsning (44).

Å fremstille grønt hydrogen er en kostbar prosess. Det oppstår energitap både i produksjon, transport og bruk (45). Hydrogen kan bli viktig på bygge- og anleggsplasser i fremtiden. Fordelen med hydrogen er at den er lett å fylle på. Hydrogen har også en vesentlig høyere energitetthet enn litiumbatterier, noe som gjør at vekten på hydrogendrevne maskiner blir lavere (47). Frakt av hydrogen til anleggsplassen kan bli en utfordring, da det er veldig kostbart å transportere. Det er også vanskelig å flytte store mengder, da mesteparten av vekten i de store tankbilene er gasstanken i seg selv (Figur 8). Den største tanken som blir brukt til frakt i dag veier i seg selv 35 tonn, og i en slik tank vil det være plass til 50 m³ flytende hydrogen, det vil si 3500 kg (48). Kryogen lagring av hydrogen må holde en temperatur på mindre enn -253°, noe som er



Figur 7: Grønt Hydrogen,(18)

vanskelig å oppnå (45).



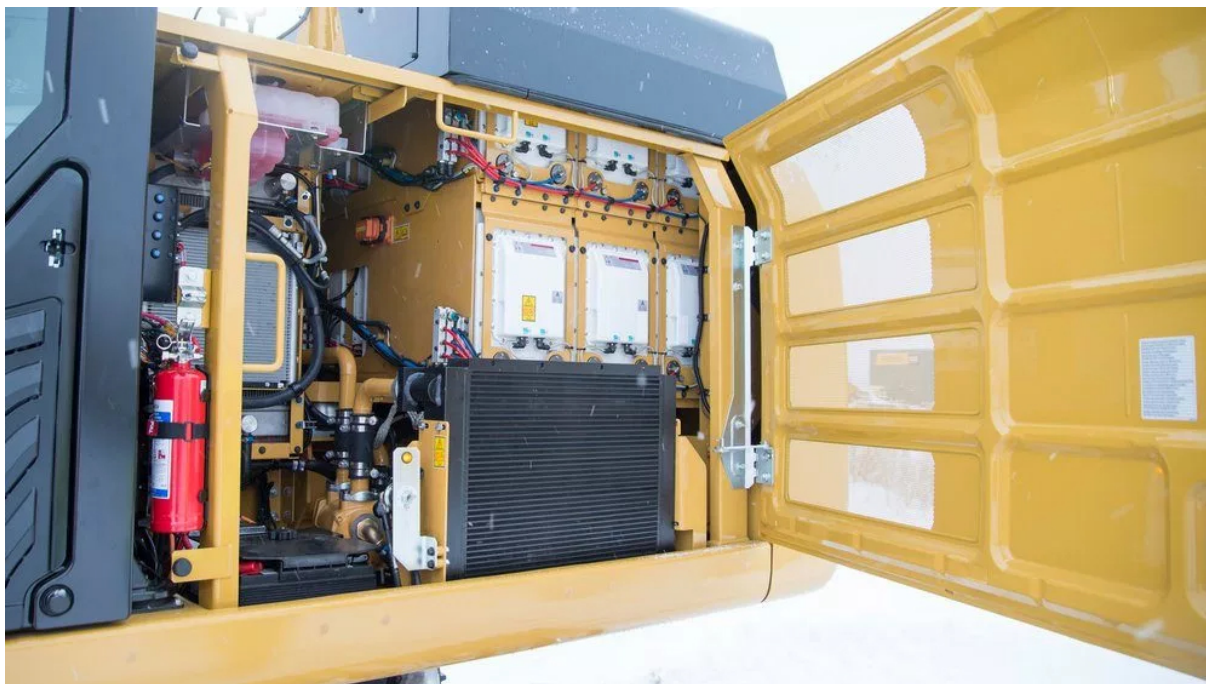
Figur 8: Lagring av kryogen hydrogen (19).

4.2.3 Litiumbatterier

Det har vært en stor utvikling for litiumbatterier de siste årene. Batteriene har blitt mindre og lettere, men likevel fått høyere kapasitet. Samtidig som teknologien utvikles, øker behovet for litiumbatterier. Det er forventet at batteribehovet vil være 14 ganger høyere innen 2030, sammenlignet med september 2021 (49). Litiumbatterier egner seg bra til å lagre mye energi fordi de har en høy energitetthet. Dette er en av de viktigste grunnene til at litiumbatterier er å foretrekke fremfor konvensjonelle bly-syre batterier.

For at en gravemaskin skal kunne løfte tunge gjenstander, må den ha en motvekt i form av et lodd. I gravemaskinene fra Nasta blir loddene som utgjør motvekten fjernet, og erstattet med batterier og en tykk bunnplate. Loddene må fjernes først og fremst for å få plass til batteriene, men selv om batterier veier mye, må det legges inn en ekstra motvekt i form av bunnplaten (50). For at LIB skal kunne brukes i anleggsmaskiner må de forsterkes slik at de tåler påkjenninger.

Det negative med LIB er at de er dyre, og det er utfordrende å få tak i råmaterialer til produksjon. De er også vanskelig å resirkulere. Hos Volvo Maskin får batteriene opptil tre liv, ved at de tas i bruk i blant annet batteribanker og båter etter de har blitt tatt ut av anleggsmaskinen (Andersen, F. & Brække S., Product Managers Volvo Maskin, 27.04.22, Intervju).



Figur 9: Litiumbatterier i en 26 tonn gravemaskin fra Veidekke (20).

4.3 Elektriske gravemaskiner

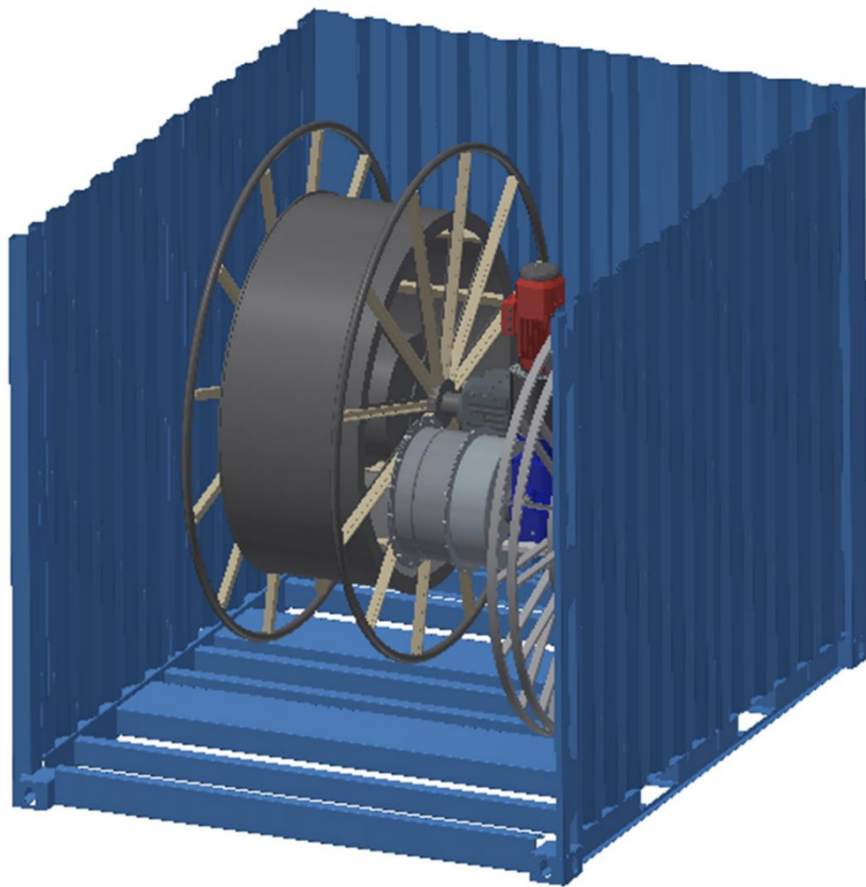
Elektriske gravemaskiner kan deles inn i tre forskjellige typer: kabelelektrisk, batterielektrisk eller en kombinasjon av batteri- og kabelelektrisk. Felles for alle er at de drives av en elektrisk motor. Selve drivverket i maskinen er likt, og drives i hovedsak av et hydraulisk system. Det vil derfor være noe forbruk av olje i drivverket på en elektrisk anleggsmaskin. De elektriske graverne på kabel er direkte koblet til nettet og kan kjøres kontinuerlig uten ladepauser. I større prosjekter som krever mye massehåndtering vil denne løsningen egne seg godt. Det vil være problematisk for en entreprenør dersom brukstiden reduseres på grunn av lav batterikapasitet på maskinene. De elektriske graverne som drives av batteri er ofte mindre i størrelse og egner seg godt i områder der det er lite plass. De er derimot avhengig av å ha lademuligheter i umiddelbar nærhet. Noen maskinleverandører kjøper vanlige gravere og bytter ut dieselmotoren med en elektrisk, andre produserer elektriske gravere fra starten av.



Figur 10: Prinsippskisse av en kablet elektrisk gravemaskin (21)

4.3.1 Kabelelektriske maskiner

Nasta har utviklet et eget system for maskiner på kabel. Løsningen innebærer en kabeltrommel plassert i en container, som inneholder en skilletransformator, for å skape et galvanisk skille mot det ytre strømnettet. Dette vil minimere risikoen for at eventuelle feil på anleggsmaskinen skal forplantes videre til det foranliggende nettet (51). Kabelen ut av container rulles inn ved behov, og blir automatisk justert når gravmaskinen rygger eller at kabelen ligger på bakken. Maskinføreren vil få et varsel i kontrollpanelet dersom kabelen er strukket ut for langt. Dette systemet minimerer risikoen for å ødelegge kabelen (51). Kabelen er robust og det skal mye til før den blir ødelagt. Det er vanlig å utføre reparasjoner underveis, slik at de sjeldent må byttes ut (Sjur Wethal, Seniorrådgiver Nasta AS, 24.03.22, Intervju).



Figur 11: Prinsippskisse av kabelcontainer (21)

4.3.2 Batterielektriske maskiner

De batteridrevne gravemaskinene har mindre brukstid enn kabelelektriske, siden de må lades. Nasta sin Zeron ZE160 har en batteristørrelse på 300 kWh, men brukstiden vil variere avhengig av hvor tungt maskinen jobber. Batterikapasiteten er definert i tabell 3. Gravemaskiner som baserer seg på kun batteriteknologi vil per dags dato egne seg best til mindre jobber, som f.eks. anleggsgartnerjobber.

Hardt arbeid (80% motoreffekt)	Normalt arbeid (60% motoreffekt)	Lett arbeid (40% motoreffekt)
2,5-3 timer	3,5-4 timer	4,5-6 timer

Tabell 3: Batterikapasitet (32).

4.3.3 Kabel- og batterielektriske maskiner

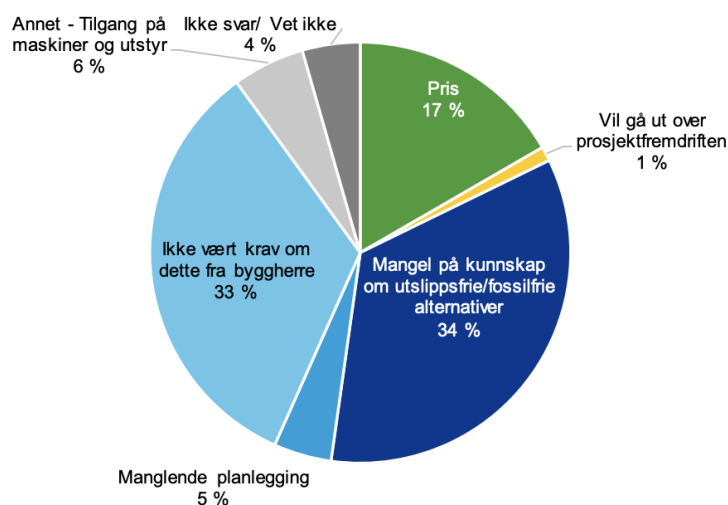
Når batteri og kabel brukes i kombinasjon, kan batteriet supplere kabelen ved høye effekttopper, og således fungere som en peak-shaver. Nasta har utviklet en egen variant som kalles PeakShaver+, og består av væskekjølt vekselstrømsmotor, invertere og programvare og batteripakke på 42 kWh.

4.4 Barrierer for bruk av utslippsfrie anleggsmaskiner

I en undersøkelse utført av DNV GL AS Energy (utgitt i 2017), finner en at den største barrieren for at utslippsfrie eller fossilfrie anleggsmaskiner ikke blir tatt i bruk er at det er manglende kunnskap om de. Videre kommer det frem at det ikke stilles krav om utslippsfrie eller fossilfrie anleggsmaskiner fra byggherre. Den største økonomiske utfordringen er at biodiesel er dyrere enn avgiftsfri diesel.

Etter at Oslo kommune satte krav om at byggeplassen skal kunne bygges med nullutslippsteknologier, ser en effekter i form av økt salg av elektriske gravemaskiner. Tone Grøstad, direktør i Maskingrossisternes forening, antar at 15% av nysolgte gravemaskiner over 10 tonn vil være elektriske i 2022. I 2021 fantes det ca. 100

elektriske gravemaskiner tilgjengelig på markedet i Norge. I 2022 anslår hun at det vil bli solgt ca. 250 elektriske gravemaskiner over 10 tonn (52).



Figur 12: Oversikt over svar på spørsmålet: "Hva opplever du er den viktigste årsaken til at utslippsfrie/fossilfrie anleggsmaskiner ikke tas i bruk?" (22).

4.5 Investering- og driftskostnader

Det er tydelig at en stor utfordring med elektriske anleggsmaskiner er investeringskostnaden. Prisen for en elektrisk gravemaskin er alt fra 2 til 3,5 ganger så dyr. Dette avhenger av om maskinen er koblet til strømmettet med kabel, eller om den går på strøm fra en batteribank på maskinen. Når det kommer til driftskostnader vil det også være en betydelig forskjell på dieselgående og elektriske maskiner. Prisene for elektriske maskiner vil variere med strømprisene som gjør at det er en usikkerhet i hvor høye strømutgiftene vil være. Det viser seg at selv om strømprisene er høye, så er det oftest mer gunstig med elektriske maskiner enn med dieselgående (Sjur Wethal, Seniorrådgiver Nasta AS, 24.03.22, Intervju). I vedlegg B kan en se når en vil tjene eller tape på å investere i en batterieletrisk gravemaskin av typen Zeron ZE210.

ABB, som er leverandør av de elektriske motorene til Nasta sagt at levetiden er på 50.000 timer. Under møtet med Nasta kom det frem at en forbrenningsmotor begynner å vise tegn til mistrivsel på 12-15.000 timer (Sjur Wethal, Seniorrådgiver Nasta AS, 24.03.22, Intervju). Dette betyr at en elektrisk motor vare mer enn tre ganger så lenge som en dieselgående motor. Uavhengig av motorvalget vil det være andre driftskostnader, som at hydraulikken lekker og at belter blir ødelagt. Selv om en

elektrisk motor varer i 35.000 timer lengre enn en forbrenningsmotor, så vil alle andre komponenter slites likt som før. Det vil si at isteden for å kjøpe en ny maskin etter 12-15.000 timer kan det være nok å reparere slitte deler.

4.6 Helse, miljø og sikkerhet

En overgang til elektriske maskiner vil gi gode helseeffekter, da en får redusert det totale utslippet av CO₂, NO_x, SO_x, PM_x. Utslippet av CO₂ gir dårligere luftkvalitet.

Utslippet av NO₂ og PM_x medfører risiko for helseskader, i form av luftveislidelser.

Utslipp av PM_x gir høyere risiko for hjerte- og karsykdommer og økt dødelighet.

Utslippet av PM_x gir verre helsemessige effekter, enn ved eksponering av NO₂ (53).

Utslipp av CO₂ og NO₂ ødelegger ozonlaget, som gir økt drivhuseffekt og høyere temperatur på jorden. Det er viktig å redusere utslippene slik at Norge opprettholder forpliktelsene sine til Parisavtalen. Målet er at temperaturen ikke skal stige mer enn maksimalt 2 °C, og helst ikke mer enn 1,5 °C (15).

Utslippene fra anleggsmaskinene vil være ikke-kvotepliktige, da de er en del av transportsektoren sine utslipp. CO₂-avgiften for ikke-kvotepliktig utslipp vil gradvis bli økt til om lag 2000 kr per tonn CO₂ innen 2030. I 2021 lå denne avgiften på 590 kr per tonn CO₂-utslipp (54). Dette er regjeringens hovedvirkemiddel for å nå målet om fossilfrie anleggsplasser (15).

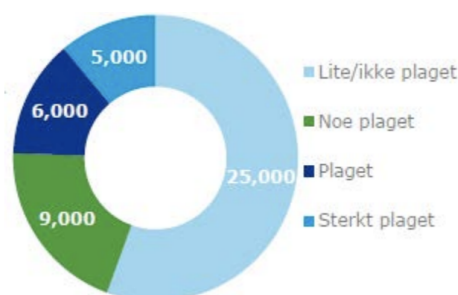
Elektriske anleggsmaskiner vil gi en risiko for strømgjennomgang som kan forårsake skader og mulig død på mennesker. Maskinene er utstyrt slik at de kan detektere feilstrøm, og deretter bryte strømtilførselen. Batteridrevne anleggsmaskiner vil ha en risiko for brann i batteriet. Sannsynligheten for at en brann vil oppstå er liten, men konsekvensene vil være store. Det vil være viktig med gode sikkerhetstiltak for å redusere risikoen for brann i batteriet.

Ved bruk av hydrogendrevne anleggsmaskiner vil det være en risiko for eksplosjon, og i Norge er det i dag utbredt skepsis for hydrogen etter eksplosjonen i Sandvika (55). Imidlertid går utviklingen innen hydrogen fort, og erfaringene økes og risikoen kan reduseres.

Dagens dieseldrevne maskiner har et høyt støynivå. Støynivået vil reduseres ved overgang til elektriske anleggsmaskiner, noe som er en fordel i tettbebygde strøk. Bygge-

og anleggsbransjen er den bransjen som rapporterer inn flest hørselskader. Figur 4 viser at mange av arbeiderene i bygge- og anleggsvirksomhet blir plaget av høye støynivå, og det er påvist hørselskader hos mennesker som har blitt utsatt for støypåvirkning som til og med er under 85 dBA. Reduksjonen i støynivå vil også gjøre det lettere for arbeiderene å kommunisere med hverandre på bygge- og anleggsplasser (22).

Maskinførere oppgir også at de føler seg mindre slitne av å bruke elektriske gravemaskiner (Sjur Wethal, Seniorrådgiver Nasta AS, 24.03.22, Intervju).



Figur 13: Antall personer i bygge- og anleggsvirksomhet som i 2017 ble utsatt for støynivåer over 50 dBA (22).

4.7 Fordeler og ulemper med elektriske anleggsmaskiner

En utfordring er at det ikke er nok elektriske maskiner på markedet. Etterspørselen er tildels tilstede, men importørene klarer ikke levere nok. Dette kommer frem i en forskningsrapport fra SINTEF (29). I kombinasjon med at det er få elektriske maskiner på markedet, er det også lang leveringstid. Det er i følge entreprenører opp til 9 måneder ventetid før man mottar den elektriske graveren man har bestilt (29). I tillegg til at leveringstiden er lang er det også dyrt å investere i en ny elektrisk graver. Dette kan medføre økonomiske utfordringer for de mindre entreprenørene.

I følge entreprenører er det ikke nok kapasitet på batteriene til at en elektrisk graver kan grave en hel dag, og spesielt ikke om det er mye belting (Sjur Wethal, Seniorrådgiver Nasta AS, 24.03.22, Intervju). Det er nemlig belting som krever mest energi. Utslippsfrie anleggsplasser er et nytt konsept og det er mangel på erfaring og kunnskap om temaet. Det betyr at det er få risikovurderinger, krav og regler når det kommer til sikkerhet på bygge- og anleggsplassen. Dette medfører også at det er stor mangel på regler og retningslinjer spesielt for bruk av litiumbatterier og hydrogen, for eksempel inne i tunneller (Dahl, Frode, Fagansvarlig Elektro veg og bane Bane Nor, 31.03.2022, Intervju).

Det finnes flere viktige fordeler med utslippsfrie anleggsmaskiner. Først og fremst slipper de ikke ut CO₂-ekv. i bruksfasen. Det gir en bedre luftkvalitet i byer der det oppholder seg mange mennesker. Tilbakemeldingene fra brukerne er også gode. De skaper mindre støy, i den forstand at det blir lettere å kommunisere på bygge- og anleggsplassen, samt mindre plagsomt for de som oppholder seg i nærheten av dem. De oppfattes også som raskere i bevegelsene fordi de har kortere responstid enn de dieseldrevne. I tillegg oppgir førerne at de føler seg mindre slitne når de bruker elektriske anleggsmaskiner.

Liste med fordeler for enkel oversikt:

- Null utslipp av CO₂
- Bedre luftkvalitet i byer
- Bedre sikkerhet på grunn av mindre støy
- Mindre lydforurensning for omgivelsene
- Enklere å kommunisere med maskinfører
- Oppfattes at de har raskere responstid
- Førere av maskinen føler seg mindre utmattet etter bruk
- Lavere driftskostnader
- Lengre levetid på elektrisk motor ift. fossil motor

5 Kraftnett og kraftmarked

En utslippsfri anleggsplass vil ha et betydelig høyere elektrisk effektbehov enn en vanlig anleggsplass, hovedsakelig på grunn av elektriske anleggsmaskiner. Dette kapittelet tar for seg utfordringene det økte effektbehovet skaper for kraftnettet, og vil se på hvordan disse utfordringene kan løses.

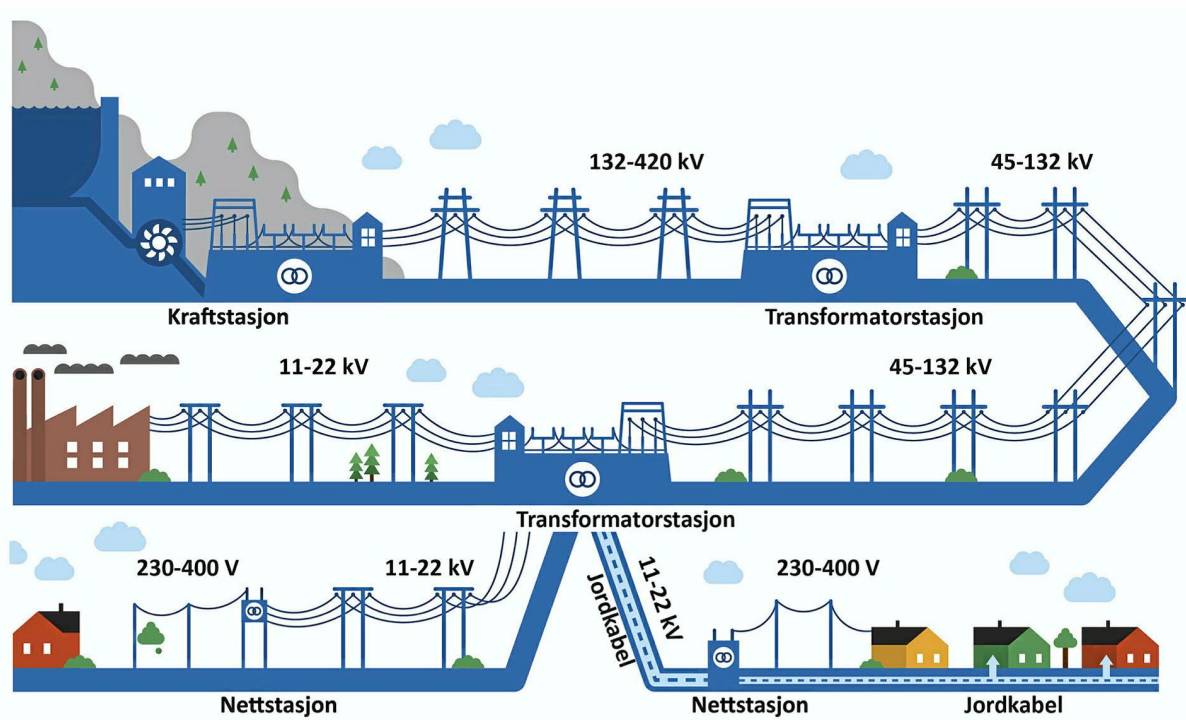
5.1 Om kraftnettet

Kraftnettet er den infrastrukturen som gjør det mulig å transportere elektrisk energi fra produsent og fram til forbruker. Det består av et sammenhengende nettverk av luftlinjer, jord- og sjøkabler, transformatorstasjoner og koblingsanlegg. I Norge vil en produsent typisk være et vannkraftverk, som utnytter potensiell energi lagret i vannmagasiner til å drive en generator som produserer strøm. Vannkraft utgjør ca. 90% av landets totale kraftproduksjon (56), noe som betyr at Norge har Europas laveste utslipp i forbindelse med kraftproduksjon. Fra generatoren blir strømmen sendt via en transformator og ut i kraftnettet, hvor den blir transportert videre fram til forbruker. Selve overføringen av elektrisk energi skjer ved høye spenningsnivåer, fordi det gir mindre varmeutvikling og energitap. Før energien tas ut hos forbruker, blir den gradvis transformert ned til 230/400V. Kraftnettet er en svært viktig infrastruktur, og pålitelig strømforsyning er helt avgjørende for at dagens samfunn skal fungere.

5.1.1 Transmisjons- og distribusjonsnett

Det er vanlig å dele kraftnettet inn i flere nivåer, ut fra hvilket spenningsnivå det har. I Norge har det lenge vært vanlig å dele nettet inn i tre nivåer; transmisjonsnett, regionalnett og distribusjonsnett. I henhold til det nye EU-regelverket anses derimot regionalnettet som en del av distribusjonsnettet (57). *Transmisjonsnettet* (tidligere kalt sentralnettet) utgjør selve hovedveiene i kraftnettet, og strekker seg langs hele landet. Spenningsnivået er som regel 300 eller 420kV, og i enkelte tilfeller 132kV. Utenlandskabler anses som en del av transmisjonsnettet. Det er Statnett som eier og drifter transmisjonsnettet. *Distribusjonsnettet* er det nettet som går ut til forbrukerne, og har spenningsnivå fra 230V til 22kV. Regionalnettet binder transmisjons- og distribusjonsnettet sammen, og har spenningsnivå fra 66 til 132kV. Det er de lokale

nettselskapene som eier og drifter distribusjonsnettet.



Figur 14: Kraftnettets oppbygning (23).

5.1.2 Kapasitet og flaskehals

Det norske kraftnett er en omfattende infrastruktur. Transmisjonsnettet utgjør ca. 11 000 km i lengde, regionalnettet ca. 19 000 km og det høyspente distribusjonsnettet ($>1\text{kV}$) ca. 100 000 km (58). Kvaliteten på nettet varierer veldig fra område til område, og tilgjengelig kapasitet like så. Enkelte steder kan det være mye ledig kapasitet, mens andre steder kan det være lite ledig kapasitet. Det kan også være ulike årsaker som begrenser kapasiteten, det kan være at transmisjonsnettet ikke har mer å gå, det kan være at distribusjonsnettet er for svakt eller det kan være at transformatoren ikke har tilstrekkelig ytelse. Mer generelt er det ofte bedre kapasitet i bynære områder, hvor nettet er godt utbygd og det er lagt til rette for forbruksøkning, enn i mer landlige strøk, hvor det er færre abonnenter og dårligere nett.

5.2 Tilknytning til kraftnettet

5.2.1 Leveringsplikt og kvalitet

Distribusjonsnettet er regulert av områdekonsesjoner som gir tillatelse til å eie og drifte nettet i et geografisk avgrenset område (12). Det er de lokale nettselskapene som innehar disse konsesjonene. Ordningen med områdekonsesjoner gir nettselskapene monopol på virksomheten i sitt område, og på grunn av dette er nettselskapene pålagt leveringsplikt til alle abonnenter i sitt område. Det betyr at de må tilby tilknytning til alle kunder som søker om det. Leveringsplikten gjelder for både private kunder og næringskunder, og gjelder for spenningsnivåer opp til og med 22kV (59).

For å sikre en akseptabel kvalitet i kraftsystemet ble *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet* opprettet i 2005 (60). Nettselskapene har en margin for spenningsvariasjon på $\pm 10\%$ av systemspenningen i snitt i løpet av et minutt (61). Forutsatt at en stor last kobles av og på nettet, kan det føre til under- og overspenninger (62). Konsekvensen av over- og underspenninger kan være ødeleggelse av tilkoblet utstyr hos andre nettkunder tilkoblet samme transformatorokrets.

5.2.2 Anleggsbidrag

Selv om nettselskapet har leveringsplikt, er det abonnenten som må ta kostnadene ved en ny tilknytning. Det heter at kunden som utløser tiltaket må betale anleggsbidrag, det vil si dekke anleggskostnadene i forbindelse med tilknytningen. Beregning av anleggsbidrag er komplisert og veldig situasjonsbestemt. I grove trekk beregnes først anleggskostnadene, før disse multipliseres med kundens andel av anlegget (63). Hvis en kunde utløser en utbygging av nettet, kan nettselskapet velge å legge til rette for fremtidig forbruksøkning og/eller nye tilknytninger i samme utbygging. I slike tilfeller tar nettselskapet merkostnadene ved investeringen, mens kunden betaler anleggsbidraget for sin andel (Bård Svendsen, Ingeniør Linea AS, 25.03.22, Intervju).

Hvis en ny tilknytning krever at kraftnettet må oppgraderes, kan det fort bli dyrt. Som nevnt tidligere varierer det veldig hvor mye ledig kapasitet det er i nettet, noen steder kan det være tilstrekkelig å oppgradere transformatoren i området, mens andre steder kan det være nødvendig å oppgradere distribusjonsnettet foran transformatoren også. Desto større del av kraftnettet som må oppgraderes, desto dyrere blir anleggsbidraget.

5.2.3 Byggestrøm

En bygge- og anleggsplass trenger strømforsyning for å levere effekt til blant annet belysning, oppvarming, maskiner og annet utstyr. Byggestrøm er en provisorisk løsning som møter dette midlertidige effektbehovet. Det gjøres da en midlertidig tilknytning til nettet, og det settes opp et byggestrømskap som fungerer som et sikringsskap for bygge- og anleggsplassen. Det tar sjelden lang tid å få etablert byggestrøm, og anlegget rigges ned igjen når arbeidet er ferdig. Dersom det for eksempel skal bygges et nytt leilighetsbygg, må det etableres en permanent strømforsyning til bygget. Byggestrøm benyttes da inntil den permanente strømforsyningen er etablert og en kan benytte denne. Det er ønskelig å koble seg over på den permanente forsyningen så tidlig som mulig, der hvor det er mulig.

