

Mathias Mathiesen Hagane
Eskil Bogstad Furset
Mareno Sæther
Elisabeth Øen

Energifleksibilitetens innvirkning på distribusjonsnettet

The impact of energy flexibility in the distribution
grid

Bacheloroppgave i Elkraftteknikk

Veileder: Gro Klæboe

Medveileder: Sigurd Bjarghov

Mai 2021

Mathias Mathiesen Hagane
Eskil Bogstad Furset
Mareno Sæther
Elisabeth Øen

Energifleksibilitetens innvirkning på distribusjonsnett

The impact of energy flexibility in the distribution grid

Bacheloroppgave i Elkraftteknikk
Veileder: Gro Klæboe
Medveileder: Sigurd Bjarghov
Mai 2021

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



Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

Oppgavens tittel: Energifleksibilitetens innvirkning på distribusjonsnettet Project title: The impact of energy flexibility in the distribution grid	Gitt dato: 07.12.20
	Innleveringsdato: 20.05.21
	Gradering: <input checked="" type="checkbox"/> åpent <input type="checkbox"/> lukket <input type="checkbox"/> åpent fra
	Antall sider/bilag: 80/9
Gruppedeltakere: Mathias Mathiesen Hagane Eskil Bogstad Furset Mareno Sæther Elisabeth Øen	Interne veiledere: Gro Klæboe Tlf: 481 64 632 Email: gro.klaeboe@tronderenergi.no Sigurd Bjarghov Tlf: 454 60 464 Email: sigurd.bjarghov@ntnu.no
Studieretning: Elkraftteknikk	Prosjektnummer: E2129
Oppdragsgiver: Enoco AS	Kontaktperson oppdragsgiver: Ulf Roar Aakenes Tlf: 934 59 543 Email: uraa@enoco.no Simon Lilleeng Email: simonlilleeng@enoco.no

Sammendrag

Det totale energiforbruket i Norge kommer til å øke i årene som kommer, og med dagens distribusjonsnett vil det føre til en økning i overbelastninger og flaskehalsler. Til nå har en bygd ut nettet ettersom forbruket har økt, men det er både dyrt og tidkrevende. Derfor ser en etter muligheter for å utnytte det allerede eksisterende nettet gjennom fleksibilitet. NVE har definert energifleksibilitet som ”forbrukerens evne og vilje til å bytte energibærer eller endre sitt energiforbruk på kort og mellomlang sikt” [1].

Energifleksibilitet vil være en måte å utnytte det allerede eksisterende nettet med samhandling mellom forbrukere. Et fleksibelt strømmnett vil være økonomisk optimalt både for forbrukere og nettselskaper, men veien til et fleksibelt strømmnett er ikke uten hindringer. Målet med oppgaven er å kartlegge hvilke laster som kan bidra med fleksibilitet, hvor mye de kan tilby og eventuelt hvor mange år det er mulig å utsette en oppgradering av nettet.

Det har blitt gjennomført en sensitivitetsanalyse. Analysen viser til fiktive scenarioer, hvor en overbelastet transformator bruker fleksibilitet til å utsette en investering. Analysen tar for seg to scenarioer hvor det kommer frem at områder med en høyere andel elektrisk oppvarming har større potensial til å utsette en investering i transformatoren, gitt at det totale forbruket er det samme. I analysen har det blitt fokusert på topplasttimene, ettersom det er disse timene som bidrar til en overbelastning i nettet. En overbelastning skjer gjerne på kalde dager, der det er oppvarming og ventilasjon som bidrar mest til høye effekttopper. Disse lastene har også størst potensiale for fleksibilitet, enten ved å redusere eller ved å flytte effektforbruk sitt i de mest belastede timene.

Vi anser det som gunstig å benytte seg av fleksibilitet i kraftnettet og ser for oss at lastfleksibilitet har en betydning for å kunne utsette en investering i distribusjonsnettet.

Abstract

The total energy consumption in Norway will increase in the years to come, and with today's distribution grid it will lead to an increase in power peaks and bottlenecks. Until now, the grid has been upgraded and expanded as consumption has increased, but it is both expensive and time-consuming. Therefore, one looks for opportunities to utilize the already existing grid through flexibility. NVE has defined energy flexibility as "the consumer's ability and willingness to change energy carrier or change its energy consumption in a short and medium term".

Energy flexibility will be a way of utilizing the already existing grid of interaction between consumers. A flexible power grid is economically optimal for both consumers and grid companies, but the road to a flexible power grid is not without obstacles. The aim of the thesis is to map which loads that can contribute with flexibility, how much they can offer and possibly how many years it is possible to postpone an upgrade of the grid.

A sensitivity analysis has been performed. The analysis refers to fictitious scenarios, where an overloaded transformer uses flexibility to postpone an investment. The analysis addresses two scenarios where it emerges that areas with a higher proportion of electric heating have a greater potential to postpone an investment in the transformer, given that the total consumption is the same. In the analysis, we have focused on the peak load hours as it is these hours that contribute to an overload on the grid. An overload often occurs on cold days where heating and ventilation contributes the most to the overload. These loads have the greatest potential for flexibility, either by lowering or by shifting their power consumption during the busiest hours.

We consider it beneficial to utilize of flexibility in the power grid and envisage that load flexibility is important in order to be able to postpone an investment in the distribution grid.