Byggestrøm etableres som regel av en godkjent installatør, eller av nettselskapet selv dersom strømbehovet er av større karakter. Hvor mye strøm som leveres kommer selvfølgelig an på behovet, samt hvor mye som er tilgjengelig. Vanlige størrelser på byggestrøm er 32A, 63A eller 125A. En elektrisk gravemaskin trekker stor ladestrøm, en 20-tonns beltegraver fra NASTA lader på 125A (Sjur Wethal, Seniorrådgiver NASTA AS, 24.03.22, Intervju), og spiser fort opp den tilgjengelige kapasiteten alene.

5.2.4 Oppgradering av nettet

Det kan fort bli aktuelt å oppgradere kraftnettet for å få levert nok byggestrøm til en utslippsfri bygge- og anleggsplass, og det blir fort kostbart. Dersom anleggsbidraget blir for dyrt, risikerer man at prosjektet blir ulønnsomt og at det skrotes, eventuelt at det ikke kan gjennomføres utslippsfritt. I tillegg tar det ofte lang tid å oppgradere nettet på grunn av lang behandlingstid i diverse instanser (Bård Svendsen, Ingeniør Linea AS, 25.03.22, Intervju).

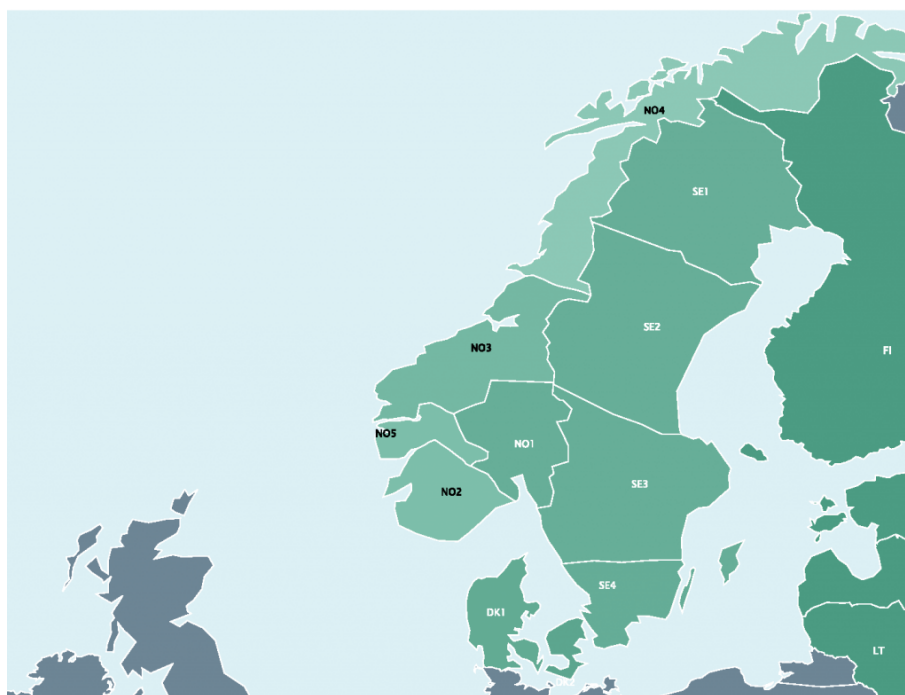
5.3 Kraftmarked og strømpris

For å få en bedre helhetsforståelse av kostnader knyttet til elektrifisering av anleggsmaskinparken, er det nødvendig å se på kraftmarkedet. Denne delen av rapporten omhandler praksisen i Norge rundt kraftmarkedet, og hvordan strømprisen påvirkes av dette.

Etter en vedtakelse om en ny energilov i 1990 ble kraftmarkedet i Norge åpnet opp for konkurranse. Kraftbørsen Nord Pool ble opprettet i 1996, da andre skandinaviske land så til Norge og vedtok nye energilover. Dette førte til at landene knyttet kraftnettene sine sammen til et felles system for utveksling av kraft. De fleste europeiske land er i dag tilknyttet Nord Pool, altså til et felles europeisk kraftmarked (64).

5.3.1 Strømpris

Gjennom store deler av 2021, og så langt i 2022, har mediedekningen av strømprisene i Norge vært stor. Det har stadig blitt skrevet om nye prisrekorder, og regjeringen innførte i desember 2021 en støtteordning for privatpersoner på grunn av de ekstraordinære strømprisene. Det spesielle med denne situasjonen er forskjellene i strømprisene i Norge.



Figur 15: Prisområder i Norge (24).

Norge er delt inn i fem prisområder gjennom Nord Pool. Oppdelingen av områdene er sammensatt av flere faktorer, og i følge Statnett kommer det i hovedsak av flaskehals i transmisjonsnettet. I teorien ville strømprisen i Norge vært lik i alle områder dersom overføringskapasiteten mellom sonene i transmisjonsnettet var god nok. På grunn av dårlig overføringskapasitet mellom Sør- og Midt-Norge, blir ikke strømprisen jevnet ut. Det har ført til et skille i pris mellom sør og nord i Norge (65).

Ved å se på historiske strømpriser fra Nord Pool ser man antydninger til differanse i pris fra januar 2021. Til sammenligning er prisdifferansen i september 2021 dobbelt så stor i sørlige deler av Norge, som i Midt- og Nord-Norge. Et ekstremtilfelle av prisforskjellen er spesielt synlig i mars 2022, der strømprisen i Oslo var over ti ganger så høy som i Trondheim.

NOK/MWh

	Oslo	Kr.sand	Bergen	Tr.heim	Tromsø
22 - Mar	1 870,36	1 870,36	1 870,47	172,82	151,04
22 - Feb	1 205,38	1 205,38	1 202,38	180,68	161,74
22 - Jan	1 406,31	1 406,28	1 371,24	263,85	262,23
21 - Dec	1 771,26	1 770,79	1 766,89	607,70	606,78
21 - Nov	1 063,28	1 063,33	1 064,61	417,17	416,99
21 - Oct	961,13	973,33	959,47	247,07	219,49
21 - Sep	1 083,67	1 083,67	1 083,67	539,15	512,57
21 - Aug	748,34	748,56	749,04	595,89	446,57
21 - Jul	576,47	596,22	576,47	474,04	228,53
21 - Jun	469,12	548,82	468,86	356,81	212,47
21 - May	485,74	486,34	487,66	368,84	328,28
21 - Apr	452,14	443,84	443,94	277,61	268,77
21 - Mar	421,30	421,22	421,30	253,98	252,05
21 - Feb	545,07	487,91	544,08	440,78	425,16
21 - Jan	500,49	499,09	499,88	454,92	376,89
20 - Dec	214,15	214,18	208,80	151,07	140,63
20 - Nov	49,93	49,93	50,09	56,35	55,90
20 - Oct	143,52	143,52	137,80	130,89	104,02
20 - Sep	102,02	102,02	101,00	107,04	74,23
20 - Aug	38,88	41,01	36,15	67,95	60,25
20 - Jul	15,05	15,05	15,05	27,18	29,30
20 - Jun	15,61	15,61	15,61	33,77	33,79
20 - May	79,54	79,26	79,54	96,00	97,66
20 - Apr	53,31	53,29	53,31	52,85	53,88
20 - Mar	90,10	89,73	90,10	100,23	100,23
20 - Feb	126,32	125,08	126,32	139,44	139,10
20 - Jan	244,04	244,04	244,03	232,93	232,57

Figur 16: Historiske strømpriser i Norge (25).

Årsaken til de høye strømprisene er kompleks, og består av flere faktorer. Hovedårsaken er at Sør-Norge er tilknyttet det europeiske kraftmarkedet i større grad enn i Midt- og Nord-Norge. Det europeiske kraftmarkedet benytter seg i større grad av variable kraftkilder som vindkraft, enn det gjøres i Norge. I perioden med økte strømpriser har

det vært mindre vind enn vanlig i Europa, som har senket strømproduksjonen noe. I tillegg foregår det i skrivende stund en energikrise i Europa, på grunn av høye gasspriser. Bruken av gass i kraftproduksjon er stor i flere europeiske land, og en økning i gassprisen har påvirket strømprisene (66).

5.3.2 Nettleie

Dagens nettleiestruktur består av to deler, som er *energiledd* og *tariffledd*. I tillegg kommer avgifter i forbindelse med nettleien. Avgiftene er ikke en direkte del av nettleien, men faktureres sammen med nettleien. Innbakt i avgiftene er det en forbrukeravgift og merverdiavgift. Avgiftene er i utgangspunktet like i hele Norge, med unntak av Nordland, Troms og Finnmark som har fritak for merverdiavgift. Finnmark og noen kommuner i Nord-Troms har også fritak for forbrukeravgiften (67).

Energiledd

Ved kraftoverføringer vil noe av kraften gå tapt i form av varme. Dette tapet dekkes inn ved hjelp av energileddet. Energileddet av nettleien skal dekke marginalkostnaden forbrukeren skaper av sitt forbruk av strøm levert gjennom nettet (67).

Tariffledd

Tariffleddet blir brukt for å dekke inn de resterende kostnadene fra nettet som energileddet ikke klarer å dekke inn. Tariffleddet er delt i to, et fastledd og et effektledd. Fastleddet er en bestemt sum som deles over hele året, mens effektleddet avregnes fra forbrukerens effektforbruk i et bestemt tidsrom. Nettselskapene er ikke pålagt å benytte seg av effektleddet, men det gjøres ofte til bedriftskunder (67). Nettselskaper som for eksempel Elvia benytter seg av effektleddet til sine bedriftskunder (68).

Ny nettleiemodell

Lenge har det vært snakk om en endring i dagens nettleiestruktur, og i juni 2021 ble det vedtatt at en ny nettleie skal innføres (69). Hensikten med den nye nettleien er å motivere forbrukerne til å utnytte tilgjengelig kapasitet i strømmettet om natten. Den nye modellen åpner opp for at forbrukerne selv kan påvirke prisen på nettleien, ved å endre forbruksvanene sine noe. Store laster, som blant annet lading av elbiler, kan med fordel flyttes til lading over natten (70).

Den nye nettleiemodellen skal etter planen innføres 1. juli 2022. Modellen har vært omstridt blant forbrukerne, og mange har ment at nettleien blir mer fast uten

variabilitet. En annen del av kritikken mot modellen, har vært hvordan denne faste delen i nettleien ble beregnet. Dette førte til store politiske debatter, og forslaget til den nye nettleie modellen ble utsatt flere ganger. Etter noen justeringer, sendte NVE inn et forslag om den nye modellen 17. mars 2022. Endringene i forslaget er:

- **Energiledd:** Skal utgjøre 50% av nettleien.
- **Tariffledd:** Skal beregnes ut fra flere timer eller perioder der forbrukeren har sitt høyeste forbruk.

(71)

Den største forskjellen fra dagens nettleiestruktur er at samtidigheten av store laster vil være avgjørende for hvilken tariff man ender opp med. Dette synliggjør betydningen av peak shaving hos forbrukere. Hvordan den nye nettleien vil påvirke anleggsbransjen er noe ukjent. I byggeperioden vil effektuttaket i stor grad være provisorisk, likevel kan den nye modellen føre til høyere nettleie for byggestrøm. Dermed kan peak shaving i form av bruk av batteribanker være en mulighet for å senke nettleien noe.

6 Ladesystemer

Dette kapittelet omhandler ladeteknologi, batteribanker og sikkerhetstiltak. Kapittelet vil også presentere ulike ladeaktører og tilhørende produkter.

6.1 Ladere og ladeteknologi

De elektriske anleggsmaskinen som bruker batterier som energikilde trenger lading. Ladingen kan skje fra strømmettet, eller en batteribank. De fleste maskiner trenger 400 V og 125 A for at ladingen skal gå raskt nok til at den skal være effektivt (Sjur Wethal, Seniorrådgiver NASTA AS, 24.03.22, Intervju). På en anleggsplass med mange elektriske gravere og uten mulighet for hurtiglading via batteribank, kan dette skape høye effekttopper på strømmettet. En ulempe med batterielektriske anleggsmaskiner er at det tar vesentlig lenger tid å lade opp batteriet, sammenlignet med å fylle en dieseldreven maskin. Det er derfor viktig med god ladeinfrastruktur på bygge- og anleggsplassene slik at driftstimene til de elektriske anleggsmaskinene ikke reduseres, sammenlignet med fossildrevne.

Det finnes tre løsninger for å lade opp batterielektriske anleggsmaskiner:

- **Ladeanlegg koblet direkte til nettet:** Ved god kapasitet på nettet kan ladeanlegget kobles direkte til nettet.
- **Ladeanlegg direkte koblet til nettet med batteribank:** Ved lav kapasitet kan ladeanlegget kobles til en batteribank for å avlaste nettet.
- **Ladeanlegg koblet til batteribank:** Ved ingen mulighet for å hente ut strøm kan en koble ladeanlegget til en mobil batteribank, som blir fraktet til bygge- eller anleggsområdet.

(1)

6.1.1 Batteribanker

Batteribanker er en stor samling av batterier koblet sammen slik at det skal kunne holde på mye energi. Disse kan man plassere fritt rundt på et sted der tilgangen på strøm er

liten for å lade opp maskinene. Batteribankene kommer i ulike størrelser og det er muligheter for å modifiseres til eget bruk. Batteriene kan videre tilkobles en hurtiglader for å effektivisere ladingen av elektriske anleggsmaskiner.

Den store fordelen med batteribanker vil være at en får redusert de store effekttoppene ved lading av elektrisk anleggsmaskiner, ved å ha et kontinuerlig trekk fra strømmettet til batteribanken. Denne kan igjen tilkobles en hurtiglader som vil lade batteriene til anleggsmaskinene raskt opp. Dette vil kunne forhindre en eventuell utbygging av strømmettet, som vil være dyrt og tidkrevende. Nettselskapene BKK, Elvia og Linea er klare for å ta i mot utslippsfrie anleggsmaskiner, men presiserer at det er viktig at de kontaktes tidlig i prosjektfasen, helst før prosjektet legges ut på anbud, slik at de kan starte planleggingen tidlig (Jan Ness, Seniorrådgiver BKK Nett AS, 05.04.22, Intervju), (Håkon Linde, Plan og fagansvarlig distribusjonsnett, Elvia, 28.03.2022, Intervju), (Bård Svendsen, Ingeniør Linea AS, 25.03.22, Intervju).

En annen fordel vil være at batteribankene legger godt til rette for hurtiglading av anleggsmaskinene. Uten hurtiglading vil brukstiden bli kortere i løpet av arbeidsdagen, da mange anleggsmaskiner har kortere brukstid enn en hel arbeidsdag, og lading direkte fra nettet vil være tidkrevende. Driftstiden på batterielektriske anleggsmaskiner varierer med tyngden på arbeidet. I tabell 4 kan en se forventet driftstid til en elektrisk gravemaskin med kun batteri.

Type gravemaskin	Maskinvekt [tonn]	Driftstid [timer]	Batteristørrelse [kWh]	Energitilførsel [A]
Zeron ZE55	5,2	2-5	39	32
Zeron ZE85	9,5	3-6	100	63
Zeron ZE210	23,7	Opp til 6	300	125

Tabell 4: Forventet driftstid med kun batteri (33).

Erfaringsmessig sier entreprenøren Søbstad AS at de uten hurtiglading får ladet om lag 15% på en Caterpillar 12 tonns batterielektrisk gravemaskin i matpausen ved prosjektet på Marinen i Trondheim, med en 63 A lader. De forteller også at de har utfordringer med å ha full driftstid ved tung drift av gravemaskin gjennom en hel arbeidsdag (Bjørn Storsve, Anleggsgartnermester Søbstad AS, 29.03.22, Intervju). Hurtiglading vil derfor være ideelt for store anleggsmaskiner som krever mye strøm, slik at driftstiden i løpet av en arbeidsdag kan øke.

6.2 Ladeaktører

Eviny og Ohmia Construction er to selskap som driver med ladeløsninger. Begge selskapene fikk støtte av Enova i oppstartsfasen. Eviny kommer fra merkevaren BKK, som i 2021 ble delt til de to merkevarerne nettselskapet BKK Nett AS og fornybarselskapet Eviny. Ohmia Construction er datterselskapet til TrønderEnergi AS.

6.2.1 Eviny

Eviny er et selskap som spesialiserer seg på mobile energiløsninger. Selskapet leier ut store batteripakker som kan plasseres og flyttes rundt på anleggsplassene. Batteripakkene blir levert av Northvolt. Eviny leverer også mobile ladere. Hurtigladerne deres er på 200 kW som kobles opp mot batteripakkene og den kan plasseres der de egner seg for maskinene. Siden hurtigladerne kan levere 200 kW, kan de levere nok strøm i en lunsjpause slik at maskinene kan fungere hele dagen. Eviny sin løsning kan tilpasses ulike behov. Den modulære løsningen gjør at både små og store prosjekter har mulighet, både prismessig og plassmessig.



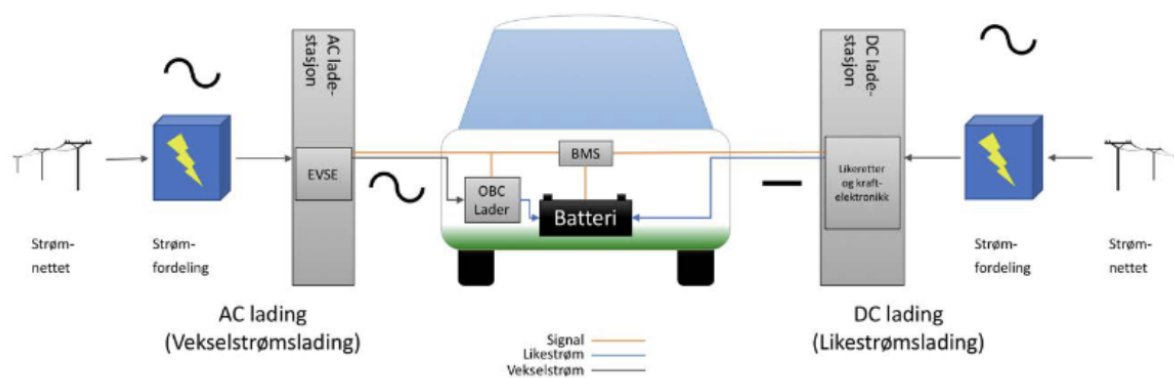
Figur 17: Fyllingen Maskin - Lading av elektrisk gravemaskin med mobilt batteri og hurtigladeconteniner fra Eviny (26).

Batteripakkene som Eviny (figur 17) leverer, har en kapasitet på 281 kWh. Siden Eviny har modulære batteripakker kan de kobles sammen slik at en kan få makskapasitet på 1,405 MWh (72). Da vil systemet bestå av fem batteripakker i tillegg til en styringsenhet (hub), som er hjernen i det hele. Her styres batteripakkene. I tillegg til dette leverer Eviny byggestrømskap med digital overvåking. Dette er koblet på nærmeste nettstasjon. Videre fra byggestrømskapet kommer batteribankene og til slutt eventuelle hurtiglader og/eller normallader. Med hurtigladeren vil det være mulig å lade fra 10% til 80% på under en time, men dette avhenger av batteristørrelse på den elektriske anleggsmaskinen.

Hurtigladeren leveres med 1 DC hurtiglader som har to uttak (CCS mode 4) og kan levere en ladeeffekt på opptil 200 kW. Den har også to industriuttak (CEE 63A). Det har også kommet en generasjon 2 av hurtigladeren som leveres i ramme. Spenningen på hurtigladecontainerene er 400 VAC, men de har også en normalladecontainer som kan leveres med en transformator som muliggjør tilkobling av 230 V. Den typiske ladetiden med en normallader, fra 10% til 80% på denne er 4-7 timer. På denne er effektuttaket maks 22kW per lader (reduseres ved mer enn to maskiner tilkoblet).

Normalladecontaineren inneholder fire stk AC ladeuttak av typen Zaptec Pro (Ladeplugg Type 2) i tillegg til to industriuttak (CEE). Begge ladeløsningene leveres med dynamisk lastbalansering for å unngå høye effekttariffer. I dag har Eviny 14 hurtigladere og 6 batterisystemer de kan levere. (73)

Forskjellen på Eviny sine hurtigladere og normalladere er at normalladeren leverer trygt vekselstrøm fra strømmettet til den elektriske anleggsmaskinen. Omformingen til likestrøm skjer i den elektriske anleggsmaskinen. Hurtigladeren derimot omformer vekselspenning fra nettet til likespenning med en likeretter i hurtigladeren og batteriet lades direkte. En slik ladestasjon vil lade på en høyere effekt enn en normallader (1) (74). Dette kan sees i figur 18. Fordelen med normalladeren er at dette er den rimeligste lademetoden, da selve laderen ligger i maskinen (Steffen Sangolt Hoff, Kundekoordinator Eviny Elektrifisering AS – Mobil Energi, 20.04.22, Intervju).



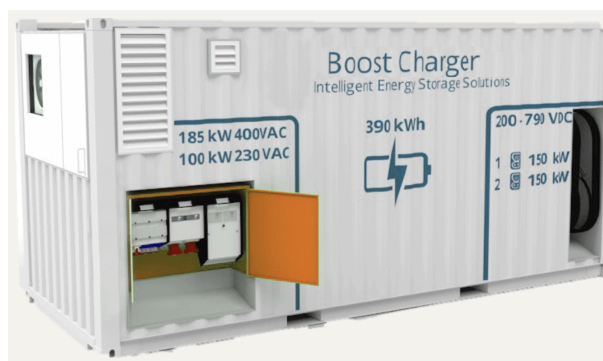
Figur 18: Forskjellen på AC og DC lading (1).

6.2.2 Ohmia Construction

Ohmia Construction er et annet selskap som spesialiserer seg på mobile energiløsninger. Selskapet leier ut batteribanker til anleggsplasser. Batteribankene kobles direkte til eget byggestrømskap. Ohmia Construction sin største løsning er battericontaineren *BoostCharger* (figur 19), med en lagringskapasitet 390 kWh som inneholder 2 stk 150 kW CCS hurtigladningskabler.

Denne kan lades direkte fra 230 V IT-nett eller 400 V TN-nett. Ohmia hadde i januar 2022 fire battericonteinere av typen *BoostCharger*, men har bestilt ytterlige 23 stk (75). Den minste løsningen deres *Hummingbird* (figur 20) er levert på tilhenger og har en lagringskapasitet på 190 kWh med en 150 kW CCS2-kabel. Denne kan opplades med *BoostCharger* eller på 400 V nett. Det er en stor fordel at denne blir levert på tilhenger, da det er bedre å flytte ladestasjonen til maskinen, enn å flytte maskinen til ladestasjonen. Det kreves mer ressurser å flytte containeren. Det er viktig å tenke på at dersom løsningene står for langt unna tilkoblingspunktet (opp mot 100 meter) vil ledningstapet bli merkbart.

Begge løsningene kan også fungere off-grid i korte perioder og vil derfor være gunstige i små prosjekter, der det ikke er tilgang på strøm. Begge batteriløsningene blir ferdigstilt av NordicBooster og batteriene er produsert av Samsung SDI i Tyskland. Det er Ohmia Construction som er ansvarlig for planlegging, idriftsettelse, drift, vedlikehold og service. Brukerne vil bli opplært i systemet og får kun lov til å bruke plugger. Opplæringen skjer i form av fysisk opplæring på byggeplass og e-læringskurs (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Intervju).



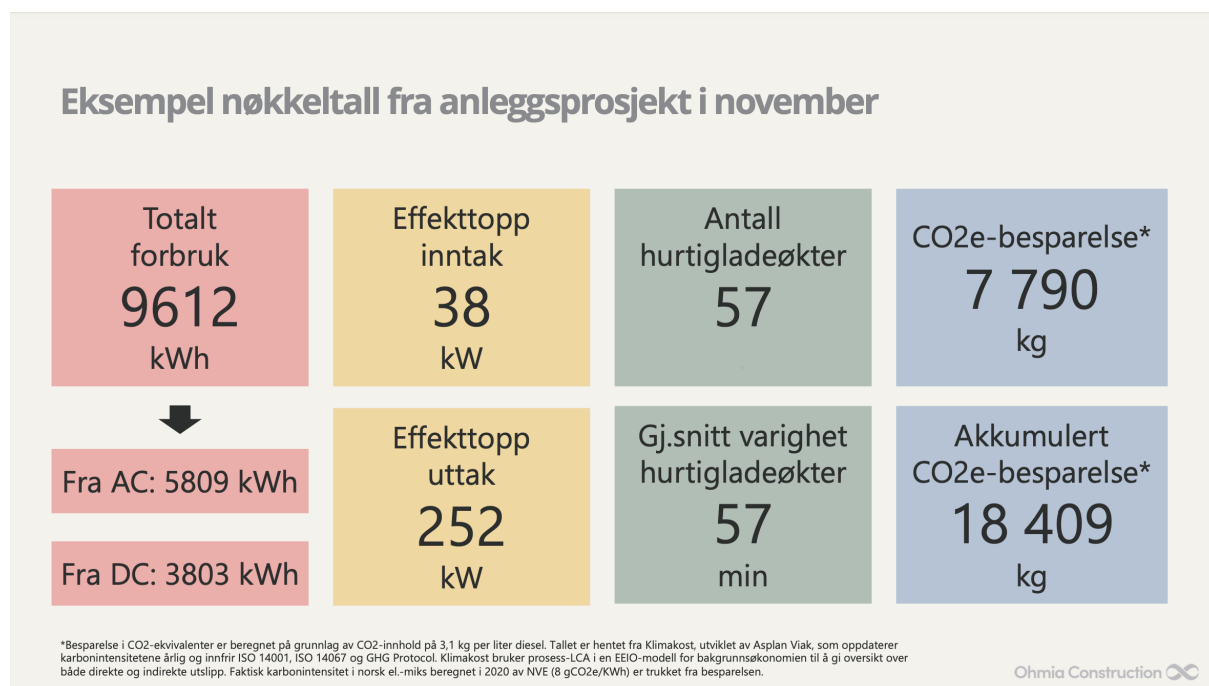
Figur 19: BoostCharger fra Ohmia Construction (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).



Figur 20: Hummingbird fra Ohmia Construction (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).

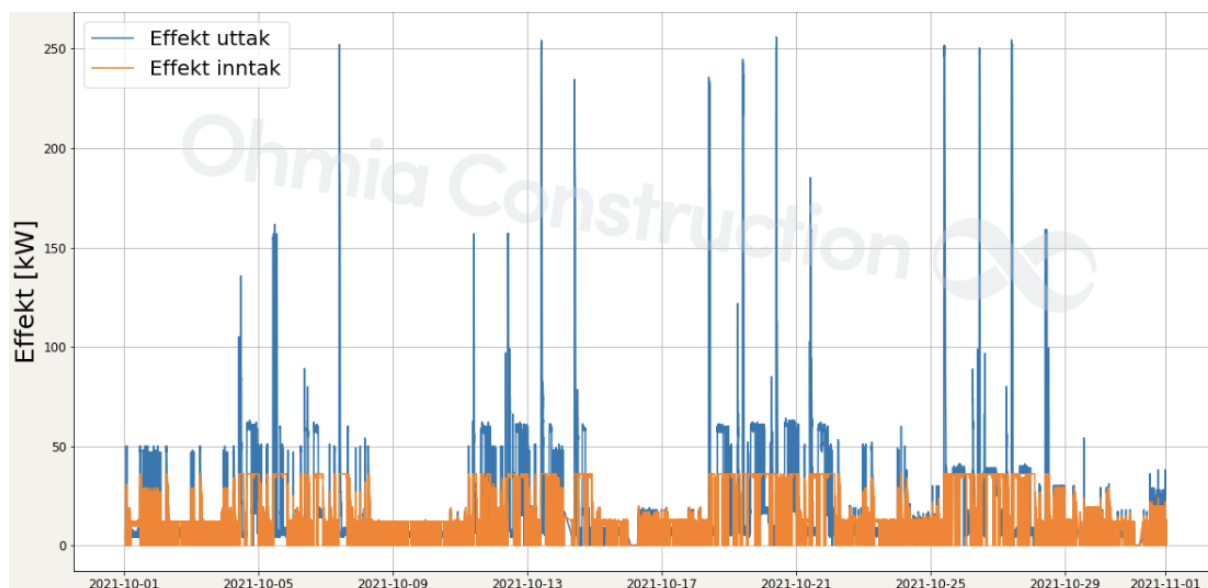
6.3 Peak shaving

Batteribankene fungerer som en peak shaver ved å hente strøm jevnt fra strømnettet. Leverandørene Eviny og Ohmia Construction ser på hvordan de kan bidra enda mer til å redusere effekttoppene i nettet. Å lade batteribankene når det er god kapasitet på strømnettet vil være ideelt for å hindre eventuelle topper. Dette vil også være med på å redusere nettleien. Det vil derfor være gunstig dersom batteribankene blir ladet på nattetid, og en unngår å lade når nettet er høyt belastet. Dette passer bra for de fleste bygge- og anleggsplasser, da arbeidet foregår på dagtid. Tidsbruken på opplading av batteribanken varierer med størrelse på batteripakke og hvor mye strøm som kan hentes ut fra nettet. Dette må tas hensyn til, slik at batteriene er ferdigladd til arbeidet begynner.



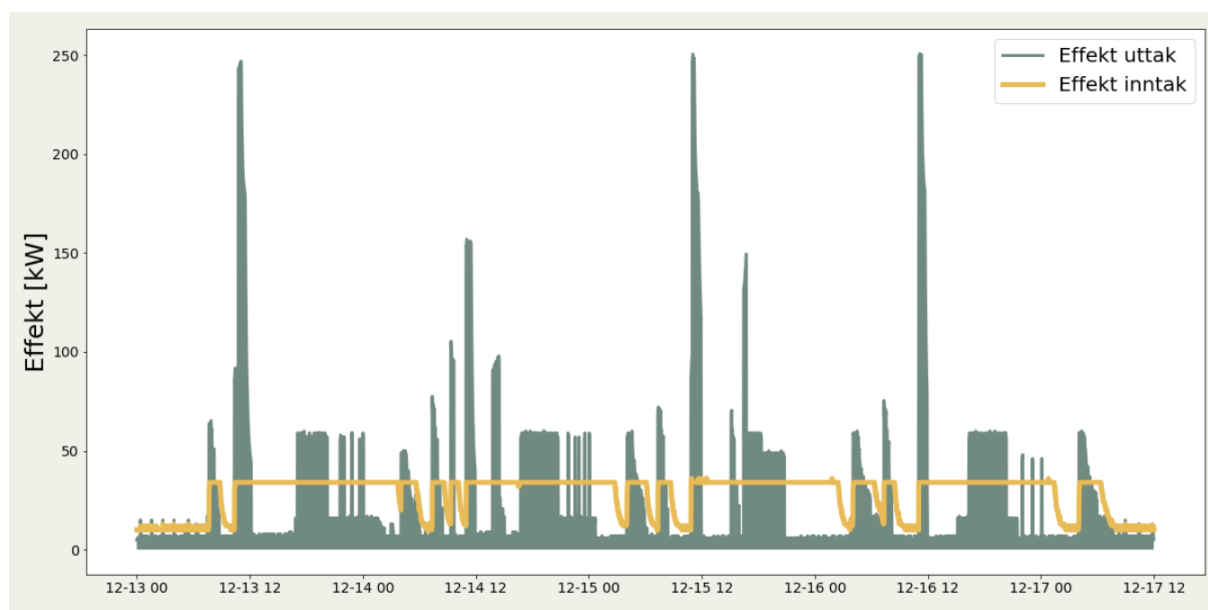
Figur 21: Eksempel nøkkeltall fra anleggsprosjekt i november (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).

I figur 21 så reduseres effekttoppene på nettet betraktelig med ladecontainere levert av Ohmia Construction, samtidig som effekten på uttaket er høyt og gir rask hurtiglading. Selv om en vil bruke mer effekt ved opplading av et batteri på grunn av tap, enn å ta effekten direkte fra nettet, så er det fortsatt mer lønnsomt å bruke batteribanker. Uten batteribank vil effekttopper være belastende på strømmettet. Selskapene Eviny og Ohmia Construction rapporterer også om lave tap ved lading av batteriene, både fra direkte lading av batteriene og tap i kabler (Steffen Sangolt Hoff, Kundeordinator Eviny Elektrifisering AS – Mobil Energi, 20.04.22, Intervju), (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Intervju).



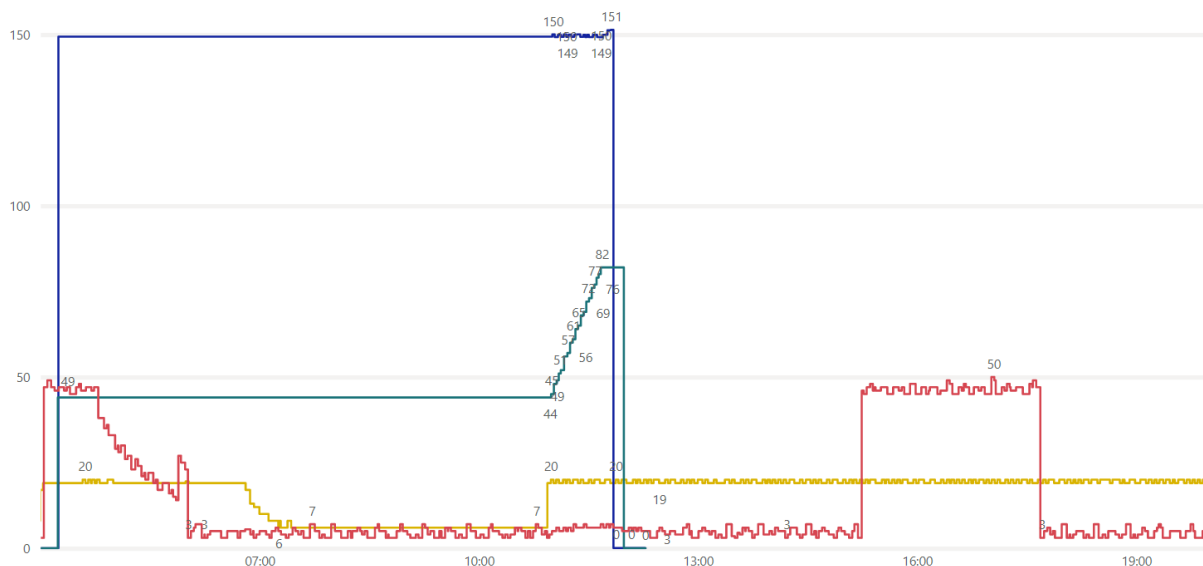
Figur 22: Peak shaving med BoostCharger reduserer nettuttaket ved lading betydelig på prosjektet på Petersrønningen (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Epost).

I figur 22 ser en at strømmettet blir spart for betydelige effekttopper ved bruk av battericontaineren BoostCharger fra Ohmia Construction, samtidig som containeren drar maksimalt rundt 36 kW fra nettet. De høyeste effekttoppene forekommer når to maskiner lades samtidig. Figuren viser uttak og inntak over en måned.



Figur 23: Peak shaving fra BoostCharger reduserer nettuttaket ved lading betydelig (27).

I figur 23 ser en effektuttak og effektinntak over en periode på en uke. I dette eksempelet trekker BoostCharger jevnt 37 kW. En kan også se at de høyeste effekttoppene i uttaket foregår i matpausene. Når arbeidet er ferdig for dagen trekker batteribanken lavere effekt over en lengre tidsperiode.



Figur 24: Peak-shaving fra BoostCharger reduserer nettuttaket ved lading betydelig.

Gul: effektinntak [kW].

Rød: AC-uttak [kW].

Grønn: SOC under hurtiglading på maskinen [%].

Blå: Effektuttak under hurtiglading [kW].

(Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 29.04.22, Epost)

I figur 24 kan en se en mer detaljert fremvisning av hvor lenge maskinen blir hurtigladet, effekten på uttaket under hurtiglading og hvor mange prosent maskinen oppnår av hurtigladingen. Den viser også inntak til containeren og AC-uttak. Merk at hurtigladingen starter 10.58, selv om kurven indikerer tidligere startpunkt. Merk også at overvåkingen av SOC ikke begynner før 10.58, selv om kurven indikerer tidligere startpunkt.

6.4 Pris

Løsningen til Ohmia Construction leveres med fastpris (inkl. nettleie). Ohmia Construction begrunner dette med at det blir lettere for entreprenørene å planlegge kostnadene på forhånd, noe som er viktig da anbudene blir lagt inn lenge før

prosjektstart (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Intervju). Løsningen til Eviny kan leveres både med eller uten strømvartale (Steffen Sangolt Hoff, Kundeordinator Eviny Elektrifisering AS – Mobil Energi, 20.04.22, Intervju). Det er ingen av leverandørene som vil oppgi pris, siden de ønsker være konkurransedyktige. Eviny og Ohmia Construction tilbyr effektkalkulator på nettsiden, slik at en kan lage en antagelse av hvor mye effekt som trengs.

6.5 Erfaringer med hurtiglading, normallading og batteribanker

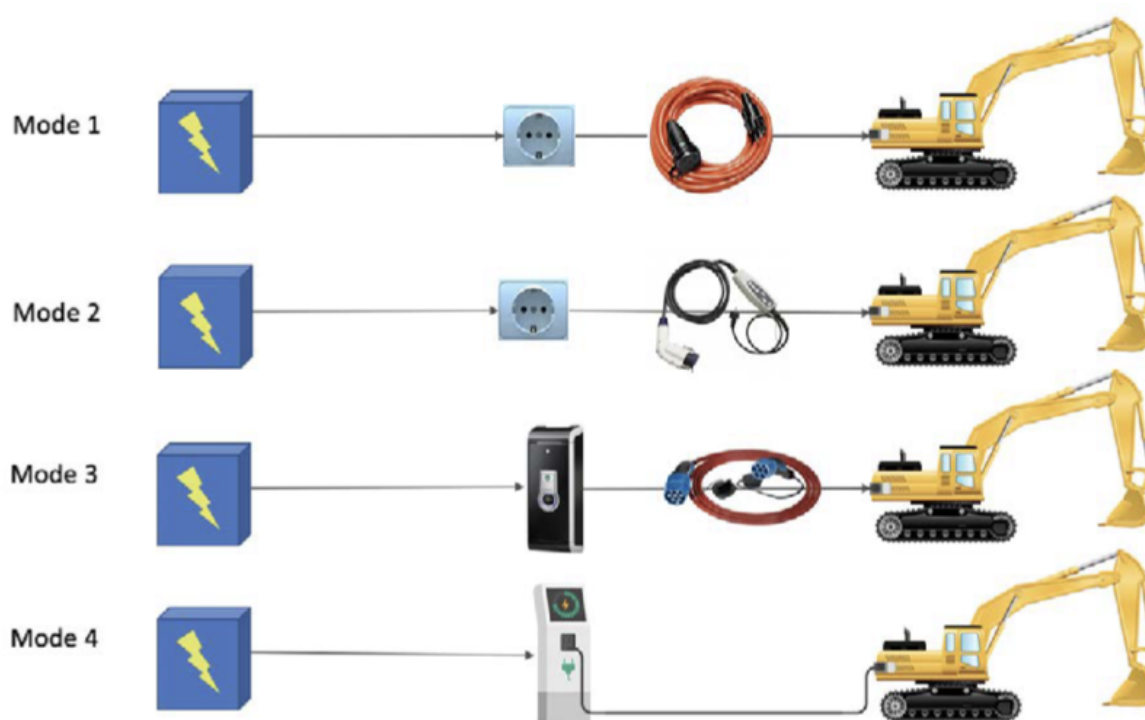
Etter intervjuer med både Eviny og Ohmia samt flere byggherrer, viser det seg at disse mobile ladeløsningene er et godt hjelpemiddel på anleggsplasser, der strømmettet har en lav kapasitet. Dette det blir ansett som et nyttig verktøy, fordi systemene bidrar til peak shaving. I en rapport fra SINTEF kom det frem at utbyggerne av Fornebubanen mente at mobile batteribanker var et vippepunkt for elektrifiseringen av anleggsplasser (29). Det var i følge dem kritisk at en elektrisk anleggsmaskin kunne jobbe gjennom en hel arbeidsdag, og dette var mulig når man kunne hurtiglade i lunsjpausene.

Ladelogistikken er et viktig punkt på en utslippsfri anleggsplass. I en rapport fra SINTEF kommer det frem at entreprenørene på anleggsplasser med utslippsfrie anleggsmaskiner mener at ladelogistikken ofte ikke er god nok. utfordringene kan være at det er mange maskiner som skal lades samtidig i lunsjpausen, og da er det ikke nok tilgjengelige hurtigladere. En annen utfordring er at kablede maskiner sammen med batterigående maskiner kan skape problemer bruksmessig og plassmessig. Eviny og Ohmia Construction tar også seg av frakt av batteribankene til og fra bygge- og anleggsplasser. De kan også håndtere flyttingen av de inne på bygge- og anleggsområde. Dette er essensielt for særlig gravemaskiner, som bruker mye energi på betling.

Ohmia Construction oppgir også at de må justere softwaren på ladesystemet for hver gang det blir brukt en ny type elektrisk anleggsmaskin, selv om ladesystemet og anleggsmaskinen opererer med samme protokoller. Altså det er ingen standard kommunikasjonsløsning. I tillegg opplyser Eviny om at dårlig spenningskvalitet gjør det vanskelig å synkronisere systemet opp mot det foranliggende nettet, da teknologien er sensitiv for ujevnheter.

6.6 Lastbalansering og lademodus

Lastbalansering ved lading av de batterielektriske anleggmaskinene er viktig for å kunne forhindre effekttopper. Det vil si at dersom alle maskinene lades samtidig så vil tilgjengelig effekt fordeles likt mellom dem, slik at en unngår effekttopper. Men for at denne funksjonaliteten skal fungere må maskinen ha Mode 3 eller Mode 4 ladeløsning. Dersom maskinene ikke har mulighet for disse lademodusene, men bruker Mode 1 eller Mode 2, så vil effekten til ladingen bli levert uavhengig om det er kapasitet eller ikke. Det vil også være ingen/få sikkerhetstiltak ved bruk av disse modusene (76).



Figur 25: Ulike lademodus (1).

- **Mode 1:** AC-lading med standard kontakt uten sikkerhetstiltak.
- **Mode 2:** AC-lading med standard kontakt der sikkerhetsutstyret er plassert mellom det elektriske kjøretøyet og kontakt.
- **Mode 3:** Tilsvare AC-lading for kjøretøy på forsyningsutstyr (EVSE) som er permanent koblet til det elektriske anlegget. Maskinen må da ha Type 2 kontakt og lader (standard i Europa) som har mulighet for å håndtere signaliseringen med forsyningsutstyret (ladestasjonen).

- **Mode 4:** Tilsvarende DC-lading med kontrollsignal, og standardene her er CHAdeMO og CCS. Fordelen med CCS er at den kombinerer AC og DC i en kontakt.

(1)

Som en kan se i figur 26 kan en både bruke Type 2 kontakt og kontakt til DC-lading i en CCS ladestasjon. Det finnes flere typer CCS kontakter, men i Europa er det vanlig å bruke den som kan tilkobles AC-lading med Type 2. Hurtigladerene til Eviny og Ohmia Construction inneholder denne standarden. Det finnes ingen standardisert løsning for lading av anleggsmaskiner, men dette ser ut til å bli den foretrukne løsningen, både av sikkerhetsmessige og tidsmessige årsaker.



Figur 26: CCS (28).

6.7 Brannfare i batteribanker

Det er liten sannsynlighet for at det vil oppstå brann i et LIB, men dersom det oppstår så vil konsekvensene være store. Ladeteknologien går fort frem og det er vanskelig for regelverk å holde tritt i dag. Det blir sett lite krav og regler for sikkerhet og HMS på anleggsplasser, ved bruk av batteribanker og hurtigladerne. For å forebygge eventuelle skader på nærliggende materiell, bør de plasseres de med god sikkerhetsavstand.

Batteriene i dagens batteribanker fra Eviny og Ohmia Construction er av typen litium-ion (Steffen Sangolt Hoff, Kundeordinator Eviny Elektrifisering AS – Mobil

Energi, 20.04.22, Intervju), (Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Intervju). Ved brann i et slikt batteri vil det slippes ut giftige røykgasser og være eksplosjonsfare. Gassen som dannes i batteriet antennes og batteriet brenner på en eksplosjonsartet måte. Eksplosjonsfaren og graden av giftighet til røykgassen er avhengig av metaller og komponenter som er brukt i batteriet. Dersom temperaturen i batteriet kommer over en grenseverdi så vil det oppstå en kjemisk reaksjon i batteriet, og batteriet vil da være egenforsynt med oksygen. Grenseverdien ligger om lag på 175 til 200 °C. Dersom denne kjemiske reaksjonen oppstår vil slukningsarbeidet bli ekstremt krevende. Vann vil være med på å kjøle ned batteriet, men det vil likevel kunne ta flere dager før brannen blir slukket. Vannet må videre håndteres på en sikker måte, da vannet kan binde seg til giftstoffer fra batteriet og avgasser (42).

En eventuell brann i tunnel vil kunne medføre store konsekvenser da slukningsarbeidet vil være vanskelig, da det er mangel på plass og vanntilførsel i tunneller. Det vil være vanskelig å få nok ventilasjon i en tunnel, slik at slukningsarbeidet kan gjennomføres tryggere.

Ohmia Construction har lagt inn flere sikkerhetstiltak i sine containere for å redusere sannsynligheten for at en brann skal oppstå i batteriet og omfanget av en eventuell brann. Tiltak i Ohmia Construction sine ladecontainere :

- Containerene er EI60 brannisolert. Det vil ta minst 60 minutter før en eventuell brann tar seg gjennom skroget.
- Containerne har brannstuss for enkel tilkobling av vannslange.
- Sensorer som måler temperatur, gass og hydrokarboner og alarmer.
- Ved oppdaging av brennbare gasser vil ventilasjonsspjeldene med EX-godkjente vifter åpnes og tømme containeren for luft for å unngå eksplosjon.

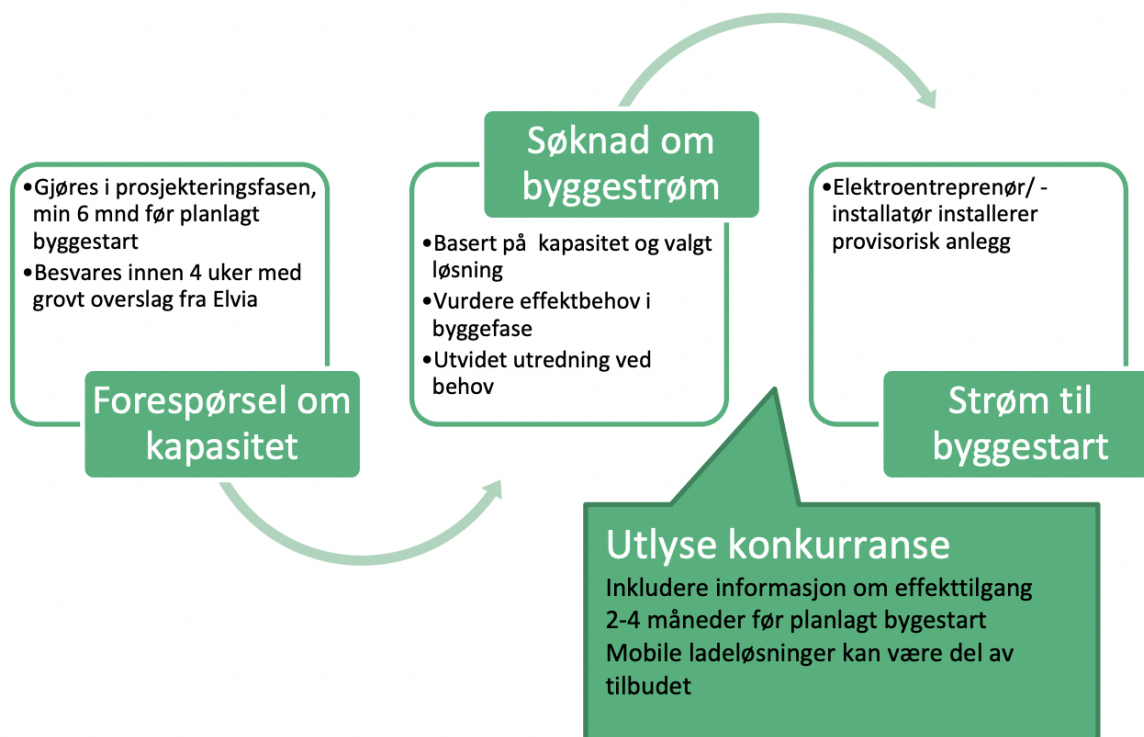
(Håvard Dahl Mediaas, Prosjektleder Ohmia Construction, 31.03.22, Intervju)

7 Organisatoriske forhold

Dette kapitlet vil ta for seg organisatoriske forholdene rundt utslippsfrie bygge- og anleggsplasser.

7.1 Rådgiverens rolle

Rådgiveren har mye kunnskap som bør utnyttes. Det er viktig at en rådgiver kommer tidlig inn i planleggingsfasen og ser hvilke utfordringer som vil oppstå. Det er også viktig at rådgiveren er godt oppdatert på tilgjengelig teknologi.



Figur 27: Prosessbeskrivelse byggestrøm, hentet fra erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser (29).

Når det blir lagt ut anbud fra byggherre er det viktig at det kommer tydelig frem i anbudet hvor stor andel som skal være utslippsfritt, og hvor mye dette vektes i tildelingskriteriene. Det må komme frem hvor mange maskiner som skal være elektriske og hvor mange driftstimer det er krav om at maskinene skal bli brukt (Carolina Hagen,

Byggeleder Trondheim kommune, 29.03.22, Intervju). Det må også gjøres en vurderingen om hva som vil være den største bidragsyteren for klimagassutslipp. Det kan for eksempel være massehåndtering som står for størst utslipp eller drifting av byggeplass som gjør det.

I store prosjekter som skal foregå over flere år kan det komme ny teknologi underveis som vil være hensiktsmessig å bruke på anleggsplassen. Derfor bør det være krav om at dersom ny teknologi kan være gunstig for miljøet, må det bli tatt i bruk. Dette kan være alt fra hydrogendrevne aggregater til mer effektive litiumbatterier.

I utslippsfrie anleggsprosjekter er det viktig med god oppfølging innen miljørapportering fra byggherre. Her kan rådgiver komme med eventuelle råd og forslag til tiltak som kan gi forbedring. Det er lurt å sette mål for rapporteringen, og desto mer konkret og målbart det er, desto lettere vil det være å følge opp (77).

Det er viktig at rådgiveren er en pådriver for utslippskutt. Rådgiveren må komme med gode argumenter for den positive effekten dette vil ha for miljøet, og hvilken gevinst det vil gi på sikt. Dette gjelder for både byggherre og entreprenører. Det kan være mange ulike forventninger fra byggherre til rådgiver og motsatt. Det kan da være en god idé å lage en forventningsavklaring tidlig, slik at man kommer på samme bølgelenge.

Det vil være mange utgifter knyttet til en utslippsfri anleggsplass. Det vil da være lurt å se på hvem som skal stå ansvarlig for dem. Det kan da være rådgiveren sin rolle å tidlig se de kostnadene som vil påløpe, og ikke minst presentere dette for de involverte (Ellen Ramsnes, Rådgiver anlegg og infrastruktur SINTEF, Intervju, 20.04.2022).

På en utslippsfri anleggsplass vil det være mye nytt utstyr som vil være ukjent for arbeiderene, og knyttet til dette vil det være større sannsynlighet for uhell. Mange av dagens sikkerhetstiltak kommer nemlig av erfaringer fra tidligere uhell. Det en rådgiver må gjøre er å se hva de nye maskinene vil tilføye en arbeidsplass.

Et eksempel på dette kan være det at elektriske gravere er mer stillegående, som kan gi positive og negative virkninger. Det kan for eksempel være at det blir lettere å få kontakt med fører av maskinen, da vedkommende mest sannsynlig vil høre at noen roper for å varsle. Det vil derimot være vanskelig å høre om det er bevegelse på en av maskinene og det kan lettere forekomme slag- og klemskader. Det vil være naturlig for rådgiver å se på andre områder som lading, bruk av litiumbatterier, byggestrøm og kablede gravere da dette er nytt på utslippsfrie anleggsplasser.

7.2 Miljøpakken

Miljøpakken er en samarbeidsavtale for å skape bedre transport, mindre utslipp og kork. Den består av Trondheim, Melhus, Malvik og Stjørdal. Partene i miljøpakken har nå skapt en felles ambisjon om at alle prosjekter innad i miljøpakken skal være utslippsfrie innen 2025. Målet med dette er å få fortgang på det grønne skiftet i bransjen. Det vil også gi forutsigbarhet og trygghet til entreprenørene som må investere i nye anleggsmaskiner. Trondheim kommune har tidligere fortalt at det i dag er vanskelig å stille krav til at bygge- og anleggsplassene skal være fullstendig utslippsfrie, da det skal være fri konkurranse mellom entreprenørene. Altså kommunen har ikke lov til å favorisere entreprenører. Med kravene til Miljøpakken vil det bli enklere å stille disse kravene hos entreprenørene (78) (Carolina Hagen, Byggeleder Trondheim kommune, 29.03.22, Intervju).

Trondheim kommune har også laget en bonusordning til entreprenørene for å vektlegge miljø. Denne bonusordningen baserer seg på at entreprenørene må levere en fast andel miljøvennlig, og dersom de klarer mer vil de få en bonus. Bonusordningen er med på å redusere klimagassutslippene, samtidig som det fortsatt er fri konkurranse mellom entreprenørene (Carolina Hagen, Byggeleder Trondheim kommune, 29.03.22, Intervju).

7.3 Økonomiske forhold

Internasjonalt er det i dag lav etterspørsel på elektriske anleggsmaskiner, og det tilbys derfor et lite utvalg av elektriske anleggsmaskiner på markedet. Dette gjør at investeringskostnaden på elektriske anleggsmaskiner er høy. Imidlertid er det mulig å søke støtte fra Enova, for inntil halvparten av merkostnadene. I løpet av det siste året (april 2021 - april 2022) støttet Enova 31 prosjekter med kjøp av elektrisk gravemaskin (79).

Flere av dagens anleggsmaskiner blir ikke produserte som elektriske, de blir levert med eller uten dieselmotor fra leverandør, og deretter ombygd til elektrisk. Dette er med på å øke merkostnadene. For at det skal forkomme mer serieproduksjon av elektriske anleggsmaskiner er det viktig at det skjer en endring i etterspørsel internasjonalt. Det holder ikke at det bare er etterspørsel etter dette i Norge. Hitachi som er maskinprodusenten til Nasta AS, antar å levere serieproduserte elektriske gravemaskiner i løpet av høsten 2022 (Sjur Wethal, Seniorrådgiver Nasta AS, 24.03.22, Intervju).

Prisen for strøm billigere enn fossilt drivstoff. I eksempelet under kan en se et anslag på hvordan differansen i pris for driftskostnader vil være for maskiner med ulike teknologier.

7.3.1 Utgifter drivstoff og strøm

Type teknologi	Priser	Energitetthet	Kilder
Anleggsdiesel	19,88 kr/L	10,1 kWh/L	(80)* (81)
Hydrogen	108 kr/kg	33 kWh/kg	(82) (47)
Strøm (inkl. nettleie)	1,648 kr/kWh	-	(83)**

Tabell 5: Priser (inkl. mva) og energitetthet. *Pris fra 03.05.22. **Gjennomsnitt hele landet 4. kvartal 2021.

Priser per kWh

Anleggsdiesel:

$$\frac{19,88kr/l}{10,1kWh/l} = 1,97kr/kWh \quad (4)$$

Hydrogen:

$$\frac{108kr/kg}{33kWh/kg} = 3,27kr/kWh \quad (5)$$

7.3.2 Priseksempel

I dette eksempelet vil det tas utgangspunkt i den dieseldrevne maskinen Zeron Beltegraver ZX210-7 fra Nasta AS. Maskinen er 23,7 tonn og har en motoreffekt på 128 kW, både for dieseldreven og elektrisk versjon. Den elektriske versjonen kalles Zeron ZE210 og er en ombygd ZX210-7 (84) (85). Denne modellen kommer med en kombinasjon av kabel- og/eller batterielektrisk drift. Det finnes ingen hydrogenversjon av denne maskinen i realiteten, men det blir skapt en fiktiv versjon for eksempelets skyld. Det antas at maskinen driver med normalt arbeid og at motoren går på en effekt på 75 kW over 4 timer, det vil si totalt 300 kWh. Det er det samme som batteristørrelsen til den elektriske versjonen.

Formel for sluttsum

$$Sluttsum[kr] = \frac{P[kWh]}{\eta} * Pris[kr/kWh] \quad (6)$$

Type teknologi	Energikilde	Pris [kr/kWh]	Virkningsgrad	Sluttsum [kr]
Dieseldreven gravemaskin	Anleggsdiesel	1,97	30% (86)	1970
Batteri og brenselcelle	Hydrogen	3,27	50% (86)	1962
Kabelelektrisk	Strøm	1,648	95% (86)	520,4
Kabel og/eller batteri	Strøm	1,648	92% (86)	537,4
Batterielektrisk	Strøm	1,648	85% (86)	581,6

Tabell 6: Utgifter drivstoff.

I tabell 6 er strømutfiftene betydelig lavere enn diesel og hydrogenutfiftene. Det antas at differansen mellom strømutfifter og anleggsdiesel vil øke, da ikke-kvotepiktig utslipp vil øke til om lag 2000 kr per tonn CO₂-utslipp i 2030 (15). I 2022 er CO₂-avgiften på 2,05 kr/l diesel, men i 2030 vil den være på om lag 5,92 kr/l diesel (87)(88). Det er derimot ingen garanti for at differansen øker, da strømprisene antas å øke med hensyn på kraftsituasjonen i Europa. Derimot må strømprisene øke mye før de totale strømutfiftene vil bli høyere enn utfiftene på anleggsdiesel. Hydrogenprisene anstas å synke mye, og de kan synke opp mot 60% de neste åtte årene (89).

Nasta har en tommelfingerregel på at strømkostnadene er 1/3 av drivstoffkostnadene (Sjur Wethal, Seniorrådgiver NASTA AS, 24.03.22, Intervju). I eksempelet her er en kommet frem til at strømkostnadene er 29.52% av drivstoffkostnadene, dersom en tar utgangspunkt i strømprisene knyttet til en batterielektrisk gravemaskin. Dette stemmer godt overens med Nastas anslag.

7.3.3 Prisdifferanser mellom strøm og anleggsdiesel

I vedlegg A om prisdifferanser mellom dieselkostnader og strømkostnader, kan en se hvor stor andelen i prosent, strømkostnadene til en batterielektrisk gravemaskin vil være sammenlignet med kostnadene for anleggsdiesel. Vedlegget viser strømpriser fra 20 øre/kWh til 7 kr/kWh og anleggsdieselpriser fra 18,50 kr/l til 29 kr/l. De røde tallene viser når strømkostnadene vil være dyrere enn anleggsdieselskostnadene. Prisene er

inkludert MVA og strømprisen er inkludert nettleie. vedlegg A viser at ved bruk av batterielektrisk gravemaskin vil driftskostnadene være betydelig lavere i prosent, så lenge strømprisene ikke er skyhøye. Merkostnaden tilknyttet investeringen vil komme i tillegg.

Det antas at samme gravemaskiner blir brukt med samme effekt og antall timer per dag som i priseksempelet over, men 200 dager per år, i en periode over ti år. Det er i tillegg antatt at merkostnaden for kjøperen endte på 1.818.000 kr, etter at Enova har støttet 50% av merkostnaden (79). I vedlegg B kan en se hvor mye en vil tjene eller tape ved overgang fra fossildreven til batterielektrisk gravemaskin, ved ulike strøm og dieselpriiser. Vedlegget viser samme strømpriser og anleggsdieselpriiser som i vedlegg A. Tallene som er markert i rødt indikerer når en vil tape på å investere i batterielektrisk. I vedlegg B kan en se at selv med høyere investeringskostnader vil en trolig tjene på å bytte til batterielektrisk, pga. lavere driftskostnader.

Merk at det ikke er tatt hensyn til kostnader knyttet til eventuell utbygging av nettet eller ladestasjoner og batteribanker i eksemplene.

7.4 Sirkulær økonomi

For at det skal lønne seg med elektriske anleggsmaskiner er det viktig å se på hele livsløpet til maskinene, fra produksjon til resirkulering.

Per dags dato vil Enova kun gi støtte til ombygging av nye maskiner (90). I dag importerer Nasta nye elektriske gravere fra Japan og bygger de om til elektriske. Etter ombyggingen er ferdig sitter Nasta igjen med en stor dieselmotor som de ikke får brukt, som igjen påvirker den sirkulære økonomien (Sjur Wethal, Seniorrådgiver NASTA AS, 24.03.22, Intervju). I tillegg vil det forkorte leveringstiden, da en slipper å produsere og frakte en helt ny maskin.

Produksjon av LIB har et betydelig miljøavtrykk fordi batteriene som regel blir produsert i Asia med kullkraft (91). Det vil derfor være lurt om batteriene er produsert med fornybar kraft, slik at utslippene reduseres.

I en rapport fra Sintef opplyser de om at dersom en dieseldreven maskin blir ombygd til en kabel- og batterielektrisk versjon i Norge, og en antar at maskinen har 1800 driftstimer i året, så vil det totale klimautslippet gjennom hele livstiden til maskinen reduseres med 84-94 % reduksjon i klimagasser. Dette inkluderer produksjon og

transport (21).

7.5 BREEAM

Breeam sertifisering er et verktøy for å miljøklassifisere bygg (92). Et breeam sertifikat har 9 punkter som bygget blir målt på. I følge teknisk manual, BREEAM-NOR 2016 for nybygg side 36, punkt 7 (hensiktsfull bygging), blir det tildelt poeng for hensiktsfull gjennomføring på byggeplassen. Dette betyr at hvis det blir tatt hensyn med tanke på luftforurensning vil det blir tildelt poeng (93). BREEAM vil gjelde alle bygge- og anleggsplasser, ikke bare utslippsfrie.



Figur 28: Breeam sine 9 punkter for klassifisering (30).

7.6 Andre forhold

7.6.1 Opplæring

For at elektriske anleggsmaskiner skal fungere i praksis vil det være viktig at brukerne av anleggsmaskinene er godt opplært i bruken av maskinene. Volvo maskin gir brukerspesifikk opplæring ved utlevering av elektriske anleggsmaskiner. Det vil også være viktig med en holdningsendring i bransjen, da det ikke er alle maskinførere som er villig til å kjøre elektriske anleggsmaskiner. For å få til en holdningsendring kan det være lurt at unge nyutdannede maskinførere sitter bak spakene til en elektrisk graver. Dette kan føre til at de andre medarbeiderene ser brukervennligheten og gevinsten ved bruk av slike maskiner.

7.6.2 Samarbeid og kommunikasjon

For å kunne løse utfordringen som omhandler lav kapasitet på strømmettet vil den enkleste og ofte beste løsning være å komme så tidlig som mulig i dialog med nettselskapet. Før dette skjer må man utarbeide et presist anslag på hvor mye effekt som vil kreves. Dette gjør det lettere for nettselskapet å gi et svar på om det er mulig eller ikke. Hvis svaret fra nettselskapet er at det ikke lar seg gjøre, så har man god tid på å finne alternative løsninger.

7.6.3 Muligheter fra myndighetene

Det er også viktig for byggherrene at myndighetene kommer med tydelig retningslinjer og regler for bruk av ulike typer maskiner på forskjellige steder. Et eksempel på dette kan være retningslinjer for bruk av hydrogen og store batteribanker inne i tuneller.

Det er ønskelig at kommuner går foran som eksempler og begynner å etterspørre elektriske maskiner i større grad. Når etterspørselen går opp må importørene av elektriske maskiner levere mer. I dag er det en generell mangel på elektriske anleggsmaskiner så dette er et viktig punkt. Markedet må rett og slett bli mye større enn det er i dag, og det må bli flere aktører som distribuerer slike maskiner.

8 Regneeksempel

Dette kapitlet vil ta i bruk kunnskapen som gruppen har tilegnet seg om utslippsfrie bygge- og anleggsplasser, og anvende den i et regneeksempel. Hensikten med eksempelet er å vise hvordan et utslippsfritt bygge- og anleggsprosjekt kan se ut i praksis, samt å få vist mer faglig kompetanse.

8.1 Forutsetninger

Eksempelet er fiktivt. Alle data som er brukt er enten hentet fra lignende prosjekter eller basert på egne antagelser. Transformatordata er hentet fra en faktisk transformator i et sentrumsnært område, og ble gitt av Linea AS (sensitive data er sladdet bort av hensyn til nettselskapets interne retningslinjer). Sentrale forutsetninger for eksempelet er listet opp under:

- Eksempelet er skrevet fra rådgiverens perspektiv. Andre involverte parter er byggherre, entreprenør og leverandør.
- Det antas at kapasiteten i nettet foran transformator er tilstrekkelig. Eksempelet tar for seg installasjonen fra og med nærmeste transformator, til og med påkoblet last.
- Det antas at påkoblet last er blandet induktiv i byggefasen av prosjektet, på grunn av elektriske motorer i anleggsmaskinene. Det antas en effektfaktor på $\cos \varphi = 0,8$ (94).
- Det antas en effektfaktor på $\cos \varphi = 0,8$ ved høyeste kortslutningsstrøm og $\cos \varphi = 0,9$ ved laveste kortslutningstrøm.
- Kabelene mellom transformatoren og første fordeling er beregnet. Vernet som skal beskytte disse kablene er ikke dokumentert, da dette er nettselskapets ansvar.

8.2 Prosjektbeskrivelse

En byggherre ønsker å utvikle et sentrumsnært tomteareal til boligformål. På tomten skal det bygges et bygg på 5000 m^2 i boareal, fordelt på fem etasjer, det vil si 1000 m^2

per etasje. Bygget skal huse 40 leiligheter, det vil si åtte leiligheter per etasje. I anbudsdokumentene har byggherren stilt krav til entreprenøren om at bygge- og anleggsplassen skal være utslippsfri.

8.3 Effektberegninger

Entreprenøren har nylig investert i elektriske anleggsmaskiner, og har liten erfaring med bruk av disse. I den forbindelse har han bedt rådgiveren om å bistå med effektberegninger og dimensjonering av byggestrøm til bygge- og anleggsplassen.

8.3.1 Effektbehov i bygget

Byggherren opplyser om at bygget skal ha oppvarming fra vannbåren varme forsynt av elektrisk effekt. Tidligere erfaringer i bygg med vannbåren varme viser at en kan bruke $\frac{40 W}{m^2}$ med god tilnærming for å beregne effektbehov (Fredrik V. Endresen, Sivilingeniør Norconsult AS, 21.04.22, Intervju).

Det totale effektbehovet for bygget blir:

$$5000 m^2 \cdot \frac{40 W}{m^2} = 200 kW \quad (7)$$

Det vil ikke gjøres noen mer detaljerte beregninger for selve bygget i dette eksempelet, da det ikke anses som relevant for oppgaven.

8.3.2 Effektbehov i bygge- og anleggsfasen

Entreprenøren har laget en liste over maskiner og utstyr som er planlagt å bruke i prosjektet, og har meldt behov for byggestrøm til følgende utstyr:

- 1 stk Nasta Zeron ZE350 gravemaskin på kabel
- 1 stk Nasta Zeron ZE210 gravemaskin på batteri
- 3 stk Volvo L25 kompaktlastere på batteri
- 1 stk stor tårnkran

- 1 stk stor byggheis
- 4 stk 20 fots isolerte og oppvarmede containere
- 6 stk brakker
- 1 stk batteribank på 1405 kWh

Nasta Zeron ZE350 er en 38-tonns gravemaskin som forsynes direkte fra nettet via kabel. Leverandøren anbefaler en strømtilførsel på 300 A for denne maskinen, da den kan ha et slikt strømtrekk i toppverdi (95). Det er ikke oppgitt noen effektfaktor for motoren, så denne antas lik 1 for å være på den sikre siden. Effektbehovet blir:

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

$$P = 400 \text{ V} \cdot 300 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot 1 \quad (9)$$

$$P = 207,8 \text{ kW} \quad (10)$$

Nasta Zeron ZE210 er en 24-tonns gravemaskin som forsynes av et batteri.

Leverandøren anbefaler en strømtilførsel på 125 A for lading av denne maskinen (84).

Siden ZE210 er batteridrevet, vil den ikke trekke kontinuerlig strøm fra nettet slik som ZE350, men den vil lades ved hjelp av batteribanken. Effektbehovet blir:

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad (11)$$

$$P = 400 \text{ V} \cdot 125 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot 1 \quad (12)$$

$$P = 86,6 \text{ kW} \quad (13)$$

Volvo L25 er en 5-tonns kompaktlaste som forsynes av et batteri. I databladet fra leverandøren oppgis det et effektbehov på 17,3 kW ved 32 A strømtilførsel (96).

Kompaktlastene vil lades ved hjelp av batteribanken. Av øvrig utstyr antas det et effektbehov for tårnkranen på 60 kW, byggheisen på 15 kW, containerne på 2 kW pr stk og brakkene på 2,5 kW pr stk (97).

På bygge- og anleggsplassen vil det som nevnt stå en batteribank som også trenger strømtilførsel. Denne skal brukes til lading av den batteridrevne graveren, Nasta Zeron ZE210, og de tre Volvo L25 kompaktlastene. Leverandøren anbefaler en strømtilførsel

på 125 A for batteribanken (72). Det antas en effektfaktor lik 1 også her, og vi får da det samme regnestykket som tidligere. Effektbehovet blir 86,6 kW.

En oversikt over de enkelte lastene er gitt i tabell 7. Siden effektbehovet til den ene graveren og de tre kompaktlasterne dekkes av batteribanken, tas ikke disse med i det totale effektbehovet. Batteribanken lades kontinuerlig, og må tas med i det totale effektbehovet.

Utstyr	Effektbehov [kW]	Antall [stk]
Nasta Zeron ZE350 gravemaskin	207,8	1
Nasta Zeron ZE210 gravemaskin	86,6	1
Volvo L25 kompaktlaster	17,3	3
Tårnkran	60	1
Byggheis	15	1
Containere	2	4
Brakker	2,5	6
Evinny mobil batteribank	86,6	1

Tabell 7: Effektbehov til utstyr i bygge- og anleggsfasen.

Når det gjelder samtidighetsfaktor er det vanskelig å finne relevante erfaringsdata for dette eksempelet, men det kan gjøres noen enkle vurderinger. Containerne, brakkene og batteribanken vil i stor grad ha et kontinuerlig strømtrekk. Den kabelelektriske gravemaskinen vil sannsynligvis jobbe store deler av arbeidsdagen, mens tårnkranen og byggheisen vil brukes sjeldnere. Med disse vurderingene tatt i betraktning, antas det derfor at en samtidighetsfaktor på 0,8 er passende.

Det dimensjonerende effektbehovet i bygge- og anleggsfasen blir da:

$$\sum P = 0,8 \cdot (207,8 + 60 + 15 + 2 \cdot 4 + 2,5 \cdot 6 + 86,6) \text{ kW} = 313,9 \text{ kW} \quad (14)$$

Belastningstrømmen blir:

$$I_b = \frac{P}{U_n \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad (15)$$

$$I_b = \frac{313,9 \text{ kW}}{400 \text{ V} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8} \quad (16)$$

$$I_b = 566,3 \text{ A} \quad (17)$$

Effektbehovet i bygge- og anleggsfasen blir altså ca. 50% større enn det permanente effektbehovet til bygget. Det skyldes hovedsakelig de elektriske anleggsmaskinene. En konsekvens av dette er at en må benytte byggestrømmen også etter at den permanente forsyningen til bygget er etablert, siden denne ikke vil ha tilstrekkelig kapasitet.

8.3.3 Kapasitet i transformator

Nærmeste transformator ligger tett på tomteområdet som skal utvikles, og nettselskapet har oppgitt transformatordata for denne. Transformatoren har en ytelse på 1600 kVA og en belastningsgrad på ca. 35%.

Tilgjengelig kapasitet i kVA blir da:

$$S = 1600 \text{ kVA} \cdot (1 - 0.35) = 1040 \text{ kVA} \quad (18)$$

Det antas en effektfaktor på 0,8. Tilgjengelig kapasitet i kW blir da:

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (19)$$

$$P = 1040 \text{ kVA} \cdot 0,8 \quad (20)$$

$$P = 832 \text{ kW} \quad (21)$$

1	2	3	Spøringsinformasjon	Beregningsdata	Geometri	Drift	Anmerkninger	
Obj.nr.	[redacted]	Komp.type	FORDELINGSTRANSFORMATOR			M/L	M	1/4
Plassering	[redacted]					Spenning	22.000 kV	
Kn.pkt. 1	[redacted]	Kn.pkt. 2	[redacted]					
Driftsmrk.	M104	T1	[redacted]	[redacted]	Sone	[redacted]	[redacted]	
Eier	[redacted]	[redacted]	Kommune	[redacted]	Seksjon	[redacted]	[redacted]	
Kodenøkkel	KABELNETT							
Fabrikat	MØRE TRANSFORMATORF.			Merkeytelse	1600 kVA			
Typebetegnelse	OTK8578			Fabrikat nr.	0902482			
Fabrikasjonsår	2009			Dato monteret/lagret (omtrentlig)	22.12.2009			
Trinnkoperstill. sist avlest	(dato, fortr.vis YYYY-MM-DD)							
Trinnkoperstill.	22.000 kV			Regulering plus	2	x	2.50 %	
Koplingsgruppe	Dyn11			Regulering minus	2	x	2.50 %	
Merkespenn.	H.vikl.	22.000 kV	L.vikl.	415 V				
Merkestrøm	H.vikl.	41.99 A	L.vikl.	2226 A	3-vikl.trafo?	<input type="checkbox"/>		
Alt. merkesp.	H.vikl.	0.000 kV	L.vikl.	0.000 V	Overg.trafo?	<input type="checkbox"/>		
Alt. merkestr.	H.vikl.	0.00 A	L.vikl.	0 A				
Høysp.-gjennomføring	[redacted]							
Anmerkninger	Varistorer på lavsp.?						<input type="checkbox"/>	

Figur 29: Transformatordata (Bård Svendsen, Ingeniør Linea AS, 25.03.22, epost).

1	2	3	Spøringsinformasjon	Beregningsdata	Geometri	Drift	Anmerkninger
Obj.nr.	[redacted]						
Pålitelighetsdata :							
Feilhyppighet, vanige feil	0.0000	feil/år	Alderskorreksjon for feilhyppighet, k1:	0.0000			
Feilhyppighet, forbigående feil	0.0000	feil/år	Alderskorreksjon for feilhyppighet, k2:	0.0000			
Beregningsresultater :							
Beregnet dato	04.11.2021	[...]					
Beregnet strøm	14.70	A					
Belastningsgrad	35.02	%					
Radialdata :							
Stasjon	[redacted]						
Radial	[redacted]						
Kort navn	[redacted]						

Figur 30: Belastningsgrad transformator (Bård Svendsen, Ingeniør Linea AS, 25.03.22, Epost).

Hvis man trekker fra effektbehovet i bygge- og anleggsfasen, har transformatoren fortsatt mye ledig kapasitet, og belastningsgraden vil fortsatt være relativt lav.

Ledig kapasitet i kW blir:

$$P = 832 \text{ kW} - 313,9 \text{ kW} = 518,1 \text{ kW} \quad (22)$$

Ledig kapasitet i kVA blir:

$$S = 1040 \text{ kVA} - \frac{313,9}{0,8} = 647,6 \text{ kVA} \quad (23)$$

Belastningsgrad i bygge- og anleggsfasen blir:

$$\beta = \frac{1600 - 647,6}{1600} = 0,60 \quad (24)$$

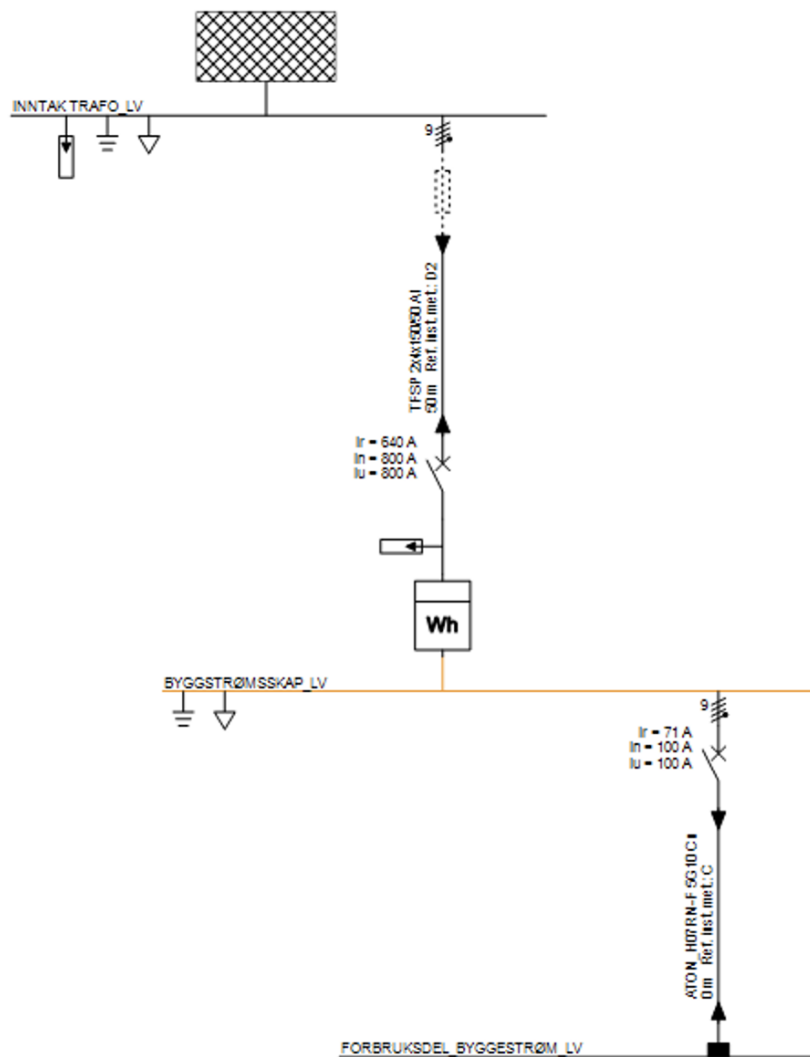
I dette tilfellet har nettselskapet lagt til rette for nye tilknytninger ved å sette inn en stor transformator, og det ble heller ikke nødvendig å oppgradere nettet foran transformatoren. I mer grisgrendte strøk, hvor strømmettet er dårligere, ville det kanskje vært nødvendig å oppgradere transformatoren, og/eller nettet foran den, for å kunne levere nok effekt.

8.3.4 Spenningskvalitet

En stor fluktuerende last, som for eksempel en elektrisk gravemaskin, kan påvirke spenningskvaliteten i strømmettet. Nettselskapet ønsker å begrense effekttoppene for å unngå spenningsvariasjoner. I dette tilfellet er kapasiteten på transformatoren så god at det sannsynligvis ikke ville vært et problem, men det er likevel gjort tiltak for å skjerme nettet. Det benyttes mobile batteribanker fra Eviny, som lader kontinuerlig på 125 A. Disse har en batterikapasitet på 1405 kWh, og kan hurtiglade anleggsmaskinene med en nominell effekt på 225 kW (72). Ved å lade maskinene gjennom batteribanken, skjermes nettet for effekttoppene.

8.4 Dimensjonering av anlegget

Anlegget er dimensjonert i Febdok, og er dokumentert i Vedlegg L. I tillegg ble hovedkursen og en utvalgt forbrukerkurs dimensjonert for hånd. Tabell 8 oppsummerer resultatene fra dimensjoneringen. Resultatene viser hvor kursene går, kabeltype, belastningsstrøm og vernstørrelse.



Figur 31: Struktur av systemet.

Kurs fra-til	Kabeltype	Belastningsstrøm	Vernstørrelse
Transformator-Byggeskap	2stk TFSP 4 · 150mm ² AL	566,34 A	ukjent
Byggeskap-samleskinne	2stk TFSP 4 · 150mm ² AL	566,34 A	640 A
Byggeskap-ZE350	ATON H07RN-F 4G150 CU	300 A	304 A
Byggeskap-tårnkran	ATON H07RN-F 4G25 CU	90,2 A	100 A
Byggeskap-containere	ATON H07RN-F 5G2,5 CU	11,5 A	16 A
Byggeskap-brakkerigg	ATON H07RN-F 5G4 CU	27 A	32 A
Byggeskap-byggheis	ATON H07RN-F 4G6 CU	27 A	32 A
Byggeskap-batteribank	ATON H07RN-F 4G35 CU	125 A	131,2 A

Tabell 8: Resultater fra dimensjonering.

8.5 Mulige feilkilder

- Transformatoren som ble brukt i eksempelet hadde lav belastningsgrad, noe som ikke alltid vil være tilfellet i bynære strøk.
- Valg av samtidighetsfaktor i eksempelet kan være noe konservativt. En samtidighetsfaktor er gjerne erfaringsbasert, men på grunn av få erfaringsdata fra utslippsfrie bygge- og anleggsplasser er det usikkert hvor nøyaktig samtidighetsfaktoren er. Det ble derfor valgt en faktor som gir litt margin. For å bestemme en reell samtidighetsfaktor er det nødvendig å ettermåle effektuttaket i anlegget.
- Effektbehovet til enkelte anleggsmaskiner er noe usikkert. Gravemaskinen ZE350 fra Nasta har i følge nettsiden deres en motoreffekt på 210 kW, og de anbefaler en strømtilførsel på 300 A for maskinen (95), da maskinen kan ha et slikt strømtrekk i toppverdi. Siden kun effektivverdi er oppgitt på strømtrekket, og ikke nominell verdi, kan det reelle strømtrekket i snitt være noe lavere. Risikoen med dette er at anlegget blir overdimensjonert, som kan føre til noe høyere kostnader.

9 Diskusjon

Store deler av oppgaven har omhandlet innhenting av informasjon og mye av det har foregått via intervjuer med entreprenører, kommuner, byggherrer og ladeaktører. Samtidig som intervjuene har vært hjelpsomme, har gruppen også hentet mye informasjon fra rapporter og relevante artikler. Det som har vært en gjenganger er at informasjonen hentet fra intervjuer og rapporter har underbygd hverandre.

På utslippsfrie anleggsplasser kan elektriske anleggsmaskiner være sentrale for å gjennomføre arbeidet. Det vil være fordeler og ulemper knyttet til disse, spesielt investeringskostander og driftskostander. En elektrisk graver har veldig høye investeringskostander sammenlignet med en fossil graver. En elektrisk graver har derimot lave driftskostander. I skrivende stund er det store forskjeller i strømpris i Norge, avhengig av hvor i landet en befinner seg. Det betyr at driftskostnaden til elektriske anleggsmaskiner også vil variere. I følge historiske strømpriser har strømprisen i Sør-Norge vært over ti ganger høyere, sammenlignet med strømpriser i Midt- og Nord-Norge.

Levetiden på en elektrisk motor er lengre sammenliknet med en dieselmotor i en gravemaskin. Likevel vil andre deler av maskinen ha lik slitasje, og vedlikeholdet av maskinen vil stort sett være likt. En annen utfordring med elektriske gravere, er at dersom det er behov for mye forflytning på anleggsplassen, vil dette kreve mye energi. De elektriske maskinene har et lavere støynivå som er bra for maskinfører og nærmiljøet, og som kan gjøre kommunikasjonen enklere mellom maskinfører og resten av anleggsplassen. Det kan derimot være lurt med flere sikkerhetstiltak, da slag og klemskader kan forekomme som resultat av å ikke høre maskinen. En utfordring med anleggsmaskiner med batteridrift kan være en redusert brukstid. Maskinene vil derimot ikke ha noen lokale klimagassutslipp i driftsfasen.

Økt effektbehov på bygge- og anleggsplassen, hovedsakelig på grunn av elektrifisering av anleggsmaskiner, skaper utfordringer i områder der hvor kraftnettet har dårlig kapasitet. En naturlig løsning kan da være å oppgradere nettet til en oppnår ønsket kapasitet, slik at en får levert nok effekt. På grunn av nettselskapenes leveringsplikt vil dette i teorien alltid være mulig. Ulempen er at det fort kan bli kostbart, spesielt dersom det må større oppgraderinger til. En annen ulempe med denne løsningen er at det ofte tar lang tid å oppgradere nettet, hvilket betyr at det må planlegges i god tid før prosjektet starter.

Ladesystemer med tilhørende energibanker kan være til hjelp dersom det er lite tilgjengelig kapasitet på nettet. Den største fordel med batteribanker kan være at en unngår effekttopper som forekommer ved direkte lading fra nettet.

Hurtigladingsstasjoner tilkoblet batteribanker som blir bruk til lading i lunsjpausen er et eksempel på god ladelogistikk, da en får lengre brukstid på maskinene. Et usikkerhetsmoment rundt batteribanker er prisen, da flere av leverandørene ikke ønsker å oppgi pris. En batteribank vil utgjøre en vesentlig brannfare ved feil. Samtidig er det brannfare knyttet til en konvensjonell dieseltank, som tidligere er brukt i anleggsbransjen. Forskjellen mellom disse brannfarene er at en brann i en batteribank tar lengre tid å slukke, sammenlignet med en brann i en dieseltank.

For å få fortgang på overgangen til utslippsfrie maskiner, er det viktig at det kommer tydelig frem i anbudene at miljø er en viktig prioritering. Dette vil vise entreprenørene at det lønner seg å investere i utslippsfrie anleggsmaskiner. Det er vanskelig å forutse hvordan sluttresultatet vil bli økonomisk med utslippsfrie anleggsmaskiner, med tanke på dagens varierende kraftsituasjon. De elektriske anleggsmaskinene krever store investeringskostnader, men de antas å være mer lønnsomme over hele driftsperioden sammenlignet med dieseldrevne. Markedet for anleggsmaskiner på hydrogen er i dag lite, og med dagens pris på hydrogen og tilhørende maskiner, så er det vanskelig å se for seg at hydrogendrevne anleggsmaskiner vil lønne seg økonomisk. Derimot vil fordelene være at en slipper de utfordringene med ladeinfrastruktur, særlig på steder som ikke har strømtilknytning. Hydrogen kan bli viktig for de største anleggsmaskinene, da hydrogen har høyere energitetthet enn LIB, noe som betyr at maskinens vekt blir lavere.

Det har i dag blitt gjennomført flere vellykkede prosjekter med utslippsfrie anleggsmaskiner, og det er viktig å ta med seg disse erfaringene videre. Det vil være viktig at entreprenørene er oppdatert på ny teknologi, siden utviklingen innen utslippsfrie bygge- og anleggsplasser går hurtig. Det er også mulig at valgt teknologi må byttes i løpet av lange bygge- og anleggsprosjekt, dersom det kommer bedre teknologi. Ny teknologi kan føre til at oppgavene løses på en mer effektiv måte. Hver bygge- og anleggsplass er unik, og det er viktig at løsningene tilpasses behovene til hver enkelt bygge- og anleggsplass.

10 Konklusjon

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser er fullt mulig å gjennomføre, og det vil være nødvendig for å nå Norges klimamål og FNs bærekraftsmål. Det vil kreve gjennomføringsvilje fra byggherre, nettselskap, entreprenør og rådgiver. Godt samarbeid mellom partene er en forutsetning for å endre dagens bransjestandard. For å gjennomføre et prosjekt utslippsfritt, må det være klare retningslinjer i anbudsutlysningen fra byggherre.

Erfaringer fra bransjen er at de elektriske anleggsmaskinene fungerer godt. Maskinene har ingen CO₂-utslipp i driftsfasen, som utgjør en stor miljøgevinst sammenlignet med fossildrevne maskiner. Støynivået fra maskinene er lavere som gjør det mer komfortabelt for maskinfører og nærmiljø, samt øker sikkerheten på bygge- og anleggsplassen. Høyere investeringskostnader for anleggsmaskinene kan tjenes inn av lavere driftskostnader over tid. Med dagens situasjon i kraftmarkedet, vil lokasjonen av en elektrisk anleggsmaskin ha noe å si for strømkostnaden.

En utslippsfri bygge- og anleggsplass vil ha et større effektbehov enn vanlige bygge- og anleggsplasser. For å få levert nok effekt kan det bli nødvendig å oppgradere kraftnettet i området. Kostnadene ved en slik oppgradering kommer an på hvor stor oppgradering som må til, og det er kunden som må ta regningen. Blir kostnadene for store, risikerer en at prosjektet blir ulønnsomt. I tillegg vil en oppgradering av nettet gjerne ta lang tid, slik at prosjektet må utsettes. Denne problemstillingen vil først og fremst være gjeldende i mer landlige strøk, hvor nettilgangen er dårlig eller ikke-eksisterende. I slike tilfeller vil det være vanskelig å bruke elektriske anleggsmaskiner. I bynære områder, hvor nettilgangen ofte er bedre, vil disse problemene være av mindre betydning.

Batteribanker benyttet sammen med hurtigladere skjermer strømmettet for effekttopper, og vil effektivisere ladingen av maskinene. I kombinasjon med god ladelogistikk vil dette være nøkkelen for å kunne gjennomføre bygge- og anleggsplasser utslippsfritt. Dette tillater at maskinene kan gjennomføre arbeid en hel arbeidsdag, noe som er helt essensielt for framdriften i et prosjekt.

Entreprenøren burde, sammen med rådgiver, tidlig kartlegge effektbehovet til utstyr og anleggsmaskiner. Videre må effektbehovet meldes tidlig inn til nettselskapet, slik at nettselskapet har mulighet for tilrettelegging av strømtilførsel til bygge- og anleggsplassen.

10.1 Videre arbeid

- Sikkerhetsutfordringene med utslippsfrie anleggsplasser kan forskes videre på. Områder som tunneller vil kreve en særskilt risikovurdering, særlig med tanke på brannfare.
- Indirekte utslipp knyttet til materialbruk er ikke tatt hensyn til i denne rapporten. I noen tilfeller kan de indirekte utslippene være høyere enn de direkte utslippene, og kan med fordel undersøkes nærmere.
- Denne rapporten har tatt hydrogen lite i betraktning. Hydrogendrevne anleggsmaskiner er i et tidlig stadie, og har så langt vært lite utprøvd. Det kan være aktuelt å undersøke hydrogenalternativer i områder med dårlig infrastruktur eller svak nettkapasitet.

11 Referanser

- [1] J. T. Gjøby, “Lading av elektirkse anleggsmaskiner,” Dec. 2019. [Online]. Available: <https://www.emobilitynorway.com/post/lading-av-elektirkse-anleggsmaskiner>
- [2] Finansdepartementet, “CO2-avgiften,” Jan. 2020, publisher: regjeringen.no. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/veibruksavgift-pa-drivstoff/co2-avgiften/id2603484/>
- [3] J. Lamb, “CO2-utslipp og brennverdi, INGT2011 Fornybar energi valgfag,” 2021. [Online]. Available: <https://ntnu.blackboard.com/>
- [4] N. forening mot støy, “Hva betyr dBA, SPI, GP og andre faguttrykk?” [Online]. Available: <http://www.stoyforeningen.no/Fakta/Hva-betyr-dBA-SPI-GP-osv.>
- [5] NEMA, “Electric Vehicle Supply Equipment/System,” Jun. 2012. [Online]. Available: <https://www.nema.org/directory/products/view/electric-vehicle-supply-equipment-system>
- [6] Norgesenergi, “Fossil- og utslippfrie byggeplasser,” 2022. [Online]. Available: <https://norgesenergi.no/bedrift/spar-strom/fossil-og-utslippfrie-byggeplasser/>
- [7] Miljødirektoratet, “70 % av nye ikke-veigående maskiner og kjøretøy er elektriske i 2030 - Miljødirektoratet,” 2020. [Online]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimatiltak/klimatiltak-for-ikke-kvotepliktige-utslipp-mot-2030/sjofart-fiske-og-havbruk/70--av-nye-ikke-veigaende-maskiner-og-kjoretoy-er-elektriske-i-2030/>
- [8] Miljødirektoratet, “Biodrivstoff i Norge - Miljødirektoratet,” Mar. 2022. [Online]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/transport/biodrivstoff/>
- [9] —, “Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mot 2030,” *Miljødirektoratet*, p. 1197, 2020. [Online]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/klimakur>
- [10] Regjeringen, “Dette er klimakvoter,” Aug. 2020, publisher: regjeringen.no. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimakvoter/id2076655/>

- [11] Mer, “Hva er lastbalansering?” Dec. 2020, section: Smartladere - borettslag/sameie. [Online]. Available: <https://no.mer.eco/nyheter/hjemmelading/hva-er-lastbalansering/>
- [12] NVE, “Områdekonsesjon - NVE,” 2021. [Online]. Available: <https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-av-nettanlegg/omradekonsesjon/>
- [13] H. Energy, “Peak shaving | Hitachi Energy.” [Online]. Available: <https://www.hitachienergy.com/offering/solutions/grid-edge-solutions/applications/energy-storage-applications/peak-shaving>
- [14] F. Høyte, “skilletransformator,” Feb. 2019. [Online]. Available: <http://snl.no/skilletransformator>
- [15] Samferdselsdepartementet, “Handlingsplan for fossilfrie anleggsplasser innen transportsektoren,” *Samferdselsdepartementet*, p. 38, Jan. 2021. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumentarkiv/regjeringen-solberg/aktuelt-regjeringen-solberg/sd/pressemeldinger/2021/ny-handlingsplan-anleggsplasser-i-transportsektoren-skal-bli-fossilfrie/id2827986/>
- [16] R. Daler, “Rekordstor el-graver fra Nasta,” Jun. 2019. [Online]. Available: <https://anleggsmaskinen.no/2019/06/rekordstor-el-graver-fra-nasta/>
- [17] —, “Skal det være en elektrisk hjullaster?” Nov. 2015. [Online]. Available: <https://anleggsmaskinen.no/2015/11/skal-det-vaere-en-elektriske-hjullaster/>
- [18] M. Sand, “Kilde til bilde, grønt hydrogen,” Apr. 2022. [Online]. Available: <https://cicero.oslo.no/no/posts/klima/hva-er-hydrogen>
- [19] A. G. Rao, F. Yin, and H. G. C. Werij, “Energy Transition in Aviation: The Role of Cryogenic Fuels,” *Aerospace*, vol. 7, no. 12, p. 181, Dec. 2020, number: 12 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2226-4310/7/12/181>
- [20] Veidekke, ““World’s largest electric excavator”: Norway’s Veidekke takes delivery of silent machine,” Jan. 2019. [Online]. Available: <https://www.globalconstructionreview.com/worlds-largest-electric-excavator-norways-veidekke/>
- [21] M. K. Wiik, “Nullutslippsgravemaskin SINTEF Bokhandel,” 2020. [Online]. Available: https://www.sintefbok.no/book/index/1252/nullutslippsgravemaskin_laeringsutbytte_fra_elektrifisering_av_anleggsmaskiner

- [22] D. G. A. Energy, “Fossil- og utslippsfrie byggeplasser,” Aug. 2017. [Online]. Available: <https://www.energinorge.no/publikasjoner/rapport/2017/fossil-og-utslippsfrie-byggeplasser/>
- [23] BKK, “Strømmens reise | BKK Nett,” 2022. [Online]. Available: <https://nett.bkk.no/artikkel/7f59a21f-cdbd-454e-a5c0-d13173cb6bd4>
- [24] Strømspar, “Nord Pool: Den Nordiske Kraftbørsen.” [Online]. Available: <https://stromspar.no/strommarkedet/nord-pool-den-nordiske-kraftborsen/>
- [25] NordPool, “Day-ahead prices,” Mar. 2022. [Online]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/NO/Monthly/>
- [26] Eviny, “Din partner i overgangen til utslippsfri teknologi,” 2022. [Online]. Available: <https://mobil-energi.eviny.no/>
- [27] O. Construction, “Vi tar risikoen.” [Online]. Available: <https://www.ohmiaconstruction.no/nyheter/tar-hele-risikoen>
- [28] Ladestasjoner, “Kontakttyper for elbil | Alt om lading av elbil | Ladestasjoner.no,” 2022. [Online]. Available: <https://www.ladestasjoner.no/lading/kontakttyper/>
- [29] M. R. K. Wiik, *Erfaringskartlegging av krav til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser*. SINTEF akademisk forlag, 2022, accepted: 2022-01-18T08:29:54Z ISSN: 1894-1583 Journal Abbreviation: A survey of the requirements for emission-free building and construction sites Publication Title: 45. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/1976271/>
- [30] A. Strand, “BREEAM-NOR,” 2022. [Online]. Available: <https://sign-as.no/artikkel/breem-nor>
- [31] P. CAT, “_NOCat hjullastere | Pon Equipment,” 2022. [Online]. Available: <https://www.pon-cat.com/no/pon-equipment/produkter/cat-produkter/hjullastere>
- [32] NASTA, “ZERON ZE210 UTSLIPPSFRI ANLEGGSMASKIN.” [Online]. Available: <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze210/>
- [33] N. AS, “Utslippsfrie anleggsmaskiner,” 2022. [Online]. Available: <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/spesialmaskiner/elektriske-anleggsmaskiner/>
- [34] FN-sambandet, “Stoppe klimaendringene,” Feb. 2022. [Online]. Available: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene>

- [35] Aftenposten, “Vi vil ha mer klimavennlige løsninger. Plan- og bygningsloven må endres.” 2021. [Online]. Available: <https://www.aftenposten.no/meninger/kronikk/i/LnjQvQ/storkommunene-som-byggherrer-vil-ha-mer-klimavennlige-loesninger>
- [36] N. G. Andresen, “Her ser du både direkte og indirekte klimagassutslipp,” Apr. 2019. [Online]. Available: <https://www.klimaoslo.no/2019/04/04/direkte-og-indirekte-utslipp/>
- [37] T. Kommune, “Mobile batteri til utslippsfrie bygge- og anleggsplasser,” Aug. 2021. [Online]. Available: <https://www.trondheim.kommune.no/aktuelt/nyhetssaker/2021/mobile-batteri-til-utslippsfrie-bygge--og-anleggsplasser/>
- [38] SINTEF, “Utslippsfrie byggeplasser og anleggsplasser,” 2022. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/felles-fagomrade/utslippsfrie-byggeplasser/>
- [39] Miljøstatus, “Klimagassutslipp fra transport i Norge,” 2021. [Online]. Available: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-transport/>
- [40] R. Hugsted, “bygg- og anleggsmaskiner,” Feb. 2019. [Online]. Available: http://snl.no/bygg-_og_anleggsmaskiner
- [41] F. Tronhuus, “Verdens første med hydrogen på tanken?” Jan. 2022. [Online]. Available: <https://anleggsmaskinen.no/2022/01/verdens-forste-med-hydrogen-pa-tanken/>
- [42] B. Risholt, “Er litiumbatterier brannfarlige?” Jun. 2021. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/er-litiumbatterier-brannfarlige/>
- [43] K. A. Rosvold, “biodrivstoff,” Aug. 2019. [Online]. Available: <http://snl.no/biodrivstoff>
- [44] B. SINTEF and C. Benjaminsen, “Dette må du vite om hydrogen,” Jul. 2019, section: miljø. [Online]. Available: <https://forskning.no/energi-fornybar-energi-klima/dette-ma-du-vite-om-hydrogen/1359513>
- [45] M. Sand, “Hva er hydrogen? - Cicero,” Jan. 2021. [Online]. Available: <https://cicero.oslo.no/no/posts/klima/hva-er-hydrogen>
- [46] U. D. of Energy, “Alternative Fuels Data Center: Fuel Cell Electric Vehicles,” 2022. [Online]. Available: https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html

- [47] O. R. Valmot, “Hvor farlig er hydrogen?” Jun. 2019. [Online]. Available: <https://www.tu.no/artikler/hvor-farlig-er-hydrogen/467444>
- [48] S. B. Jensen, “Håpløst dyrt å transportere hydrogen – derfor bør den produseres lokalt,” Nov. 2020, section: Meninger. [Online]. Available: <https://www.dn.no/innlegg/hydrogen/fornybar-energi/olje-og-gass/haplost-dyrt-a-transportere-hydrogen-derfor-bor-den-produseres-lokalt/2-1-904612>
- [49] P. . Prosess 21, “Ekspertgrupperapporter,” 2021. [Online]. Available: <https://www.prosess21.no/om-prosess-21/ekspertgrupperapporter/>
- [50] Nasta, “ZERON ZE85 elektrisk gravemaskin på batteri,” 2022. [Online]. Available: <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze85/>
- [51] Z. NASTA, “Zeron kabelcontainer.” [Online]. Available: <https://www.nasta.no/utstyr-deler/zeron-kabelcontainer/>
- [52] KlimaOslo, “Kraftig økning av elgravere ventet neste år,” Dec. 2021. [Online]. Available: <https://www.klimaoslo.no/2021/12/01/mange-nye-elektriske-gravemaskiner-ventes/>
- [53] S. Tremoen, “Utslipp fra bensin- og dieselmotorer. Miljø- og helsekonsekvenser,” *Statens forurensningstilsyn*, p. 26, Sep. 2008. [Online]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/publikasjoner-fra-klif/2008/september/miljo--og-helsekonsekvenser-av-utslipp-fra-bensin--og-dieselmotorer/>
- [54] M. E. Rustad, “Regjeringen vil øke CO2-avgiften kraftig,” Oct. 2021. [Online]. Available: <https://e24.no/i/dnkVyJ>
- [55] R. S. Dale, “Uno-X gir opp hydrogensatsing etter Sandvika-eksplosjon,” Jul. 2020, section: Sandvika. [Online]. Available: <https://www.budstikka.no/article/592747!/>
- [56] O. og energidepartementet, “Kraftproduksjon,” 2021. [Online]. Available: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/>
- [57] NVE, “Nett,” 2021. [Online]. Available: <https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/>
- [58] O. og energidepartementet, “Strømnettet,” 2021. [Online]. Available: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/>
- [59] NVE, “Nettilknytning - NVE,” 2021. [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/strom/stromkunde/nettilknytning/>

- [60] —, “Forskrift om leveringskvalitet,” Jun. 2021. [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/leveringskvalitet/forskrift-om-leveringskvalitet/>
- [61] Lovdata, “Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet,” Jul. 2020. [Online]. Available: <https://lovdata.no/forskrift/2004-11-30-1557/\T1\textsection3-3>
- [62] NVE, “Spenningskvalitet,” Sep. 2021. [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/leveringskvalitet/spenningskvalitet/>
- [63] —, “Beregning av anleggsbidrag - NVE,” 2021. [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/anleggsbidrag/beregning-av-anleggsbidrag/>
- [64] Regjeringen, “Kraftmarkedet og strømpris,” Oct. 2021, publisher: regjeringen.no. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/stromnettet/kraftmarkedet-og-strompris/id2076000/>
- [65] Statnett, “Hvorfor har vi prisområder?” [Online]. Available: <https://www.statnett.no/om-statnett/bli-bedre-kjent-med-statnett/om-strompriser/fakta-om-prisomrader/>
- [66] O. og energidepartementet, “Syv spørsmål og svar om strømprisen,” Jan. 2022, publisher: regjeringen.no. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/stromnettet/syv-sporsmal-og-svar-om-stromprisen/id2873517/>
- [67] NVE, “Nettleie for forbruk,” Feb. 2019. [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/nettleie/nettleie-for-forbruk/>
- [68] Elvia, “Nettleiepriser og effekttariff bedrifter i Oslo og Viken.” [Online]. Available: <https://www.elvia.no/nettleie/alt-om-nettleie/nettleiepriser-og-effekttariff-for-bedrifter-i-oslo-og-viken/>
- [69] Norgesnett, “Ny nettleie 2022.” [Online]. Available: <https://norgesnett.no/ny-nettleie-2022/>
- [70] NVE, “NVE-RME legger fram forslag til ny nettleiemodell,” Sep. 2020. [Online]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nytt-fra-rme/nyheter-reguleringsmyndigheten-for-energi/nve-rme-legger-fram-forslag-til-ny-nettleiemodell/>

- [71] K. M. Hovland, “Legger krangel bak seg: Enige om nytt nettleie-forslag,” Mar. 2022. [Online]. Available: <https://e24.no/i/Kz7w74>
- [72] Eviny, “Mobilt Batteri.” [Online]. Available: <https://mobil-energi.eviny.no/mobilt-batteri>
- [73] —, “Mobile ladere,” 2022. [Online]. Available: <https://mobil-energi.eviny.no/mobile-ladere>
- [74] —, “FAQ,” 2022. [Online]. Available: <https://mobil-energi.eviny.no/faq>
- [75] J. Seehusen, “Mangedobler battericontainere til byggeplasser,” Jan. 2022. [Online]. Available: <https://www.tu.no/artikler/mangedobler-battericontainere-til-byggeplasser-br/516852>
- [76] G. Mil, “Hva er forskjellene mellom Mode 1, 2, 3 og 4 lading? — Grønnemil.no.” [Online]. Available: <https://gronnemil.no/hva-er-forskjellene-mellom-mode-1-2-3-og-4-lading/>
- [77] L. S. Nicolaysen, “Avfallshåndtering - en viktig del av virksomhetens miljørapportering,” Apr. 2021. [Online]. Available: <https://blogg.norskjenvinning.no/hva-er-miljorapportering>
- [78] Miljøpakken, “Sikter mot utslippsfrie anleggsplasser,” Apr. 2022. [Online]. Available: <https://miljopakken.no/nyheter/sikter-mot-utslippsfrie-anleggsplasser>
- [79] enova, “tilskuddsliste - en oversikt over mottakere av tilskudd fra enova,” Apr. 2022. [Online]. Available: <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/tilskuddsliste/>
- [80] C. K, “Drivstoffpriser | Circle K,” May 2022. [Online]. Available: <https://www.circlek.no/bedrift/drivstoff/drivstoffpriser>
- [81] K. Hofstad, “energitetthet,” Aug. 2019. [Online]. Available: <http://snl.no/energitetthet>
- [82] Paulsen, “Hynion: — Den travleste hydrogenstasjonen i Nord-Europa,” Feb. 2022. [Online]. Available: <https://hydrogen24.no/2022/02/23/hydrogenstasjonen-som-har-kommet-for-a-bli/>
- [83] SSB, “Tidenes høyeste strømpris i 4. kvartal,” Jan. 2022. [Online]. Available: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitetspriser/artikler/tidenes-hoyeste-strompris-i-4.kvartal>

- [84] NASTA, “ZERON ZE210 utslippsfri anleggsmaskin.” [Online]. Available: <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze210/>
- [85] N. AS, “Beltegraver ZX210-7,” 2022. [Online]. Available: <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/beltegraver-zx210-7/>
- [86] M. R. K. Wiik, J. A. W. Suul, K. Sundseth, A. Ødegård, S. E. Mellegård, K. Azrague, N.-O. Haukaas, J. I. Ibsen, R. Lekanger, and C. Ianssen, *30 tonns utslippsfri gravemaskin. Teknologistatus, kartlegging og erfaringer*. SINTEF akademisk forlag, 2018, accepted: 2018-12-26T16:59:10Z ISSN: 1894-1583 Publication Title: 66. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/en/publications/publication/1646926/>
- [87] Regjeringen, “Statsbudsjettet 2022: Endringer i klimaavgiftene,” Oct. 2021, publisher: regjeringen.no. [Online]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/statsbudsjett/2022/statsbudsjettet-2022-skatter-og-avgifter/statsbudsjettet-2022-endringer-i-klimaavgiftene/id2873756/>
- [88] P. RAAUM, “– Forslag om tredoblet CO2-avgift er dødt som en sild,” Mar. 2021, section: aktuelt. [Online]. Available: <https://www.motor.no/aktuelt/forslag-om-tredoblet-co2-avgift-er-dodt-som-en-sild/193748>
- [89] M. E. Mullis, “Aker Clean Hydrogen-sjefen med oppsiktsvekkende melding om prisen på hydrogen,” Oct. 2021, section: økonomi. [Online]. Available: <https://www.nettavisen.no/12-95-3424193522>
- [90] Enova, “Utslippsfrie anleggsmaskiner og hydrogenkjøretøy.” [Online]. Available: <https://www.enova.no/bedrift/landtransport/utslippsfrie-anleggsmaskiner-og-hydrogenkjoretoy/>
- [91] SINTEF, “Ny batterifabrikk bør plasseres i Innlandet [rapport],” Oct. 2021. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/ny-batterifabrikk-innlandet/>
- [92] G. Byggalliansen, “Hva er BREEAM?” Mar. 2021. [Online]. Available: <https://prosjektil.no/hva-er-breeam-2/>
- [93] —, “BREEAM-NOR-manual og verktøy,” 2016. [Online]. Available: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/manual-verktoy-og-hjelp/breeam-nor-manual-og-verktoy/>

- [94] NEK, “Elektriske lavspenningsintallasjoner, Tabell 52F-1,” 2018.
- [95] NASTA, “ZERON ZE350 utslippsfri gravemaskin på kabel.” [Online]. Available: <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/anleggsmaskin/zeron-ze350/>
- [96] V. C. E. Volvo, “L25 Electric | Elektriske maskiner | Oversikt.” [Online]. Available: <https://www.volvoce.com/norge/nb-no/volvo-maskin-as/products/electric-machines/l25-electric/>
- [97] P. Nielsen, “Slik beregner du effektbehovet på byggeplassen,” Jan. 2019. [Online]. Available: <https://www.satema.no/fagblogg/provstrom/slik-beregner-du-effektbehovet-pa-byggeplassen/>

Vedlegg

Vedlegg A - Prisdifferanse strøm og diesel

Vedlegg B - Overskudd/underskudd ved innkjøp av batterielektrisk gravemaskin

Vedlegg C - Poster

Vedlegg D - Dimensjonering hovedkurs

Vedlegg E - Overbelastningsbeskyttelse hovedkurs

Vedlegg F - Kortslutningsberegninger hovedkurs

Vedlegg G - Beskyttelse mot kortslutningsstrømmer hovedkurs

Vedlegg H - Dimensjonering forbrukerkurs

Vedlegg I - Overbelastningsbeskyttelse forbrukerkurs

Vedlegg J - Kortslutningsberegninger forbrukerkurs

Vedlegg K - Beskyttelse mot kortslutningsstrømmer forbrukerkurs

Vedlegg L - Febdok

Strøm [kr/kWh]\Anleggsdiesel [kr/l]	kr 24,00	kr 24,50	kr 25,00	kr 25,50	kr 26,00	kr 26,50	kr 27,00	kr 27,50	kr 28,00	kr 28,50	kr 29,00
kr 0,20	kr 2 793 298,78	kr 2 892 308,68	kr 2 991 318,58	kr 3 090 328,48	kr 3 189 338,38	kr 3 288 348,28	kr 3 387 358,18	kr 3 486 368,08	kr 3 585 377,98	kr 3 684 387,89	kr 3 783 397,79
kr 0,40	kr 2 652 122,31	kr 2 751 132,21	kr 2 850 142,11	kr 2 949 152,01	kr 3 048 161,91	kr 3 147 171,81	kr 3 246 181,71	kr 3 345 191,61	kr 3 444 201,51	kr 3 543 211,42	kr 3 642 221,32
kr 0,60	kr 2 510 945,84	kr 2 609 955,74	kr 2 708 965,64	kr 2 807 975,54	kr 2 906 985,44	kr 3 005 995,34	kr 3 105 005,24	kr 3 204 015,14	kr 3 303 025,04	kr 3 402 034,94	kr 3 501 044,85
kr 0,80	kr 2 369 769,37	kr 2 468 779,27	kr 2 567 789,17	kr 2 666 799,07	kr 2 765 808,97	kr 2 864 818,87	kr 2 963 828,77	kr 3 062 838,67	kr 3 161 848,57	kr 3 260 858,47	kr 3 359 868,38
kr 1,00	kr 2 228 592,89	kr 2 327 602,80	kr 2 426 612,70	kr 2 525 622,60	kr 2 624 632,50	kr 2 723 642,40	kr 2 822 652,30	kr 2 921 662,20	kr 3 020 672,10	kr 3 119 682,00	kr 3 218 691,90
kr 1,20	kr 2 087 416,42	kr 2 186 426,32	kr 2 285 436,23	kr 2 384 446,13	kr 2 483 456,03	kr 2 582 465,93	kr 2 681 475,83	kr 2 780 485,73	kr 2 879 495,63	kr 2 978 505,53	kr 3 077 515,43
kr 1,40	kr 1 946 239,95	kr 2 045 249,85	kr 2 144 259,76	kr 2 243 269,66	kr 2 342 279,56	kr 2 441 289,46	kr 2 540 299,36	kr 2 639 309,26	kr 2 738 319,16	kr 2 837 329,06	kr 2 936 338,96
kr 1,60	kr 1 805 063,48	kr 1 904 073,38	kr 2 003 083,28	kr 2 102 093,19	kr 2 201 103,09	kr 2 300 112,99	kr 2 399 122,89	kr 2 498 132,79	kr 2 597 142,69	kr 2 696 152,59	kr 2 795 162,49
kr 1,80	kr 1 663 887,01	kr 1 762 896,91	kr 1 861 906,81	kr 1 960 916,72	kr 2 059 926,62	kr 2 158 936,52	kr 2 257 946,42	kr 2 356 956,32	kr 2 455 966,22	kr 2 554 976,12	kr 2 653 986,02
kr 2,00	kr 1 522 710,54	kr 1 621 720,44	kr 1 720 730,34	kr 1 819 740,24	kr 1 918 750,15	kr 2 017 760,05	kr 2 116 769,95	kr 2 215 779,85	kr 2 314 789,75	kr 2 413 799,65	kr 2 512 809,55
kr 2,20	kr 1 381 534,07	kr 1 480 543,97	kr 1 579 553,87	kr 1 678 563,77	kr 1 777 573,68	kr 1 876 583,58	kr 1 975 593,48	kr 2 074 603,38	kr 2 173 613,28	kr 2 272 623,18	kr 2 371 633,08
kr 2,40	kr 1 240 357,60	kr 1 339 367,50	kr 1 438 377,40	kr 1 537 387,30	kr 1 636 397,20	kr 1 735 407,11	kr 1 834 417,01	kr 1 933 426,91	kr 2 032 436,81	kr 2 131 446,71	kr 2 230 456,61
kr 2,60	kr 1 099 181,13	kr 1 198 191,03	kr 1 297 200,93	kr 1 396 210,83	kr 1 495 220,73	kr 1 594 230,63	kr 1 693 240,54	kr 1 792 250,44	kr 1 891 260,34	kr 1 990 270,24	kr 2 089 280,14
kr 2,80	kr 958 004,66	kr 1 057 014,56	kr 1 156 024,46	kr 1 255 034,36	kr 1 354 044,26	kr 1 453 054,16	kr 1 552 064,07	kr 1 651 073,97	kr 1 750 083,87	kr 1 849 093,77	kr 1 948 103,67
kr 3,00	kr 816 828,19	kr 915 838,09	kr 1 014 847,99	kr 1 113 857,89	kr 1 212 867,79	kr 1 311 877,69	kr 1 410 887,59	kr 1 509 897,50	kr 1 608 907,40	kr 1 707 917,30	kr 1 806 927,20
kr 3,20	kr 675 651,72	kr 774 661,62	kr 873 671,52	kr 972 681,42	kr 1 071 691,32	kr 1 170 701,22	kr 1 269 711,12	kr 1 368 721,03	kr 1 467 730,93	kr 1 566 740,83	kr 1 665 750,73
kr 3,40	kr 534 475,25	kr 633 485,15	kr 732 495,05	kr 831 504,95	kr 930 514,85	kr 1 029 524,75	kr 1 128 534,65	kr 1 227 544,55	kr 1 326 554,46	kr 1 425 564,36	kr 1 524 574,26
kr 3,60	kr 393 298,78	kr 492 308,68	kr 591 318,58	kr 690 328,48	kr 789 338,38	kr 888 348,28	kr 987 358,18	kr 1 086 368,08	kr 1 185 377,98	kr 1 284 387,89	kr 1 383 397,79
kr 3,80	kr 252 122,31	kr 351 132,21	kr 450 142,11	kr 549 152,01	kr 648 161,91	kr 747 171,81	kr 846 181,71	kr 945 191,61	kr 1 044 201,51	kr 1 143 211,42	kr 1 242 221,32
kr 4,00	kr 110 945,84	kr 209 955,74	kr 308 965,64	kr 407 975,54	kr 506 985,44	kr 605 995,34	kr 705 005,24	kr 804 015,14	kr 903 025,04	kr 1 002 034,94	kr 1 101 044,85
kr 4,20	-kr 30 230,63	kr 68 779,27	kr 167 789,17	kr 266 799,07	kr 365 808,97	kr 464 818,87	kr 563 828,77	kr 662 838,67	kr 761 848,57	kr 860 858,47	kr 959 868,38
kr 4,40	-kr 171 407,11	-kr 72 397,20	kr 26 612,70	kr 125 622,60	kr 224 632,50	kr 323 642,40	kr 422 652,30	kr 521 662,20	kr 620 672,10	kr 719 682,00	kr 818 691,90
kr 4,60	-kr 312 583,58	-kr 213 573,68	-kr 114 563,77	-kr 15 553,87	kr 83 456,03	kr 182 465,93	kr 281 475,83	kr 380 485,73	kr 479 495,63	kr 578 505,53	kr 677 515,43
kr 4,80	-kr 453 760,05	-kr 354 750,15	-kr 255 740,24	-kr 156 730,34	-kr 57 720,44	kr 41 289,46	kr 140 299,36	kr 239 309,26	kr 338 319,16	kr 437 329,06	kr 536 338,96
kr 5,00	-kr 594 936,52	-kr 495 926,62	-kr 396 916,72	-kr 297 906,81	-kr 198 896,91	-kr 99 887,01	-kr 877,11	kr 98 132,79	kr 197 142,69	kr 296 152,59	kr 395 162,49
kr 5,20	-kr 736 112,99	-kr 637 103,09	-kr 538 093,19	-kr 439 083,28	-kr 340 073,38	-kr 241 063,48	-kr 142 053,58	-kr 43 043,68	kr 55 966,22	kr 154 976,12	kr 253 986,02
kr 5,40	-kr 877 289,46	-kr 778 279,56	-kr 679 269,66	-kr 580 259,76	-kr 481 249,85	-kr 382 239,95	-kr 283 230,05	-kr 184 220,15	-kr 85 210,25	kr 13 799,65	kr 112 809,55
kr 5,60	-kr 1 018 465,93	-kr 919 456,03	-kr 820 446,13	-kr 721 436,23	-kr 622 426,32	-kr 523 416,42	-kr 424 406,52	-kr 325 396,62	-kr 226 386,72	-kr 127 376,82	-kr 28 366,92
kr 5,80	-kr 1 159 642,40	-kr 1 060 632,50	-kr 961 622,60	-kr 862 612,70	-kr 763 602,80	-kr 664 592,89	-kr 565 582,99	-kr 466 573,09	-kr 367 563,19	-kr 268 553,29	-kr 169 543,39
kr 6,00	-kr 1 300 818,87	-kr 1 201 808,97	-kr 1 102 799,07	-kr 1 003 789,17	-kr 904 779,27	-kr 805 769,37	-kr 706 759,46	-kr 607 749,56	-kr 508 739,66	-kr 409 729,76	-kr 310 719,86
kr 6,20	-kr 1 441 995,34	-kr 1 342 985,44	-kr 1 243 975,54	-kr 1 144 965,64	-kr 1 045 955,74	-kr 946 945,84	-kr 847 935,93	-kr 748 926,03	-kr 649 916,13	-kr 550 906,23	-kr 451 896,33
kr 6,40	-kr 1 583 171,81	-kr 1 484 161,91	-kr 1 385 152,01	-kr 1 286 142,11	-kr 1 187 132,21	-kr 1 088 122,31	-kr 989 112,41	-kr 890 102,50	-kr 791 092,60	-kr 692 082,70	-kr 593 072,80
kr 6,60	-kr 1 724 348,28	-kr 1 625 338,38	-kr 1 526 328,48	-kr 1 427 318,58	-kr 1 328 308,68	-kr 1 229 298,78	-kr 1 130 288,88	-kr 1 031 278,97	-kr 932 269,07	-kr 833 259,17	-kr 734 249,27
kr 6,80	-kr 1 865 524,75	-kr 1 766 514,85	-kr 1 667 504,95	-kr 1 568 495,05	-kr 1 469 485,15	-kr 1 370 475,25	-kr 1 271 465,35	-kr 1 172 455,45	-kr 1 073 445,54	-kr 974 435,64	-kr 875 425,74
kr 7,00	-kr 2 006 701,22	-kr 1 907 691,32	-kr 1 808 681,42	-kr 1 709 671,52	-kr 1 610 661,62	-kr 1 511 651,72	-kr 1 412 641,82	-kr 1 313 631,92	-kr 1 214 622,02	-kr 1 115 612,11	-kr 1 016 602,21

Bakgrunn

Bygge- og anleggsbransjen står for betydelige nasjonale klimagassutslipp. I takt med det grønne skiftet må disse utslippene reduseres, dersom en skal nå FNs bærekraftsmål nr.13, å stoppe klimaendringene. Norge har i tillegg forpliktet seg i Parisavtalen til å redusere utslippene sine med minst 50%, og opp mot 55% i 2030, sammenlignet med 1990. På sikt må bygge- og anleggsplasser bli helt utslippsfrie. Flere norske storbyer har nå skrevet under på en felles storbyerklæring, hvor det står at all bygge- og anleggsvirksomhet skal være utslippsfri innen 2030. Storbyerklæringen består av Trondheim, Oslo, Stavanger, Bergen, Drammen, Kristiansand og Tromsø.

- 2023: Bygge- og anleggsplasser i Trondheim skal være utslippsfrie.
- 2025: Storbyerklæringen sier at kommunenes bygge- og anleggsplasser skal være utslippsfrie.
- 2030: Storbyerklæringen sier at hele bygge- og anleggsvirksomheten skal være utslippsfri i byene.

En stor andel av utslippene på en bygge- eller anleggsplass er knyttet til anleggsmaskiner som forbrenner fossilt drivstoff. En viktig forutsetning for at bygge- eller anleggsprosjekter skal kunne gjennomføres utslippsfritt, er derfor at dagens anleggsmaskiner erstattes av utslippsfrie maskiner. Dagens tilbud av utslippsfrie maskiner er i stor grad begrenset til et lite utvalg elektriske maskiner, som enten forsynes direkte fra en kabel, et batteri eller en kombinasjon av disse.

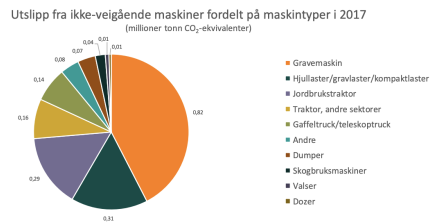


Fig. 1: Utslipp presentert i sektordiagram.

Utfordringer og muligheter

En av utfordringene ved utslippsfrie anleggsplasser er at det kan være for lite tilgjengelig kapasitet på strømmettet. Elektriske anleggsmaskiner er opp mot tre ganger dyrere enn en vanlig dieseldreven maskin. En annen utfordring er at det ikke er nok elektriske maskiner på markedet. I tillegg er det lang leveringstid, fra ni måneder opp til ett år. De høye investeringskostnadene vil entreprenør tjene inn over tid siden driftskostnadene til en elektrisk maskin er lavere enn en dieseldrevet.

For å løse utfordringen knyttet til strømmettet, vil det være lurt å komme tidlig i kontakt med nettselskapet. Effektbehovet må kartlegges tidlig, slik at nettselskapet undersøker kapasiteten i nettet. For at etterspørselen etter elektriske anleggsmaskiner skal øke, er det viktig at entreprenørene møter krav om dette i anbudene. Dette gjør at flere må anskaffe seg elektriske maskiner for å kunne konkurrere om jobbene.

Hva er en utslippsfri anleggsplass?

Begrepene *utslippsfri* og *fossilfri* kan lett forveksles, men det er et viktig skille mellom disse.

- En *utslippsfri* anleggsplass har ikke utslipp av CO₂-ekv. eller NO_x. (Det er denne type anleggsplass som vil være fokuset i oppgaven).
- En *fossilfri* anleggsplass har ikke utslipp av CO₂-ekv., og åpner således for bruk av biobasert brensel i tillegg til de utslippsfrie alternativene.

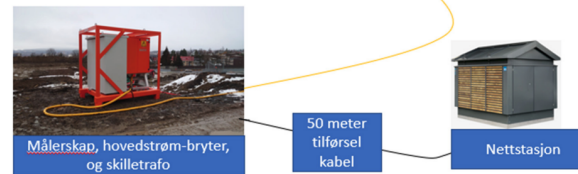


Fig. 2: Prinsippskisse av kabelelektrisk gravemaskin.

Omfang og avgrensninger

Prosjektet fokuserer på direkte utslipp, det vil si utslipp inne på selve bygge- og anleggsplassen. De dominerende utslippskildene er utslipp fra anleggsmaskiner og utstyr, byggvarme og byggtørk, samt transport av materialer og personell. Direkte utslipp vil være særlig dominerende i prosjekter hvor det er mye transport, for eksempel i forbindelse med massehåndtering. Det er hovedsakelig direkte utslipp som angår vår oppdragsgiver, og som de kan bidra til å redusere. Det vil ikke bli sett på utslippene som kommer av oppvarming og uttørkning av bygninger, da disse tilsvarer om lag 5 % av det totale utslippet til bygge- og anleggsnæringen, og de resterende 95 % er utslipp fra transport og drift av maskiner

Konklusjon

Utslippsfrie bygge- og anleggsplasser er fullt mulig å gjennomføre, og det vil være nødvendig for å nå Norges klimamål og FNs bærekraftsmål. Det vil kreve gjennomføringsvilje fra byggherre, nettselskap, entreprenør og rådgiver. Godt samarbeid mellom partene er en forutsetning for å endre dagens bransjestandard. For at et prosjekt skal kunne gjennomføres utslippsfritt, må det være klare retningslinjer i anbudutlysningen fra byggherre.

Erfaringer fra bransjen er at de elektriske anleggsmaskinene fungerer godt. Maskinene har ingen CO₂-utslipp i driftsfasen, noe som utgjør en stor miljøgevinst sammenlignet med fossildrevne maskiner. Støynivået fra maskinene er lavere, som gjør det mer komfortabelt for maskinfører og nærmiljø, samt øker sikkerheten på bygge- og anleggsplassen. Høyere investeringskostnader for anleggsmaskinene vil tjenes inn av lavere driftskostnader over tid.

En utslippsfri bygge- og anleggsplass vil ha et større effektbehov enn vanlige bygge- og anleggsplasser. For å få levert nok effekt kan det bli nødvendig å oppgradere kraftnettet i området. Kostnadene ved en slik oppgradering avhenger av hvor stor oppgradering som må til, og det er kunden som må ta regningen. Blir kostnadene for store, risikerer man at prosjektet blir ulønnsomt. I tillegg vil en oppgradering av nettet gjerne ta lang tid, slik at prosjektet må utsettes. Denne problemstillingen vil først og fremst være gjeldende i mer landlige strøk, hvor nettilgangen er dårlig eller ikke-eksisterende. I slike tilfeller vil det være vanskelig å bruke elektriske anleggsmaskiner. I bynære områder, hvor nettilgangen ofte er bedre, vil disse problemene være av mindre betydning.

Batteribanker benyttet sammen med hurtigladdere gir gode resultater, og skjermer strømmettet for effekttopper. I kombinasjon med god ladelogistikk vil dette være viktig for å kunne gjennomføre bygge- og anleggsplasser utslippsfritt. Dette tiltaket at maskinene kan brukes en hel arbeidsdag, noe som er essensielt for framdriften i et prosjekt.

For at gjennomføringen av en utslippsfri bygge- og anleggsplass skal utføres på en god måte, er det viktig at kartleggingen av effektbehovet skjer tidlig. Entreprenøren burde, sammen med rådgiver, tidlig kartlegge effektbehovet til utstyr og anleggsmaskiner. Videre må effektbehovet meldes tidlig inn til nettselskapet, slik at nettselskapet har mulighet for tilrettelegging av strømmtilførsel til bygge- og anleggsplassen.

Tabellen under viser kostnader for ulike maskinteknologier med tilhørende energikilder. Maskinene bruker en effekt på 75kW over en periode på 4 timer, totalt 300 kWh.

Type teknologi	Energikilde	Pris [kr/kWh]	Virkningsgrad	Sluttsum [kr]
Dieseldreven gravemaskin	Anleggisdiesel	1,97	30% (80)	1970
Batteri og brenselcelle	Hydrogen	3,27	50% (80)	1962
Kabelelektrisk	Strøm	1,648	95% (80)	520,4
Kabel og/eller batteri	Strøm	1,648	92% (80)	537,4
Batterielektrisk	Strøm	1,648	85% (80)	581,6

Fig. 3: Tabell for kostnader av ulike energikilder.

Dimensjonering av hovedkurs

Hovedkursen ligger mellom Inntak trafo og Byggestrømsskap. Anlegget ble laget i beregningsprogrammet Febdok, og så kontrollregnet for hånd.

Valg av tverrsnitt

Avstanden fra transformatoren til byggestrømsskapet er 50 meter. Hovedkabelen ut fra transformatoren legges i jord. Det er antatt en jordtemperatur på 15°C , og en termisk motstand på $1 \frac{\text{K}\cdot\text{m}}{\text{W}}$ i jord, da dette blir en mer riktig løsning i anleggsområdet. Tiltent kabel er en TFSP med isolasjonstype PEX.

Det er antatt at andelen av 3. harmonisk er så liten at det ikke trengs å tas hensyn til. Det er ikke sett et behov for ytterligere korreksjonsfaktorer. Korreksjonsfaktoren for omgivelsestemperaturen er hentet fra tabell 52B-15 i NEK400 2018. Korreksjonsfaktor for termisk motstand er hentet fra tabell 52B-16 i NEK400 2018.

Installasjonsmetode : 72

Referanseinstallasjonsmetode : D2

Omgivelsestemperatur i jord $k_1 = 1,04$

Termiskmotstand i jord $k_2 = 1,5$

For å dimensjonere anlegget er det nødvendig å regne ut belastningsstrømmen til hovedkursen. Belastningstrømmen er tidligere beregnet til:

$$I_b = 566,3 \text{ A}$$

Hovedkabelen må tilfredsstille følgende krav:

$$I_b \leq k_1 \cdot k_2 \cdot I_z$$

$$566,3 \text{ A} \leq I_z \cdot 1,04 \cdot 1,5$$

Det er ganske tydelig fra belastningsstrømmen at dersom en kabel skal benyttes, må den ha et meget stort tverrsnitt. Dette vil føre til store kostnader, særlig om kabelen har kobberkjerne istedenfor aluminiumskjerne. Med bakgrunn i følgende problemstilling blir

det besluttet å legge 2 kabler i parallell. Sjekker om 2 stk TFSP $4 \cdot 150/50 \text{ mm}^2$ Al oppfyller kravene, strømføringsvevnen hentes fra tabell 52B-5 i NEK400 2018:

$$566,3 \text{ A} \leq 2 \cdot 220 \text{ A} \cdot 1,04 \cdot 1,5$$

$$566,3 \text{ A} \leq 686,4 \text{ A}$$

2 stk TFSP $4 \cdot 150/50 \text{ mm}^2$ Al egner seg som hovedkurs, og har en samlet strømføringsvevne på 686,4 A.

Beskyttelse mot overbelastningsstrømmer hovedkurs

Kabelene videre etter første fordeling skal vernes av en effektbryter, som skal stå som både overbelastningsvern og kortslutningsvern. I 533.2.1 i NEK400 2018 skal følgende krav for beskyttelse mot overbelastningsstrømmer være oppfylt:

$$1. I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$2. I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

Krav 1. innsatt med tallverdier gir:

$$566 A \leq I_n \leq 686,4 A$$

En effektbryter fra Schneider Electric av typen NS800N benyttes som hovedsikring. Nominell verdi på sikringen er 800A, og verninnstillingen ($x \cdot I_r$) står lik 0,8 som gir 640 A. I_2 -verdien på sikringen er avlest til å være ca. 832 A.

Krav 1. innsatt med alle tallverdier gir:

$$566 A \leq 640 A \leq 686,4 A$$

Krav 1. er tilfredsstillt.

Krav 2. med innsatte tallverdier gir:

$$832 A \leq 1,45 \cdot 686,4 A$$

$$832 A \leq 995,28 A$$

Krav 2. er tilfredsstillt.

Kortslutningsberegninger hovedkurs

For at kabel og vern skal være tilstrekkelig beskyttet mot kortslutninger, må kortslutningsstrømmer i anlegget bestemmes. Nettselskapet i regionen har oppgitt følgende kortslutningstrømmer ved lavspentsiden på transformatoren:

- $I_{k3p_{max}} = 37,640 \text{ kA}$
- $I_{k2p_{min}} = 24,746 \text{ kA}$
- $I_{k1p_{max}} = 41,205 \text{ kA}$
- $I_{k1p_{min}} = 32,711 \text{ kA}$

Den høyeste strømmen i byggestrømsskapet vil være en 3-polet kortslutning. Regner ut impedansene i det foranliggende nettet:

$$\cos \varphi = 0,8 \rightarrow \varphi = \arccos(0,8) = 0,6435$$

$$I_{k3p_{max}} = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \rightarrow Z_k = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3p_{max}}}$$

$$|Z_{k,ytre}| = \frac{1,1 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 37,640 \text{ kA}} = 6,749 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{k,ytre} = |Z_k| \cdot \cos \varphi + j \cdot |Z_k| \cdot \sin \varphi$$

$$Z_{k,ytre} = 6,749 \text{ m}\Omega \cdot 0,8 + j \cdot 6,749 \text{ m}\Omega \cdot \sin 0,6435$$

$$Z_{k,ytre} = 5,399 \text{ m}\Omega + j \cdot 4,049 \text{ m}\Omega$$

Kabelimpedansen deles på to på grunn av at impedansen fordeler seg likt over de to kablene som ligger i parallell:

$$Z_{kabel} = l(R_+ + j \cdot X_+)$$

$$Z_{kabel} = 50\text{m}(0,206\text{m}\Omega + j \cdot 0,094\text{m}\Omega)$$

$$Z_{kabel} = \frac{10,3\text{m}\Omega + j \cdot 4,7\text{m}\Omega}{2}$$

$$Z_{kabel} = 5,15\text{m}\Omega + j \cdot 2,35\text{m}\Omega$$

Summen av impedansene:

$$Z_k = Z_{k,ytre} + Z_{kabel}$$

$$Z_k = (5,399m\Omega + j \cdot 4,049m\Omega) + (5,15m\Omega + j \cdot 2,35m\Omega)$$

$$Z_k = 10,549\Omega + j \cdot 6,399m\Omega$$

Høyeste kortslutningsstrøm i byggestrømsskapet blir:

$$|Ik3p_{max}| = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$$

$$Z_k = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$|Ik3p_{max}| = \frac{1,1 \cdot 400 V}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(10,549)^2 + (6,399)^2}}$$

$$|Ik3p_{max}| = 20,589 kA$$

Regner videre ut laveste kortslutningsstrøm, som vil være en 1-polet kortslutning.

$$\cos \varphi = 0,9 \rightarrow \varphi = \arccos(0,9) = 0,4510$$

$$Ik1p_{min} = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n}{Z_+ + Z_- + Z_0} \rightarrow Z_+ + Z_- + Z_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n}{Ik1p_{min}}$$

$$|Z_+ + Z_- + Z_0| = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 400 V}{32,711 kA} = 19,062 m\Omega$$

$$Z_+ + Z_- + Z_0 = |Z_+ + Z_- + Z_0| \cdot \cos \varphi + j \cdot |Z_+ + Z_- + Z_0| \cdot \sin \varphi$$

$$Z_+ + Z_- + Z_0 = 19,062 m\Omega \cdot 0,9 + j \cdot 19,062 m\Omega \cdot \sin 0,4510$$

$$Z_+ + Z_- + Z_0 = 17,156 m\Omega + j \cdot 8,309 m\Omega$$

Kablene temperaturkorrigeres til 70°C:

$$Zk_+ = l(R_+ + j \cdot X_+)$$

$$Zk_+ = 50m(1,2 \cdot 0,206m\Omega + j \cdot 0,094m\Omega)$$

$$Zk_+ = 12,36m\Omega + j \cdot 4,7m\Omega$$

$$Zk_0 = l(R_{0N} + j \cdot X_{0N})$$

$$Zk_0 = 50m(1,2 \cdot 0,824m\Omega + j \cdot 0,317m\Omega)$$

$$Zk_0 = 49,44m\Omega + j \cdot 15,85m\Omega$$

Kabelimpedansen deles på to på grunn av at impedansen fordeler seg likt over de to kablene som ligger i parallell. Z_+ og Z_- regnes som like.

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{ytre} = 17,156m\Omega + j \cdot 8,309m\Omega$$

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{kabel} = \frac{2 \cdot Zk_+ + Zk_0}{2}$$

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{kabel} = \frac{2 \cdot (12,36m\Omega + j \cdot 4,7m\Omega) + (49,44m\Omega + j \cdot 15,85m\Omega)}{2}$$

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{kabel} = 37,08m\Omega + j \cdot 12,625m\Omega$$

$$Z_{tot} = (Z_+ + Z_- + Z_0)_{ytre} + (Z_+ + Z_- + Z_0)_{kabel}$$

$$Z_{tot} = (17,156m\Omega + j \cdot 8,309m\Omega) + (37,08m\Omega + j \cdot 12,625m\Omega)$$

$$Z_{tot} = 54,236m\Omega + j \cdot 20,934m\Omega$$

Laveste strøm i byggestrømsskapet blir:

$$|Ik1p_{min}| = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n}{Z_{tot}}$$

$$Z_k = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$|Ik1p_{min}| = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 400V}{\sqrt{(54,236)^2 + (20,934)^2}}$$

$$|Ik1p_{min}| = 10,725kA$$

Febdoks beregninger kom fram til en minimalstrøm på 10,306 kA, årsaken til at håndberegningene differerte fra febdok er usikkert. Det ble bestemt at febdoks beregninger ble brukt videre, siden det vil være det verste tilfellet.

Beskyttelse mot kortslutningstrømmer hovedkurs

Det antas at kablene ut av effektbryteren videre til fordelingskinnen til de andre kursene har samme tverrsnitt. Disse kablene vil i praksis være veldig korte, og ha minimalt å si for kortslutningstrømmene. Med bakgrunn i dette er impedansene i kablene fra effektbryter til fordelingskinnen neglisjert.

I følge 425 i NEK 400 2018 skal alle kortslutningstrømmer kobles ut innen 5 sekunder. Effektbryteren fra Schneider Electric garanterer elektromagnetisk utkobling fra ca. 7,040 kA. Laveste kortslutningsstrøm i byggestrømsskapet er 10,306 kA, og dermed vil laveste kortslutningsstrøm legge ut i momentanområdet. Effektbryteren vil legge ut alle kortslutningsstrømmer mellom 10,306 kA og 20,589 kA før det har gått 5 sekunder.

Kravet i 425 er tilfredsstilt.

I følge 533.3.2 i NEK400 2018 skal følgende krav om bryteevne på et kortslutningsvern være oppfylt:

$$I_{CU} \geq I_{k_{max}}$$

Største kortslutningsstrøm i fordelingen vil være 20,589 kA. Det gir følgende krav:

$$I_{CU} \geq I_{k_{max}}$$

$$50 \text{ kA} \geq 20,589 \text{ kA}$$

Kravet i 533.3.2 er tilfredsstilt.

Grafen for gjennomsluppet energi er monotont stigende fra minste kortslutningstrøm på 10,306 kA. Det er derfor kun nødvendig å undersøke gjennomsluppet energi for høyeste kortslutningsstrøm. Kablene ut av effektbryteren er PFSP $4 \times 150/50 \text{ mm}^2$ Al. Kabelene går under samme kategori som EPR og XLPE (herdeplastisk). 533.3.1.1 kravet med innsatte tallverdier gir:

$$16,93 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s} \leq 2 \cdot 94^2 \cdot 150^2$$

$$16,93 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s} \leq 397,62 \cdot 10^6$$

Kravet i 533.3.1.1 er tilfredsstilt

Dimensjonering av forbrukerkurs

Det er antatt at det er stikkontakter i byggestrømsskapet, som lastene kobles på gjennom kabler med rundstiftplugg.

Valg av tverrsnitt

Forbrukerkurs 9.2 skal forsyne brakkeriggen til anleggsarbeiderne. Avstanden fra byggestrømsskapet til brakkeriggen er 10 meter. Kabelen legges i kabelgate, og ligger ellers åpen i friluft ved inntaket til brakkeriggen. Tiltent kabel er en Aton H07RN (gummikabel) med isolasjonstype EPR.

Som i hovedkursen er det også antatt at andelen av 3. harmonisk er så liten at det ikke trengs å tas hensyn til. Det er ikke sett et behov for ytterligere korreksjonsfaktorer.

Installasjonsmetode : 8

Referanseinstallasjonsmetode : B2

For å dimensjonere anlegget er det nødvendig å regne ut belastningsstrømmen til forbrukerkursen:

$$P = U_n \cdot I_b \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \rightarrow I_b = \frac{P}{U_n \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi}$$

$$I_b = \frac{15 \text{ kW}}{400 \text{ V} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8}$$

$$I_b = 27 \text{ A}$$

Kabelen må tilfredsstille følgende krav:

$$I_b \leq I_z$$

$$27 \text{ A} \leq I_z$$

Strømføringsvevnen til kabelen må være minst 27A. Sjekker om en Aton H07RN 5G4mm² oppfyller kravene, strømføringsvevnen hentes fra tabell 52B-5 i NEK400 2018:

$$27 \text{ A} \leq 35 \text{ A}$$

Kabelen kan brukes som forbrukerkurs. Kravene i 533.2.1 i NEK400 2018 for "små"

tverrsnitt $\leq 4mm^2$ gjelder kun for kabler med PVC-isolasjon, og trengs ikke å tas hensyn til.

Beskyttelse mot overbelastningsstrømmer forbrukerkurs

Kabelen skal vernes av en jordfeilautomat på 32A med B-karakteristikk, og utløsestrøm på 30mA. B-karakteristikk er valgt med i bakgrunn av en antakelse om lav startstrøm. I følge 533.2.1 i NEK400 2018 skal følgende krav for beskyttelse mot overbelastningstrømmer være oppfylt:

$$1. I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$2. I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

Krav 1. innsatt med tallverdier gir:

$$27 A \leq 32 A \leq 35 A$$

Krav 1. er oppfylt

Krav 2. innsatt med tallverdier gir:

$$1,45 \cdot 32 A \leq 1,45 \cdot 35 A$$

$$32 A \leq 35 A$$

Krav 2. er oppfylt

Kortslutningsberegninger forbrukerkurs

For å dokumentere at laveste kortslutningsstrøm gir utkobling av vernet til kursen, er det nødvendig å regne minste kortslutningsstrøm. Den laveste kortslutningsstrømmen i forbrukerkursen vil være en enpolt kortslutning på enden av kursen. Impedansene fra det ytre nettet og hovedkablene er uendret:

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{yt\text{re}} = 17,156 \text{ m}\Omega + j \cdot 8,309 \text{ m}\Omega$$

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{Hovedkabel} = 37,08 \text{ m}\Omega + j \cdot 12,625 \text{ m}\Omega$$

Kablene ut til brakkeriggen temperaturkorrigeres til 70°C:

$$Zk_+ = l(R_+ + j \cdot X_+)$$

$$Zk_+ = 10 \text{ m}(1,2 \cdot 4,61 \text{ m}\Omega + j \cdot 0,122 \text{ m}\Omega)$$

$$Zk_+ = 55,32 \text{ m}\Omega + j \cdot 1,22 \text{ m}\Omega$$

$$Zk_0 = l(R_{0N} + j \cdot X_{0N})$$

$$Zk_0 = 10 \text{ m}(1,2 \cdot 18,44 \text{ m}\Omega + j \cdot 0,429 \text{ m}\Omega)$$

$$Zk_0 = 221,28 \text{ m}\Omega + j \cdot 4,29 \text{ m}\Omega$$

Z_+ og Z_- regnes som like, og impedansene summeres:

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{kabel} = 2 \cdot (55,32 \text{ m}\Omega + j \cdot 1,22 \text{ m}\Omega) + (221,28 \text{ m}\Omega + j \cdot 4,29 \text{ m}\Omega)$$

$$(Z_+ + Z_- + Z_0)_{kabel} = 331,92 \text{ m}\Omega + j \cdot 6,73 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{tot} = (Z_+ + Z_- + Z_0)_{yt\text{re}} + (Z_+ + Z_- + Z_0)_{Hovedkabel} + (Z_+ + Z_- + Z_0)_{kabel}$$

$$Z_{tot} = (17,156 \text{ m}\Omega + j \cdot 8,309 \text{ m}\Omega) + (37,08 \text{ m}\Omega + j \cdot 12,625 \text{ m}\Omega) + (331,92 \text{ m}\Omega + j \cdot 6,73 \text{ m}\Omega)$$

$$Z_{tot} = 386,156 \text{ m}\Omega + j \cdot 27,664 \text{ m}\Omega$$

Minste kortslutningsstrøm blir:

$$|Ik1p_{min}| = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n}{Z_{tot}}$$

$$Z_k = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$|Ik1p_{min}| = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 400 V}{\sqrt{(386,156)^2 + (27,664)^2}}$$

$$|Ik1p_{min}| = 1,611 kA$$

Den laveste kortslutningsstrømmen som ble håndberegnet differerte noe fra febdoks beregninger. Det antas at differansen kommer fra den tidligere differansen i minste kortslutningsstrøm på hovedkursen. Febdok endte opp med 1,519 kA, og det ble igjen bestemt for å ta utgangspunkt i denne verdien.

Beskyttelse mot kortslutningsstrømmer forbrukerkurs

Den største mulige kortslutningsstrømmen for forbrukerkursen vil opptre i byggestrømsskapet. Det vil være en 3-polet kortslutning på 20,589 kA. I følge 533.3.2 i NEK400 2018 stilles følgende krav til et verns bryteevne:

$$I_{CU} \geq Ik_{max}$$

Jordfeilautomaten har en bryteevne på 6 kA ved systemspenning på 400 V, og kan ikke brukes som kortslutningsvern uten videre. For å benytte denne sikringen, er det nødvendig med backupbeskyttelse fra et annet vern. En effektbryter av typen NG125 fra Schneider Electric ble valgt til backupbeskyttelse. Effektbryteren har en backuptabell som kan brukes med jordfeilautomaten, og den ultimate bryteevnen til backupvernet er på 50 kA ved 400 V. Backupvernet har en bryteevne på 25 kA når vernets merkestrøm er 80 A. Krav til bryteevne med innsatte tallverdier:

$$25 kA \geq 20,589 kA$$

Kravet er tilfredsstilt.

Jordfeilautomaten har en I_5 -verdi på $5 \cdot I_n$ som garanterer elektromagnetisk utkobling. Minste strøm som garanterer elektromagnetisk utkobling blir:

$$5 \cdot I_n = 5 \cdot 32 A = 160 A$$

Laveste kortslutningsstrøm på enden av kursen er 1,519 kA, og dermed vil laveste kortslutningsstrøm legge ut i momentanområdet. Siden jordfeilautomaten ikke tåler

høyeste kortslutningsstrøm, må denne tas av backupvernet. Backupvernet har en I5-verdi på $4,8 \cdot I_n$ som garanterer elektromagnetisk utkobling. Minste strøm som garanterer elektromagnetisk utkobling blir:

$$5 \cdot I_n = 4,8 \cdot 80 A = 384 A$$

Her vil også minste kortslutningsstrøm gi utkobling i momentanområdet for backupvernet. Fra 533.3.1.1 i NEK400 2018 skal følgende krav til elektromagnetisk utkobling være tilfredsstilt:

$$(I^2t) \leq k^2 \cdot s^2$$

Det er ikke selektivitet på laveste kortslutningsstrøm mellom jordfeilautomaten og backupvernet. Det er ikke ansett som problematisk at det ikke er selektivitet på kortslutningsstrømmene. Den viktigste plassen det bør være selektivitet på, er i det termiske området. Der er det god selektivitet mellom alle 3 vern. Det er også i det termiske området der er størst sannsynlighet for at kan bli problemer, siden en brakkerigg i stor grad kan ha en variabel last.

Det er mest hensiktsmessig å sjekke gjennomsluppet energi fra backupvernet. Siden minste kortslutningsstrøm løser ut elektromagnetisk, og kurven for gjennomsluppet energi er monotont stigende, holder det å sjekke gjennomsluppet energi for største kortslutningstrøm. Avlest fra kurven for gjennomsluppet energi, slipper vernet gjennom ca. $165183,6 A^2s$. Kablen som benyttes har EPR-isolasjon, og har kobber som ledermateriale. Innsatt med tallverdier får man følgende krav fra 533.3.1.1:

$$1,65 \cdot 10^5 A^2s \leq 143^2 \cdot 4^2$$

$$1,65 \cdot 10^5 A^2s \leq 3,27 \cdot 10^5$$

Kravet i 533.3.1.1 er tilfredsstilt.

I følge 425 i NEK 400 2018 skal alle kortslutningstrømmer kobles ut innen 5 sekunder. Siden vernet garanterer elektromagnetisk utkobling fra minste kortslutningsstrøm, vil effektbryteren vil legge ut alle kortslutningsstrømmer mellom 1,519 kA og 20,589 kA før det har gått 5 sekunder.

Kravet i 425 er tilfredsstilt.

Dokumentasjon for anlegget

Regneeksempel



Anleggsadresse

Byggeplass

Byggveien 1
0000 Norge

Kunde, eier

Tel:

Utarbeidet av:

Institutt for Elkraftteknikk

7491 TRONDHEIM

Tel: 73 59 42 10

Hoveddata

ANLEGG/EIER

Navn	: Byggeplass
Adresse	Byggeveien 1
Postnr./-sted	0000 Norge
Telefon	

EIER/KUNDE

Navn	
Adresse	
Postboks	
Postnr./-sted	
Telefon	
Telefaks	
Kontaktperson	
Epost	

INSTALLATØR

Navn	Institutt for Elkraftteknikk
Adresse	
Postboks	
Postnr./-sted	7491 TRONDHEIM
Telefon	73 59 42 10
Telefaks	
Epost	

DATA OM MELDING OM ARBEID / SAMSVARERKLÆRING

Ordnummer	1
Anlegget etablert	02.05.2022
Anlegget sist modifisert	13.05.2022
Anleggsfil	Regneeksempel
Melding om arbeid sendt	
Erklæring om samsvar sendt	

DEFINISJON AV ANLEGGET

Fordelingssystem	TN-C-S
Systemspenning	400 V
Beregningene starter fra	Beregne fra fordeling
Nettfrekvens	50 Hz
Spenningsfall beregnes fra fordeling	BYGGESTRØMSSKAP_LV
Varslingsgrense spenningsfall totalt	4 %
Varslingsgrense spenningsfall til "siste" fordeling	2 %
Spenningsfall til fordelinger beregnes med basis i dimensjonerende belastningsstrøm i fordelingen	
C-faktorer iht EN 60909-0:2016 ±10%	

Anleggets adresse: Byggeveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.02
Institutt for Elkraftteknikk	Hoveddata	NEK 400:2018 400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 6.0.193 07.01.2020	Side 1 (2) av 2

Hoveddata

DATA FOR FØRSTE FORDELING (leveringspunkt, tilknytningspunkt)

Identifikasjon	INNNTAK TRAFØ_LV
Lastbeskrivelse	Inntak trafo
Antall faser	3
Fasekobling	L1-L2-L3-N
Dimensjonerende laststrøm	566,34 A
Temperatur i fordeling	30,00 °C
Jording/utjevning	Spyd / Utjevning
Fordelingstype	TN-C-S
Sammenlagret strøm [A]	L1: 558,5 L2: 558,5 L3: 558,5 N: 0,0
Totale tap [kW]	0,400

Kommentarer

DATA FOR FORANLIGGENDE NETT


I_{k3pmax}	: 37,6	kA	R_{+max}	: 0,0054	Ω
$\cos \phi$: 0,8		X_{+max}	: 0,0040	Ω
I_{k2pmin}	: 24,7	kA	R_{+min}	: 0,0065	Ω
$\cos \phi$: 0,9		X_{+min}	: 0,0032	Ω
$I_{jPENmax}$: 41,2	kA	$R_{0PENmax}$: 0,0040	Ω
$\cos \phi$: 0,8		$X_{0PENmax}$: 0,0030	Ω
$I_{jPENmin}$: 32,7	kA	$R_{0PENmin}$: 0,0041	Ω
$\cos \phi$: 0,9		$X_{0PENmin}$: 0,0020	Ω
			Z_{for}	: 0,0064	Ω

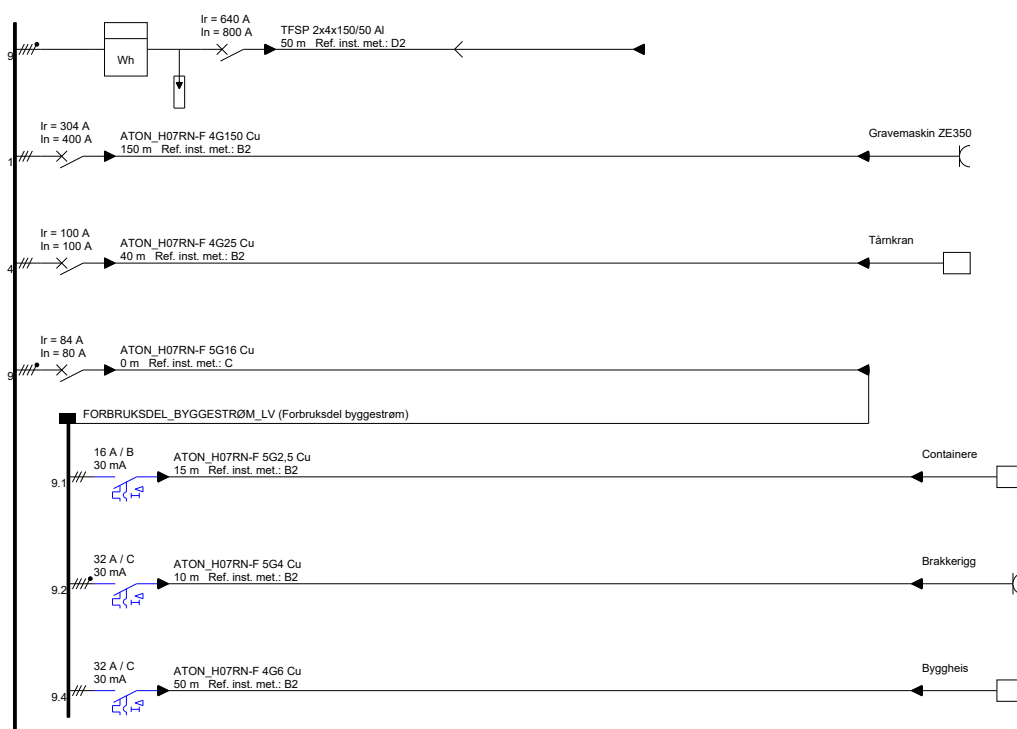
Referanse netteier :

Dato oppgitt :

Kommentarer

KOMMENTARER

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.02
Institutt for Elkraftteknikk	Hoveddata	NEK 400:2018 400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 6.0.193 07.01.2020	Side 2 (3) av 2



Institutt for Elkraftteknikk 7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	Anleggets adresse: Byggeveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.02
	Kunde, eier:	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK400_2018 400 V TN-C-S
		Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 1 (4) av 2





Institutt for Elkraftteknikk 7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12:12:02
	Kunde, eier:	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK400_2018 400 V TN-C-S
		Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 2 (5) av 2



Detaljert kursfortegnelse

Fordeling for sakkyndig betjening		Maksimale feilstrømmer og impedanser i Fordeling				Minimale feilstrømmer og impedanser i Fordeling				
Fordelingstype: TN-S		I_{k3pmax} [kA] : 20,594	$\cos \phi$: 0,86	R_+ [Ω] : 0,0105		I_{k3pmin} [kA] : 14,577	$\cos \phi$: 0,92	R_+ [Ω] : 0,0131		
Jordelektrode: Spyd		I_{k2pmax} [kA] : 17,835	$\cos \phi$: 0,86	X_+ [Ω] : 0,0064		I_{k2pmin} [kA] : 12,624	$\cos \phi$: 0,92	X_+ [Ω] : 0,0055		
Utjevningsforbindelser		I_{k1pmax} [kA] : 14,803	$\cos \phi$: 0,89	R_{0N} [Ω] : 0,0105		I_{k1pmin} [kA] : 10,306	$\cos \phi$: 0,94	R_{0N} [Ω] : 0,0131		
Sammenlagret strøm [A]: L1: 558,54 A L2: 558,54 A L3: 558,54 A N: 0,00 A		I_{pEmax} [kA] : 12,290	$\cos \phi$: 0,96	X_{0N} [Ω] : 0,0064 R_{0PE} [Ω] : 0,0246 X_{0PE} [Ω] : 0,0109		I_{pEmin} [kA] : 8,251	$\cos \phi$: 0,98	X_{0N} [Ω] : 0,0055 R_{0PE} [Ω] : 0,0305 X_{0PE} [Ω] : 0,0099		
Kurs nr.	Identifikasjon Beskrivelse Jording/utjevning	Lasttype Fasekobling Fordelingstype	Kabelidentifikasjon Kabeltype/-lederløsning Ref.inst. met.	Lengde [m]	k_t k_p k_f	I_z [A] I_b [A] ΔU [%]	Utstyr	I_{kmax} [kA] I_{kmin} [kA] I_{pmin} [kA]	Vernidentifikasjon Fabrikat Type	I_N [A] I_c [kA] I_{im} [m]
1	KURS 1 Gravemaskin ZE350	Variabel last L1-L2-L3	ATON_H07RN-F 4G150 Cu B2	150	1,00 1,00 1,00	307,00 299,93 4,71		20,594 4,334 2,669	SCHNEIDER NS400 STR23SV 400 A	400 / 304 70 lcs 767,8
4	KURS 4 Tårnkran	Fast belastning L1-L2-L3	ATON_H07RN-F 4G25 Cu B2	40	1,00 1,00 1,00	105,00 90,20 2,89		20,594 3,521 2,087	SCHNEIDER NSX100 100 A MICROLOGIC 5.2 E	100 70 lcs 662,7
9	FORBRUKSDEL_BYGGESTRØM_LV Forbruksdel byggestrøm	Gruppering L1-L2-L3-N TN-S	ATON_H07RN-F 5G16 Cu C	0	1,00 1,00 1,00	96,00 65,50 1,64		20,594 10,306 8,251	SCHNEIDER NG125 NG125 B 80 A	80 37.5 lcs 175,5
9.1 *	KURS 6 Containere	Fast belastning L1-L2-L3	ATON_H07RN-F 5G2,5 Cu B2	15	1,00 1,00 1,00	26,00 11,50 2,34	Vern 30,0 [mA]	20,594 1,161 0,674	SCHNEIDER IC60 RCBO B 4P 400V 16 A	16 25 Tab 236,7
9.2 *	KURS 7 Brakkerigg	Variabel last L1-L2-L3-N	ATON_H07RN-F 5G4 Cu B2	10	1,00 1,00 1,00	35,00 27,00 2,19	Vern 30,0 [mA]	20,594 1,519 1,459	SCHNEIDER IC60 RCBO C 4P 400V 32 A	32 25 Tab 53,6
9.4 *	KURS 5 Byggheis	Fast belastning L1-L2-L3	ATON_H07RN-F 4G6 Cu B2	50	1,00 1,00 1,00	44,00 27,00 3,50	Vern 30,0 [mA]	20,594 0,858 0,498	SCHNEIDER IC60 RCBO C 4P 400V 32 A	32 25 Tab 139,7
Institutt for Elkraftteknikk		Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge			Anlegg: Regneeksempel			Dato: 13.05.2022 12.12.02		
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10		Kunde, eier:			Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV			NEK 400:2018 400 V TN-S		
					Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020			Side 1 (6) av 2		

Detaljert kursfortegnelse

Fordeling for sakkyndig betjening		Maksimale feilstrømmer og impedanser i				Fordeling		Minimale feilstrømmer og impedanser i				Fordeling	
Fordelingstype: TN-S		I_{k3pmax} [kA] : 20,594	$\cos \phi$: 0,86	R+ [Ω] : 0,0105		I_{k3pmin} [kA] : 14,577	$\cos \phi$: 0,92	R+ [Ω] : 0,0131					
Jordelektrode: Spyd		I_{k2pmax} [kA] : 17,835	$\cos \phi$: 0,86	X+ [Ω] : 0,0064		I_{k2pmin} [kA] : 12,624	$\cos \phi$: 0,92	X+ [Ω] : 0,0055					
Utjevningsforbindelser		I_{k1pmax} [kA] : 14,803	$\cos \phi$: 0,89	R _{0N} [Ω] : 0,0105		I_{k1pmin} [kA] : 10,306	$\cos \phi$: 0,94	R _{0N} [Ω] : 0,0131					
Sammenlagret strøm [A]: L1: 558,54 A L2: 558,54 A L3: 558,54 A N: 0,00 A		I_{pEmax} [kA] : 12,290	$\cos \phi$: 0,96	X _{0N} [Ω] : 0,0064		I_{pEmin} [kA] : 8,251	$\cos \phi$: 0,98	X _{0N} [Ω] : 0,0055					
				R _{0PE} [Ω] : 0,0246				R _{0PE} [Ω] : 0,0305					
				X _{0PE} [Ω] : 0,0109				X _{0PE} [Ω] : 0,0099					
Kurs nr.	Identifikasjon Beskrivelse Jording/utjevning	Lasttype Fasekobling Fordelingstype	Kabelidentifikasjon Kabeltype/-lederløsning Ref.inst. met.	Lengde [m]	k_t k_p k_f	I_z [A] I_b [A] ΔU [%]	Utstyr	I_{kmax} [kA] I_{kmin} [kA] I_{pmin} [kA]	Vernidentifikasjon Fabrikat Type	I_N [A] I_c [kA] I_{im} [m]			
10	KURS 8 Batteribank	Fast belastning L1-L2-L3	ATON_H07RN-F 4G35 Cu B2	50	1,00 1,00 1,00	128,00 125,00 3,45		20,594 3,774 2,247	SCHNEIDER NS160 STR22GE 160 A	160 / 131, 36 lcs 492,4			
Institutt for Elkraftteknikk		Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge		Anlegg: Regneeksempel			Dato: 13.05.2022 12.12.02						
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10		Kunde, eier:		Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV			NEK 400:2018 400 V TN-S						
				Vs. 6.0.193 Dato. 07.01.2020			Side 2 (7) av 2						

Beregningsresultater

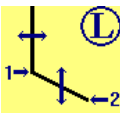
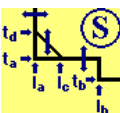
Kurs nr. 1

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Variabel last	: KURS 1		
Beskrivelse	: Gravemaskin ZE350		
Merkespenning	: 400 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 299,93 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 1		
Merkeeffekt, Pn	: 207,8 kW	Utnyttelsegrad	: 1
Merkeytelse, Sn	: 207,8 kVA	Samtidighetsfaktor	: 1

Spenningsfall totalt	: 10,9 V	4,71 %	Klemmespenning	: 381,2 V
...til siste fordeling	: 3,8 V	1,64 %		
...over Kabel	: 8,2 V	3,55 %	Maksimal lengde	: 115,1 m

Kabel	:		
Kabeltype/-lederløsning	: ATON_H07RN-F 4G150 Cu		
Ref. inst. met.	: B2		
Omgivelsestemperatur	: 30,0 °C	Ingen parallelle kurser	
Kabellengde	: 150,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 0,00 W	0,00 W/m	
Strømføringsevne	: 307,00 A	Laststrøm i kabel	299,93 A

Kombinert vern, merking	:		
Fabrikkat	: SCHNEIDER	Artikkel nummer	:
Bryterenhet	: NS400	EAN-nummer	:
Utløserenhet	: STR23SV	Bryteevne	: 70,00 kA Ics
Merkestrøm	: 400,00 A	I2-verdi	: 523,90 A
		I5-(Im-) verdi	: 5060,00 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 767,8 m
	Min tillatt	Max tillatt	Instilt verdi
Ir	: 0,760 / 304,0 A	0,760 / 304,0 A	0,760 / 304,0 A
	:		
	Min tillatt	Max tillatt	Instilt verdi
I _{sd}	: 2,000 / 608,0 A	7,000 / 2128,0 A	5,000 / 1520,0 A
	:		

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 1 (8) av 8

Beregningsresultater

Kurs nr.

1

	Kombinert vern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	20,594	0,86	20,594	1,085	0,040
Ik3p max ende	7,185	0,82	7,185	8,913	0,040
Ik3p min	5,004	0,89	5,004	18,375	0,058
Ik2p max	17,835	0,86	17,835	1,446	0,040
Ik2p max ende	6,222	0,82	6,222	11,885	0,040
Ik2p min	4,334	0,89	4,334	24,495	0,058
Ij max	12,290	0,96	12,290	3,046	0,040
Ij max ende	3,935	0,88	3,935	29,714	0,058
Ij min	2,669	0,93	2,669	64,589	0,058

@ = Vernet tilfredsstiller ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 2 (9) av 8

Beregningsresultater

Kurs nr.

4

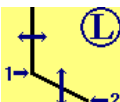
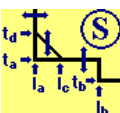
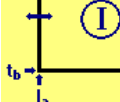
Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Fast belastning	: KURS 4		
Beskrivelse	: Tårnkran		
Merkespennning	: 400 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 90,20 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 0.8		
Merkeeffekt, Pn	: 50,0 kW	Utnyttelsegrad	: 1
Merkeytelse, Sn	: 62,5 kVA	Samtidighetsfaktor	: 1

Spenningsfall totalt	: 6,7 V	2,89 %	Klemmespenning	: 388,5 V
...til siste fordeling	: 3,8 V	1,64 %		
...over Kabel	: 3,4 V	1,46 %	Maksimal lengde	: 75,9 m

Kabel	:		
Kabeltype/-lederløsning	: ATON_H07RN-F 4G25 Cu		
Ref. inst. met.	: B2		
Omgivelsestemperatur	: 30,0 °C	Ingen parallelle kurser	
Kabellengde	: 40,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 0,00 W	0,00 W/m	
Strømføringsevne	: 105,00 A	Laststrøm i kabel	90,20 A

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SCHNEIDER	Artikkel nummer	:
Bryterenhet	: NSX100	EAN-nummer	:
Utløserenhet	: MICROLOGIC 5.2 E	Bryteevne	: 70,00 kA Ics
Merkestrøm	: 100,00 A	I2-verdi	: 120,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 1725,00 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer			: 662,7 m

	Min tillatt	Max tillatt	Instilt verdi
Ir	: 0,910 / 91,0 A	1,000 / 100,0 A	1,000 / 100,0 A
tr	: 0,500 s	16,000 s	16,000 s
	Min tillatt	Max tillatt	Instilt verdi
I _{sd}	: 1,500 / 150,0 A	10,000 / 1000,0 A	5,500 / 550,0 A
I _{tsd}	: 0,05 s	0,40 s	0,05 s
	Min tillatt	Max tillatt	Instilt verdi
I _{li}	: 5,500 / 550,0 A	15,000 / 1500,0 A	10,000 / 1000,0 A

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 3 (10) av 8

Beregningsresultater

Kurs nr.

4

	Kortslutningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	20,594	0,86	20,594	0,030	0,045
Ik3p max ende	6,199	0,97	6,199	0,333	0,045
Ik3p min	4,065	0,98	4,065	0,773	0,045
Ik2p max	17,835	0,86	17,835	0,040	0,045
Ik2p max ende	5,369	0,97	5,369	0,443	0,045
Ik2p min	3,521	0,98	3,521	1,031	0,045
Ij max	12,290	0,96	12,290	0,085	0,045
Ij max ende	3,213	0,99	3,213	1,238	0,045
Ij min	2,087	0,99	2,087	2,934	0,045

@ = Vernet tilfredsstiller ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 4 (11) av 8

Beregningsresultater

Kurs nr.

9

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Gruppering	: FORBRUKSDEL_BYGGESTRØM	Fordelingstype	: TN-S
Beskrivelse	: Forbruksdel byggestrøm		
Merkespenning	: 400 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 65,5 A	Fasekobling	: L1-L2-L3-N
Cos phi	: 0.9	Temperatur i fordeling	: 30 °C
Merkeeffekt, Pn	: 40,9 kW	Kurs nr innmating	:
Merkeytelse, Sn	: 45,4 kVA		:
Sammenlagret strøm	: L1: 63,6 A	L2: 63,6 A	L3: 63,6 A N: 0,0 A
Sum nedstrøms tap	: 0,4 [kW]		
	:		

Spenningsfall totalt	: 3,8 V	1,64 %	Klemmespenning	: 393,4 V
...til siste fordeling	: 3,8 V	1,64 %		
...over Kabel	: 0,0 V	0,00 %	Maksimal lengde	: 0,0 m

Kabel	:			
Kabeltype/-ledeløsning	: ATON_H07RN-F 5G16 Cu			
Ref. inst. met.	: C			
Omgivelsestemperatur	: 30,0 °C	Ingen parallelle kurser		
Kabellengde	: 0,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1	
Tap i kabel	: 0,00 W	NaN W/m		
Strømføringsevne	: 96,00 A	Laststrøm i kabel	65,50 A	

Kombinert vern, merking	:			
Fabrikkat	: SCHNEIDER	Artikkel nummer	: 18776	
Bryterenhet	: NG125	EAN-nummer	:	
Utløserenhet	: NG125 B	Bryteevne	: 37,50 kA Ics	
Merkestrøm	: 80,00 A	I2-verdi	: 109,20 A	
		I5-(I _m -) verdi	: 384,00 A	
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstrømmer				: 175,5 m

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 5 (12) av 8

Beregningsresultater

Kurs nr.

9

	Kombinert vern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	20,594	0,86	20,594	0,012	0,010
Ik3p max ende	20,594	0,86	20,594	0,012	0,010
Ik3p min	14,577	0,92	14,577	0,025	0,010
Ik2p max	17,835	0,86	17,835	0,016	0,010
Ik2p max ende	17,835	0,86	17,835	0,016	0,010
Ik2p min	12,624	0,92	12,624	0,033	0,010
Ik1p max	14,803	0,89	14,803	0,024	0,010
Ik1p max ende	14,803	0,89	14,803	0,024	0,010
Ik1p min	10,306	0,94	10,306	0,049	0,010
Ij max	12,290	0,96	12,290	0,035	0,010
Ij max ende	12,290	0,96	12,290	0,035	0,010
Ij min	8,251	0,98	8,251	0,077	0,010

@ = Vernet tilfredsstiller ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 6 (13) av 8

Beregningsresultater

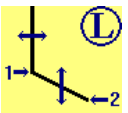
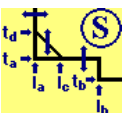
Kurs nr. 10

Det er angitt at kursen ikke behøver å være beskyttet av et strømstyrt jordfeilvern

Fast belastning	: KURS 8		
Beskrivelse	: Batteribank		
Merkespennning	: 400 V	Antall faser	: 3
Laststrøm	: 125,00 A	Fasekobling	: L1-L2-L3
Cos phi	: 1		
Merkeeffekt, Pn	: 86,6 kW	Utnyttelsegrad	: 1
Merkeytelse, Sn	: 86,6 kVA	Samtidighetsfaktor	: 1

Spenningsfall totalt	: 8,0 V	3,45 %	Klemmespenning	: 386,2 V
...til siste fordeling	: 3,8 V	1,64 %		
...over Kabel	: 4,2 V	1,83 %	Maksimal lengde	: 65,3 m

Kabel	:		
Kabeltype/-lederløsning	: ATON_H07RN-F 4G35 Cu		
Ref. inst. met.	: B2		
Omgivelsestemperatur	: 30,0 °C	Ingen parallelle kurser	
Kabellengde	: 50,0 m	Annen korreksjonsfaktor	1
Tap i kabel	: 0,00 W	0,00 W/m	
Strømføringsevne	: 128,00 A	Laststrøm i kabel	125,00 A

Kortslutningsvern, merking	:		
Fabrikkat	: SCHNEIDER	Artikkel nummer	:
Bryterenhet	: NS160	EAN-nummer	:
Utløserenhet	: STR22GE	Bryteevne	: 36,00 kA Ics
Merkestrøm	: 160,00 A	I2-verdi	: 208,00 A
		I5-(Im-) verdi	: 2024,00 A
Kabel, største lengde som vil gi elektromagnetisk utkobling av alle feilstømmer	: 492,4 m		
	Min tillatt	Max tillatt	Instilt verdi
Ir	: 0,784 / 125,4 A	1,000 / 160,0 A	0,820 / 131,2 A
	Min tillatt	Max tillatt	Instilt verdi
Isd	: 2,000 / 262,4 A	10,000 / 1312,0 A	6,000 / 787,2 A

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 7 (14) av 8

Beregningsresultater

Kurs nr.

10

	Kortslutningsvern				
	Ik [kA]	cos phi	i [kA]	Kabel $t=k^2S^2/I^2$ [s]	t utkobling [s]
Ik3p max	20,594	0,86	20,594	0,059	0,040
Ik3p max ende	6,611	0,96	6,611	0,573	0,040
Ik3p min	4,358	0,98	4,358	1,319	0,040
Ik2p max	17,835	0,86	17,835	0,079	0,040
Ik2p max ende	5,725	0,96	5,725	0,764	0,040
Ik2p min	3,774	0,98	3,774	1,759	0,040
Ij max	12,290	0,96	12,290	0,166	0,040
Ij max ende	3,449	0,98	3,449	2,106	0,040
Ij min	2,247	0,99	2,247	4,961	0,040

@ = Vernet tilfredsstillende ikke alle krav i forskrift/norm

= Ikke forskriftsstridig, men vær oppmerksom på løsningen

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Beregningsresultater for anlegget: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Fordeling BYGGSTRØMSSKAP_LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 Ver. 6.0.193 Dato. 07.01.2020	Side 8 (15) av 8

INNTAK TRAFØ LV

I_{kmax} : 41,205 kA
 I_{kmin} : 24,746 kA

A



BYGGSTRØMSSKAP LV

I_{kmax} : 20,594 kA
 I_{kmin} : 8,251 kA

B

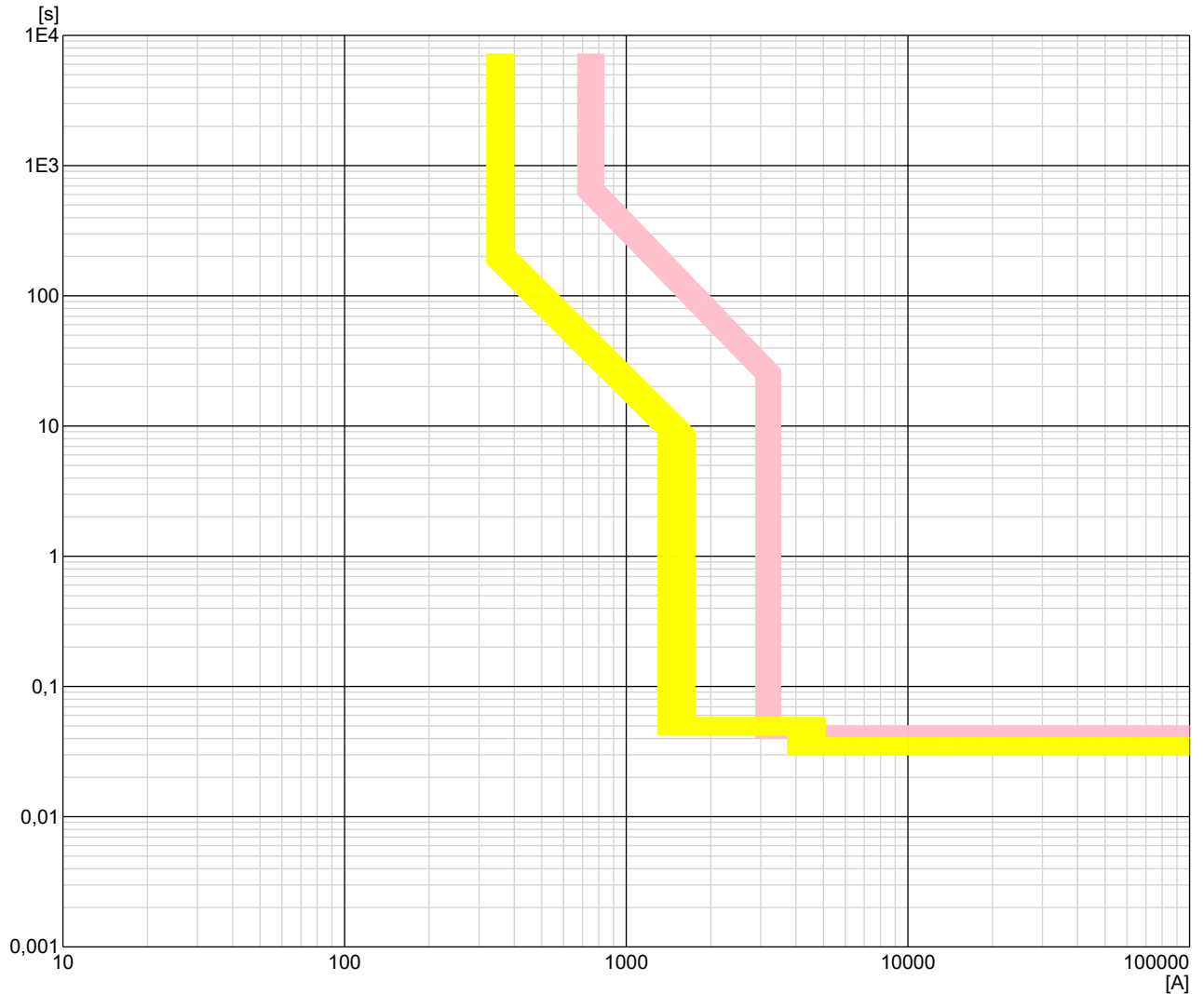


Selektivetsanalyse

Kurs nr.: 1

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SCHNEIDER	NS800N MICROLOGIC 2,0 800 A	800
B	SCHNEIDER	NS400 STR23SV 400 A	400

Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	2036	Gjennomsluppet strøm	B



Anleggets adresse:

Byggveien 1
0000 Norge

Anlegg:

Regneeksempel

Dato: 13.05.2022 12.12.03

Institutt for Elkraftteknikk

7491 TRONDHEIM
Tel: 73 59 42 10

Fordeling

BYGGSTRØMSSKAP_LV

6.0.193
07.01.2020

NEK 400:2018

400 V TN-S

Side 1 (16)
av 7

INNTAK TRAFØ LV

I_{kmax} : 41,205 kA
 I_{kmin} : 24,746 kA

A



BYGGSTRØMSSKAP LV

I_{kmax} : 20,594 kA
 I_{kmin} : 8,251 kA

B

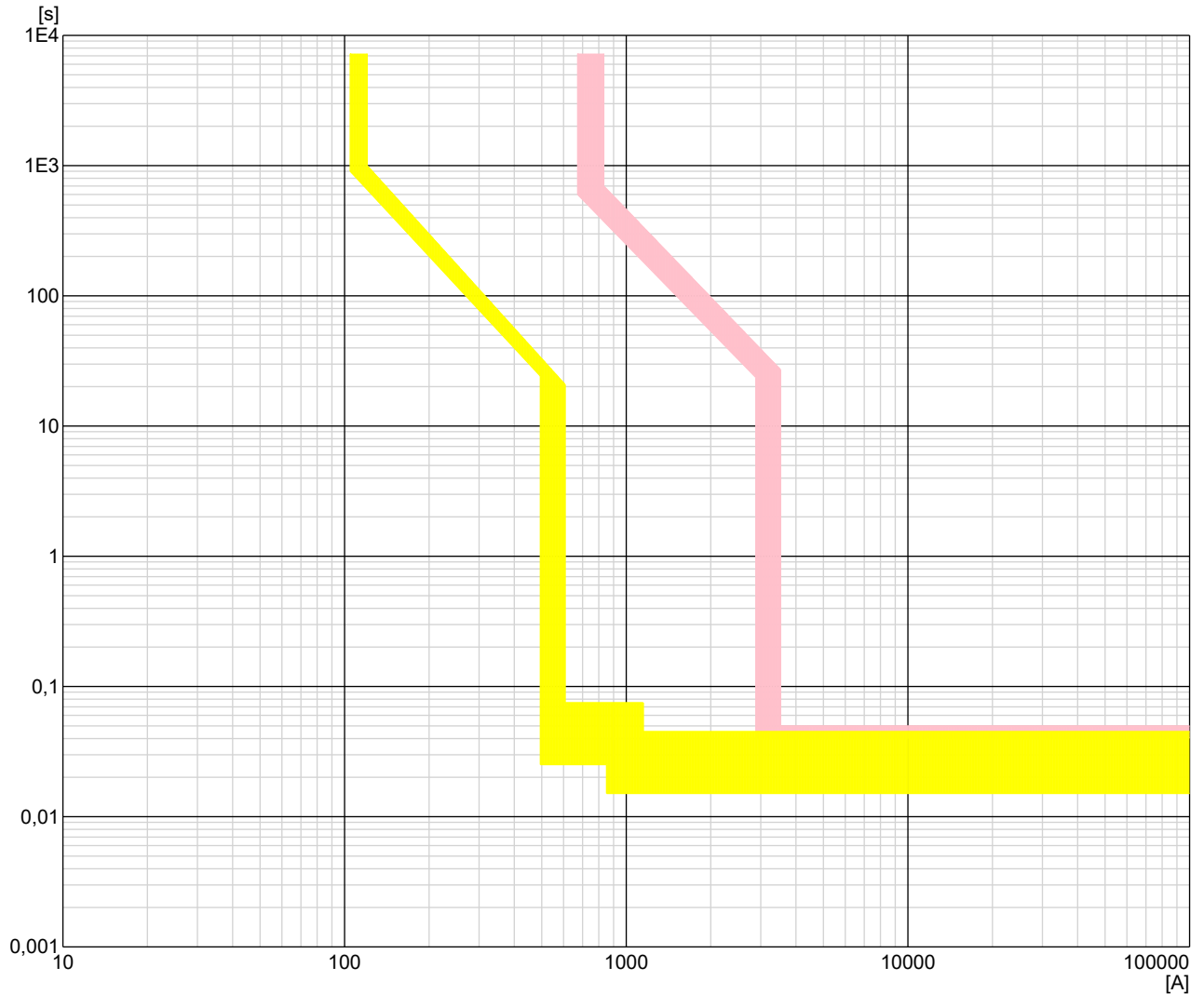


Selektivetsanalyse

Kurs nr.: 4

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SCHNEIDER	NS800N MICROLOGIC 2,0 800 A	800
B	SCHNEIDER	NSX100 100 A MICROLOGIC 5.2 E 100 A	100

Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	50000	Tabell	A



Anleggets adresse:

Byggveien 1
0000 Norge

Anlegg:

Regneeksempel

Dato: 13.05.2022 12.12.03

Institutt for Elkraftteknikk

7491 TRONDHEIM
Tel: 73 59 42 10

Fordeling

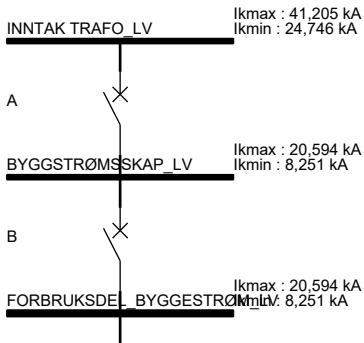
BYGGSTRØMSSKAP_LV

6.0.193
07.01.2020

NEK 400:2018

400 V TN-S

Side 2 (17)
av 7

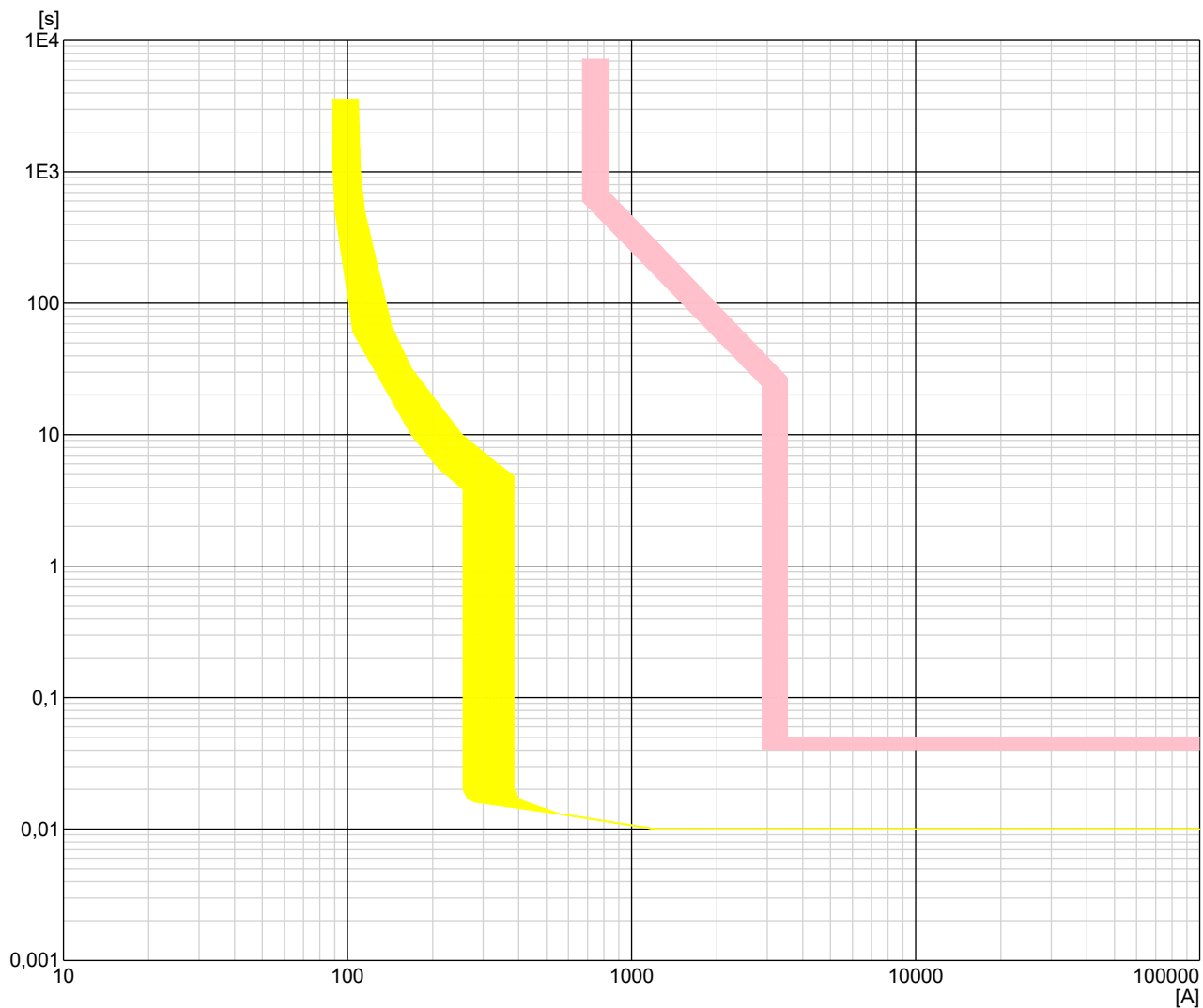


Selektivetsanalyse

Kurs nr.: 9

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SCHNEIDER	NS800N MICROLOGIC 2,0 800 A	800
B	SCHNEIDER	NG125 NG125 B 80 A	80

Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	1983	Gjennomsluppet strøm	B



Anleggets adresse:

Byggveien 1
0000 Norge

Anlegg:

Regneeksempel

Dato: 13.05.2022 12.12.03

Institutt for Elkraftteknikk

7491 TRONDHEIM
Tel: 73 59 42 10

Fordeling

BYGGSTRØMSSKAP_LV



6.0.193
07.01.2020

NEK 400:2018

400 V TN-S

Side 3 (18)
av 7

INNTAK TRAFØ LV

I_{kmax} : 41,205 kA
 I_{kmin} : 24,746 kA

A



BYGGSTRØMSSKAP LV

I_{kmax} : 20,594 kA
 I_{kmin} : 8,251 kA

B

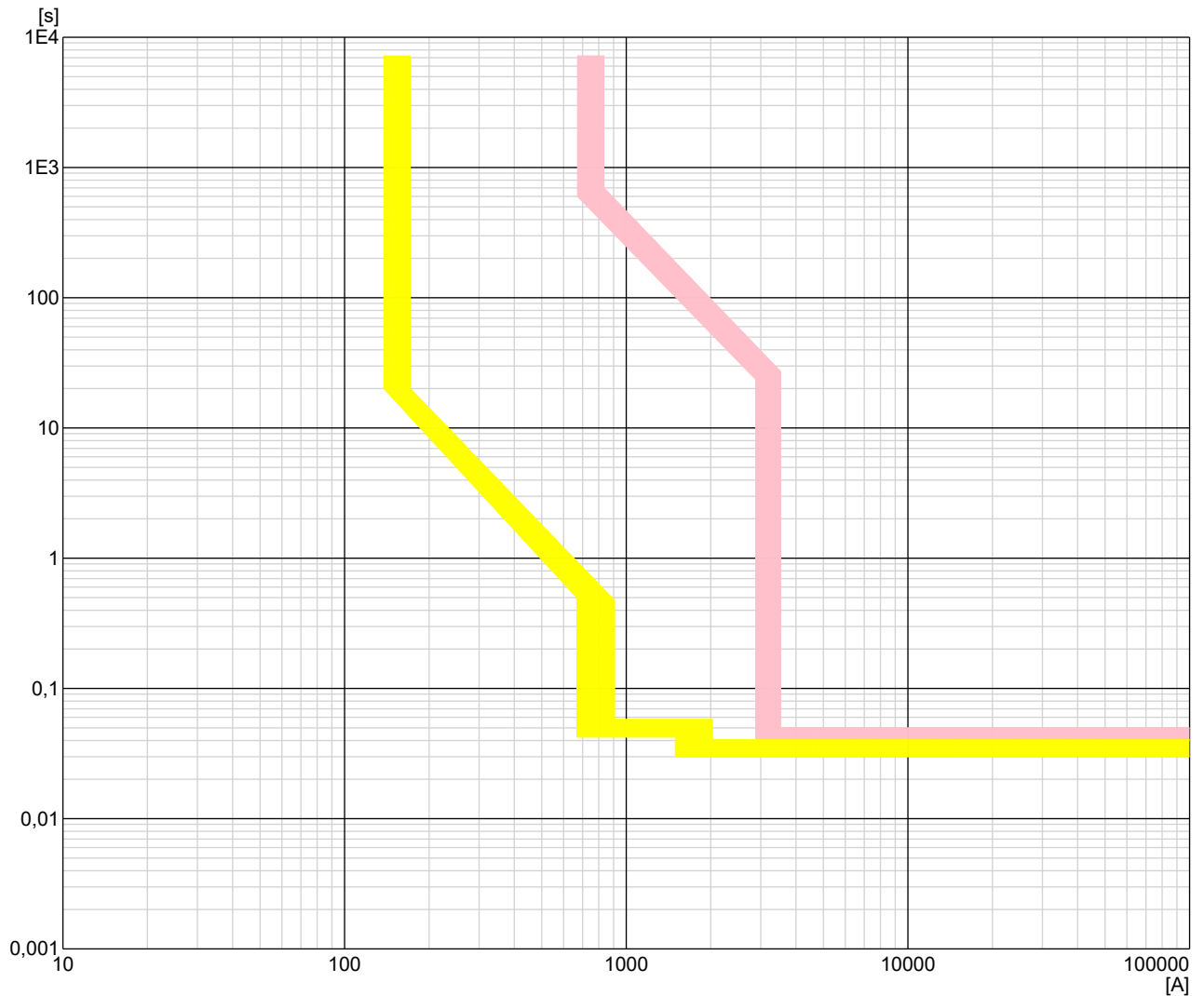


Selektivetsanalyse

Kurs nr.: 10

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SCHNEIDER	NS800N MICROLOGIC 2,0 800 A	800
B	SCHNEIDER	NS160 STR22GE 160 A	160

Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	1382	Gjennomsluppet strøm	B



Anleggets adresse:

Byggveien 1
0000 Norge

Anlegg:

Regneeksempel

Dato: 13.05.2022 12.12.03

Institutt for Elkraftteknikk

7491 TRONDHEIM
Tel: 73 59 42 10

Gruppering

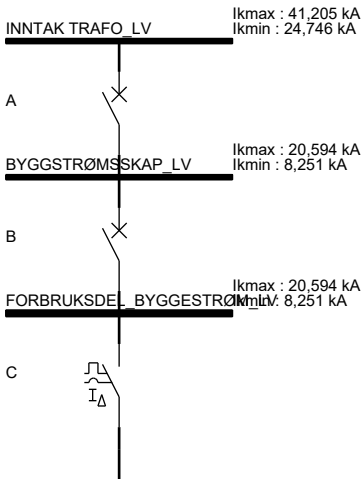
BYGGSTRØMSSKAP_LV

6.0.193
07.01.2020

NEK 400:2018

400 V TN-S

Side 4 (19)
av 7

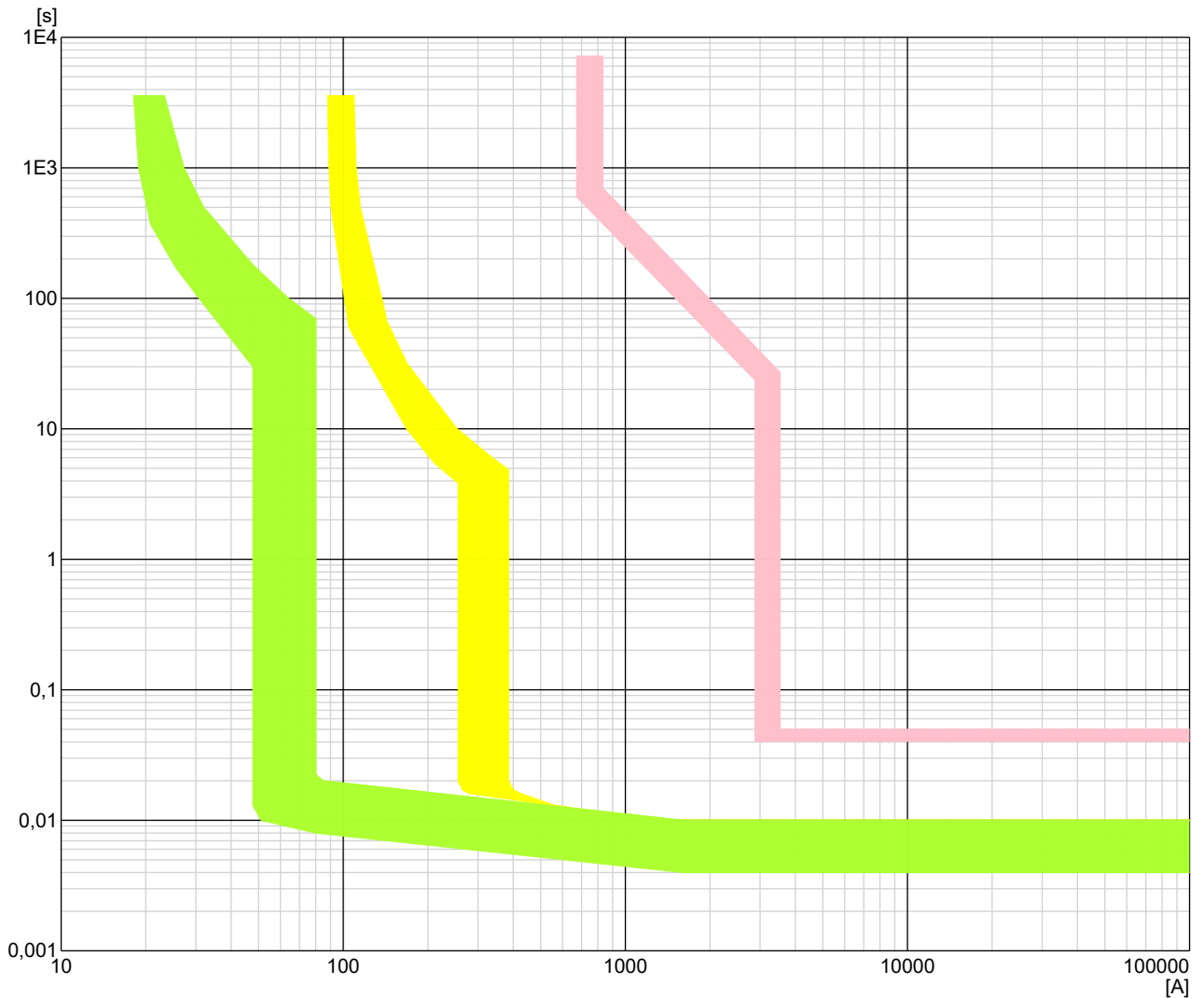


Selektivetsanalyse

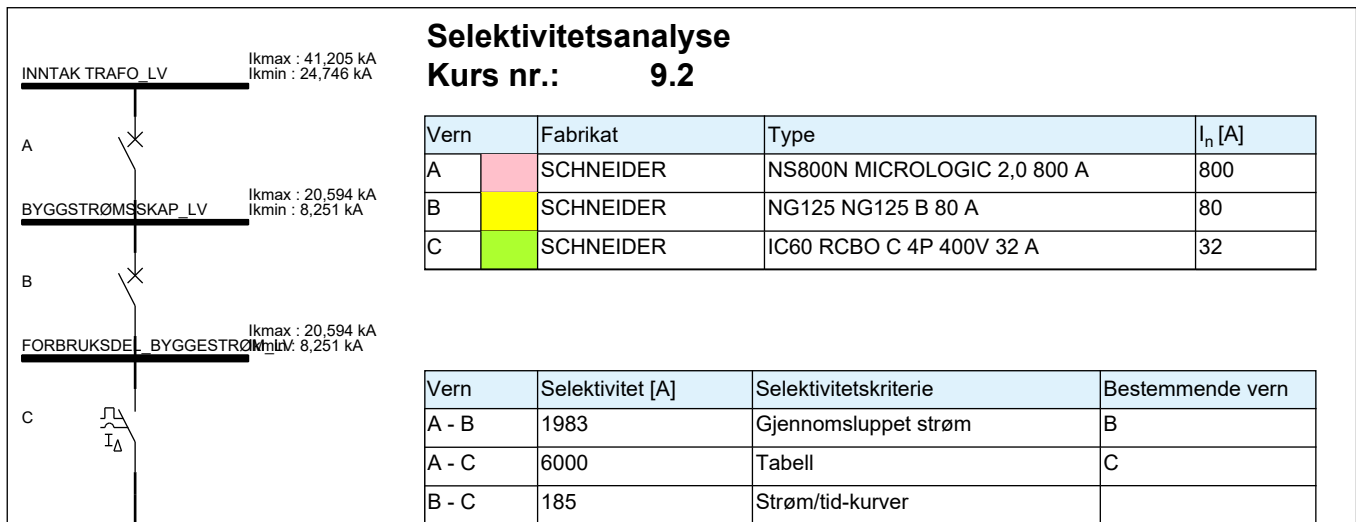
Kurs nr.: 9.1

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SCHNEIDER	NS800N MICROLOGIC 2,0 800 A	800
B	SCHNEIDER	NG125 NG125 B 80 A	80
C	SCHNEIDER	IC60 RCBO B 4P 400V 16 A	16

Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	1983	Gjennomsluppet strøm	B
A - C	6000	Tabell	C
B - C	354	Gjennomsluppet strøm	C



Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Gruppering FORBRUKSDEL_BYGGESTR ØM LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	6.0.193 07.01.2020	Side 5 (20) av 7

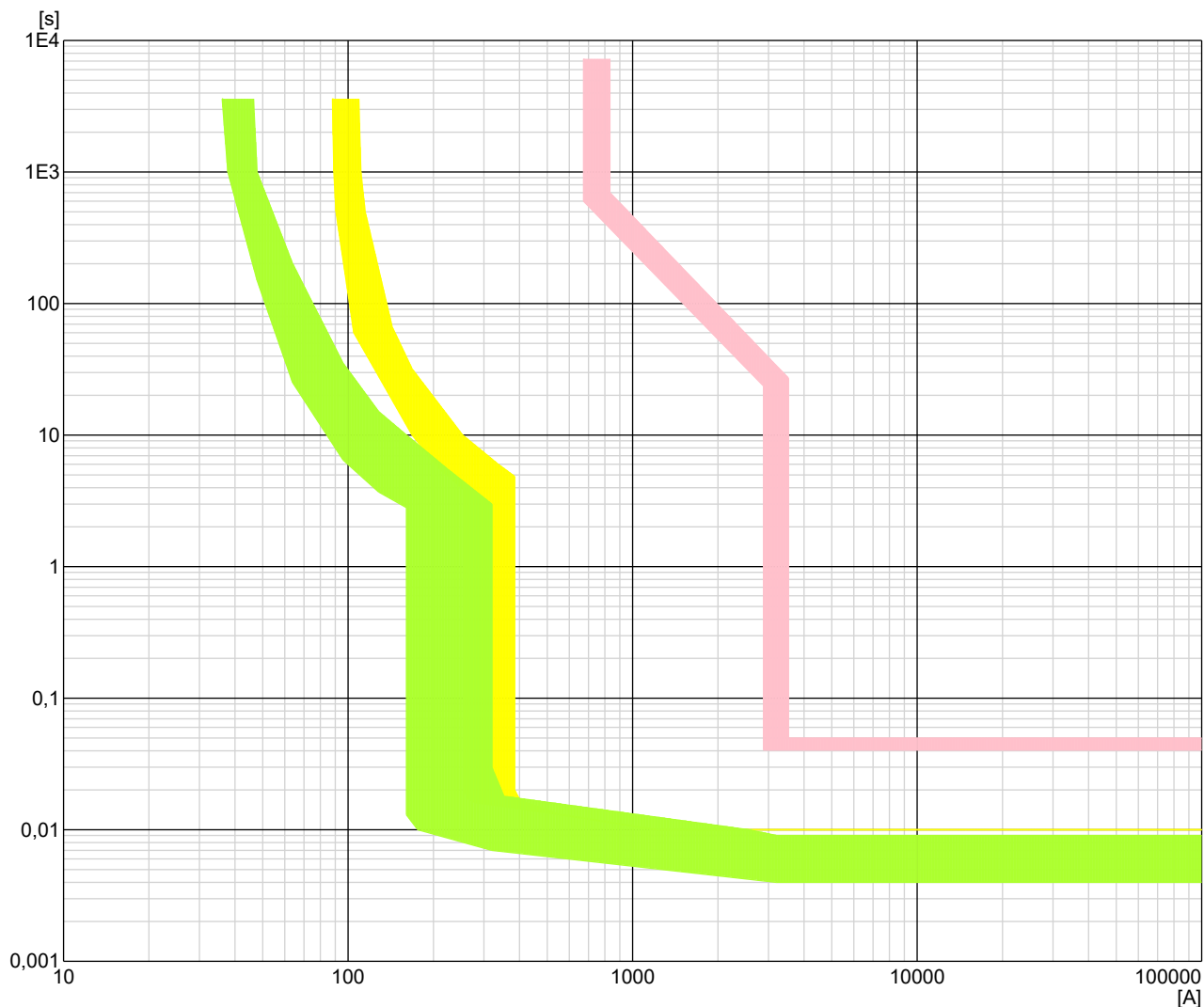


Selektivetsanalyse

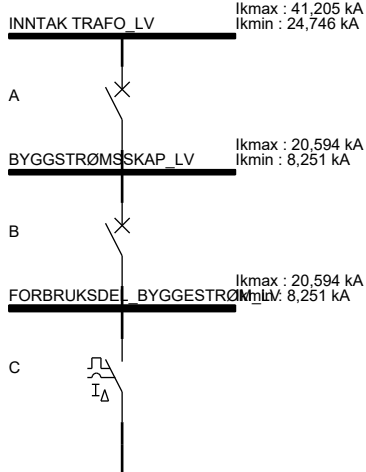
Kurs nr.: 9.2

Vern	Fabrikat	Type	I _n [A]
A	SCHNEIDER	NS800N MICROLOGIC 2,0 800 A	800
B	SCHNEIDER	NG125 NG125 B 80 A	80
C	SCHNEIDER	IC60 RCBO C 4P 400V 32 A	32

Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	1983	Gjennomsluppet strøm	B
A - C	6000	Tabell	C
B - C	185	Strøm/tid-kurver	



Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Gruppering FORBRUKSDEL_BYGGESTRØM LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	6.0.193 07.01.2020	Side 6 (21) av 7

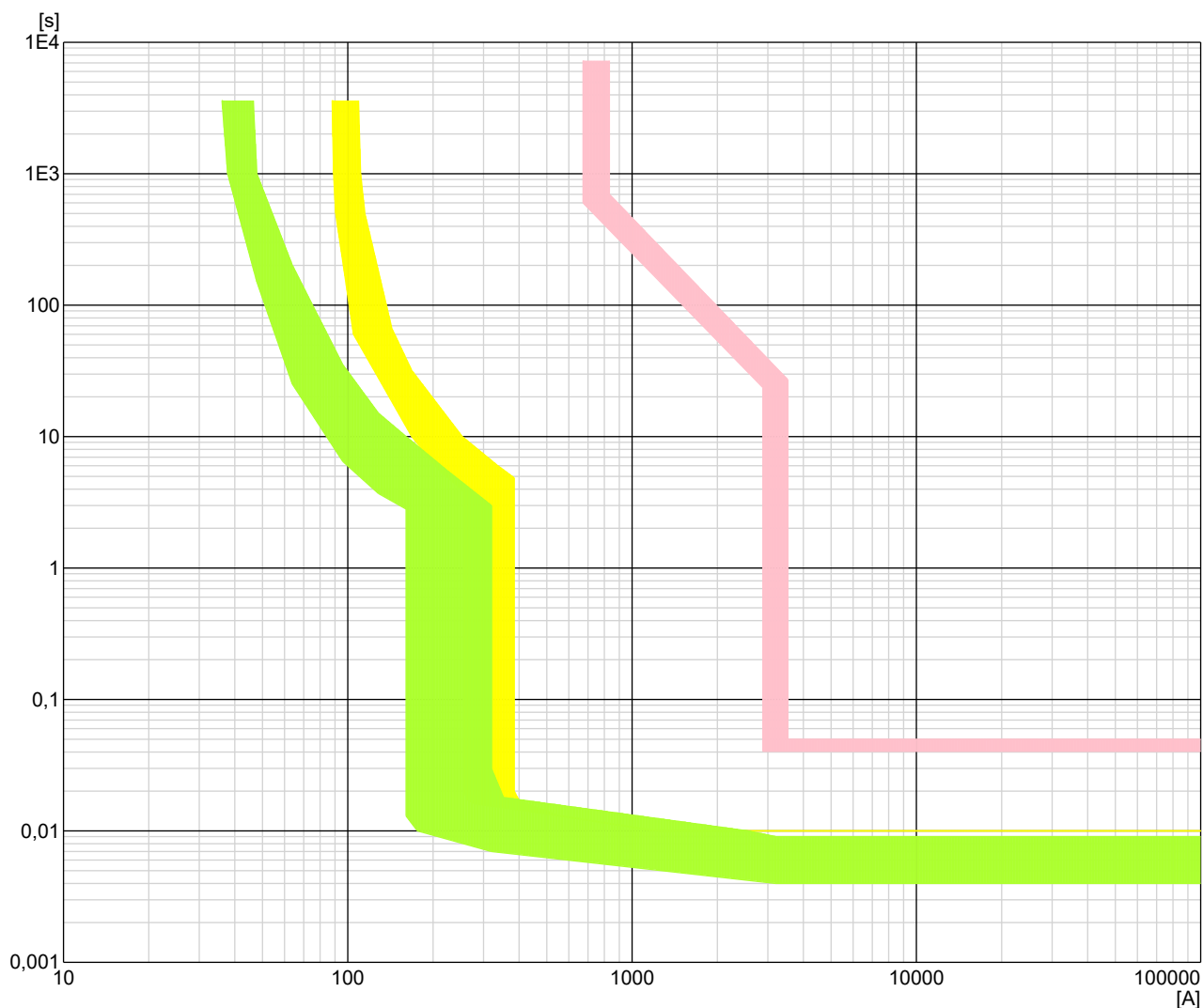


Selektivetsanalyse

Kurs nr.: 9.4

Vern	Fabrikat	Type	I_n [A]
A	SCHNEIDER	NS800N MICROLOGIC 2,0 800 A	800
B	SCHNEIDER	NG125 NG125 B 80 A	80
C	SCHNEIDER	IC60 RCBO C 4P 400V 32 A	32

Vern	Selektivitet [A]	Selektivetskriterie	Bestemmende vern
A - B	1983	Gjennomsluppet strøm	B
A - C	6000	Tabell	C
B - C	185	Strøm/tid-kurver	



Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.03
Institutt for Elkraftteknikk	Gruppering FORBRUKSDEL_BYGGESTR ØM LV	NEK 400:2018 400 V TN-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	6.0.193 07.01.2020	Side 7 (22) av 7

Index	Beskrivelse
Ik3pmax	Største trepolte kortslutningsstrøm i fordelingen, feil fase-fase-fase
Ik2pmax	Største topolte kortslutningsstrøm i fordelingen, feil fase-fase
Ik1pmax	Største enpolte kortslutningsstrøm i fordelingen, feil mellom fase og N-leder
IjPEmax	Største enpolte jordfeilstrom i fordelingen, feil mellom fase og PE-leder
IjPENmax	Største enpolte jordfeilstrom i fordelingen, feil mellom fase og PEN-leder
Ik3pmin	Minste trepolte kortslutningsstrøm i fordelingen, feil fase-fase-fase
Ik2pmin	Minste topolte kortslutningsstrøm i fordelingen, feil fase-fase
Ik1pmin	Minste enpolte kortslutningsstrøm i fordelingen, feil mellom fase og N-leder
IjPEmin	Minste enpolte jordfeilstrom i fordelingen, feil mellom fase og PE-leder
IjPENmin	Minste enpolte jordfeilstrom i fordelingen, feil mellom fase og PEN-leder
Ik2pj	Minste doble jordfeilstrom i fordelingen ved IT fordelingsystem.
cos φ	Cos(θ) (effektfaktor) for vedkommende feilstrom
R+	Positiv systemresistans for den relevante tilstand (max/min)
X+	Positiv systemreaktans for den relevante tilstand (max/min)
R0N	Nullsystemresistans med N-leder som returvei for feilstrom i den relevante tilstand (max/min)
X0N	Nullsystemreaktans med PE-leder som returvei for feilstrom i den relevante tilstand (max/min)
R0PE	Nullsystemreaktans med PE-leder som returvei for feilstrom i den relevante tilstand (max/min)
X0PE	Nullsystemreaktans med PE-leder som returvei for feilstrom i den relevante tilstand (max/min)
R0PEN	Nullsystemresistans med PEN-leder som returvei for feilstrom i den relevante tilstand (max/min)
X0PEN	Nullsystemreaktans med PEN-leder som returvei for feilstrom i den relevante tilstand (max/min)
Jording/utjevning	Indikerer bruke av jordelektrode og/eller utjevningsforbindelser ved belastningen
Fasekobling	Kursens/belastningens fasekobling, er viktig for sammenlagring av strømmen og beregning av spenningsfall
Fordelingstype	Fordelingstypen for fordelingen kursen går til, styrer mulige fasekoblinger for utgående kurser derfra
Kabeltype ...	Beskrivelse av kabeltype og lederløsning (evt strømskinne) som er benyttet i kursen
Ref. inst. met.	Dimensjonerende referansinstallasjonsmetode for kursen, angitt med koder i hht normer og forskrifter
Lengde	Lengde av kabel/strømskinne som er benyttet i kursen
kt	Korreksjonsfaktor for strømføringsevne mht omgivelsestemperatur
kp	Korreksjonsfaktor for strømføringsevne mht parallelle kabler/skinne/føringer
kf	Annen brukerbestemt korreksjonsfaktor for strømføringsevne
lb	Dimensjonerende belastningsstrøm
lz	Strømføringsevne for aktuell kabel/strømskinne
ΔU	Spenningsfall, %-vis reduksjon av klemmespenning i forhold til lastens nominelle spenning
Utstyr	Utstyr som er montert i kursen, så som jordfeilvern/-varsler, måler, skillebryter/kontaktor, overspenningsvern mm
Ikmax	Største kortslutningsstrøm for kursen
Ikmin	Minste kortslutningsstrøm for kursen
Ijmin	Minste jordfeilstrom for kursen
Fabrikat	Fabrikant (leverandør) av vernet, benyttes for å identifisere vernet
Type	Vernets typebetegnelse, definert av vernets fabrikant
IN	Vernets merkestrøm
Ic	Vernets bryteevne
Icu	Icu - vernets maksimale bryteevne definert iht NEK EN 60947
Ics	Ics - vernets service bryteevne, definert iht NEK EN 60898 for automater og iht NEK EN 60947 for effektbrytere
Icn	Icn - vernets nominelle bryteevne for automater definert iht NEK EN 60898
Ics*	Ics* - vernets service bryteevne for automater iht NEK EN 60947
Ic	Ic - sikringenes bryteevne i ht NEK EN 60269
TAB	TAB - vernets bryteevne definert iht backuptabell fra leverandør
NB!	NB! - Bryteevnen er ikke god nok
lIm	Maksimal lengde av kabel/strømskinne hvor vernet vil gi momentan utkobling av alle feilstrommer.

Anleggets adresse: Byggveien 1 0000 Norge	Anlegg: Regneeksempel	Dato: 13.05.2022 12.12.04
Institutt for Elkraftteknikk	Indeksforklaring	NEK 400:2018 400 V TN-C-S
7491 TRONDHEIM Tel: 73 59 42 10	 6.0.193 07.01.2020	Side 1 (23) av 1

Indeks

Rapport Navn	Rapport side	Antall sider
Forside	1	1
Hoveddata	2	2
Fordelingsskjema	4	2
Detaljert kursfortegnelse	6	2
Beregningsresultater	8	8
Selektivetsanalyse	16	7
Indexforklaring kursfortegnelse	23	1
Meldinger for kurser	24	1