Forord

Denne rapporten er et resultat av den avsluttende hovedoppgaven på bachelorstudiet elektroingeniør, retning elkraftteknikk, ved NTNU - Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Avhandlingen er skrevet for Enoco AS våren 2021, og tilsvarer 20 studiepoeng.

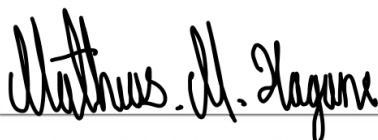
I samarbeid med Enoco har vi skrevet en oppgave om energifleksibilitet i det norske distribusjonsnettet, med formål å kartlegge allerede-eksisterende og potensielle muligheter for energifleksibilitet. Temaet appellerte til oss, da vi syntes det virket som en interessant og fremtidsrettet problemstilling.

Vi vil takke våre interne veiledere, Gro Klæboe og Sigurd Bjarghov, for god veiledning gjennom hele avhandlingen, for å holde oss på riktig spor og for å ha kommet med konstruktiv kritikk der det har trengtes. Vi vil også takke for hjelp til koding og oppklaring i spørsmål vi har hatt.

Vi vil også takke Simon Lilleeng og Ulf Roar Aakenes, våre eksterne veiledere ved Enoco AS, som har bidratt med data gjennom portalen *Eurora.cloud*, som vi ellers ville slitt med å få tak i, og spørsmål vi har hatt angående disse dataene.

Vi vil også rette en stor takk til Monster Energy og Red Bull for å holde vårt energinivå oppe, når alt annet har sviktet.

Trondheim, 20. mai 2021



Mathias Mathiesen Hagane



Eskil Bogstad Furset



Mareno Sæther



Elisabeth Øen

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Abstract	ii
Forord	iii
Figurliste	vi
Tabelliste	viii
Definisjoner	ix
1 Innledning	1
2 Bakgrunnsinformasjon	2
2.1 Flexibilitet - Hva er det?	2
2.1.1 Implisitt flexibilitet	6
2.1.2 Ekspisitt flexibilitet	6
2.1.3 Flexibilitetslaster	7
2.2 Hvem kan tilby flexibilitet og hva slags flexibilitet kan tilbys?	9
2.2.1 Kraftintensiv produksjon	9
2.2.2 Næringsbygg	12
2.2.3 Boliger	15
2.3 Distribusjonsnett	17
2.3.1 Elbilandel	19
2.3.2 KILE-ordningen	21
2.3.3 Digitalisering av distribusjonsnett	22
2.3.4 Distribuert produksjon og mikronett	23
2.3.5 Batterier i nettet	24
3 Datagrunnlag	26
3.1 Enocos bygninger	26
3.1.1 Kontorbygg	28
3.1.2 Barnehage	31
3.1.3 Industribygg	35
3.1.4 Bolig	39
3.1.5 Sammenligning	43
3.1.6 Samtidighetsfaktor	46

4	Analyse	48
4.1	Potensiale for energieffektivisering	48
4.2	Effektivisering og lastflytting	49
4.2.1	Barnehage	51
4.2.2	Industribygg	53
4.2.3	Kontorbygg	54
4.2.4	Bolig	55
4.3	Utsettelse av nettoppgraderinger	56
5	Diskusjon	59
5.1	Hva har potensiale som lastfleksibilitet?	59
5.2	Hva betyr fleksibilitet for forbrukeren?	63
5.3	Hva betyr fleksibilitet for DSO?	64
5.4	Hvordan kan fleksibilitet utsette en nettoppgradering?	65
5.5	Fleksibilitetsmarked og laststyring	65
6	Konklusjon	67
	Referanser	68
	Vedlegg	72

Figurliste

1	Nettforsterkning uten fleksibilitet [2]	3
2	Nettforsterkning med fleksibilitet [2]	3
3	Metoder for fleksibilitet.[3]	5
4	Karakteristikk for innkobling av fleksibilitet [4]	6
5	Kostnader en time uten energitilførsel for ulike industrier [5].	9
6	Potensiell utvikling av kraftforbruk fra datasentre i Norge mot 2040.[6]	11
7	Fordeling av energiforbruk i undervisningsbygg. Hentet fra Sintef [7].	14
8	Fordeling av energiforbruk for en vanlig norsk husholdning. Tall hentet fra Energi Norge [8].	15
9	Oversikt over investeringer i distribusjonsnett. Hentet fra NVE [9]. . .	17
10	Oversikt over fordeling av nettinvesteringer. Hentet fra NVE [9]. . .	18
11	Oversikt over årsaker for ulike overbelastninger i strømmettet. Hentet fra NVE [10].	19
12	Antatt ladeprofil og energiforbruk for elbiler i 2030. Det kan også regnes med en økning på opp mot 50% på kalde vinterdager. Hentet fra NVE [11].	20
13	Antatt utvikling i forbruk. Det gule viser den antatte økningen elbiler vil påføre i belastningen på sentralnettet i 2030. Hentet fra NVE [11].	21
14	Forventet prisutvikling for storskala batterisystemer [12]	24
15	Kontorbygg - Forbruk over analyseåret	29
16	Kontorbygg - Varighetskurve	29
17	Kontorbygg - Gjennomsnittsdag, dagen med høyest peakverdi, og dagen med høyest totalt forbruk	30
18	Barnehage - Forbruk over analyseåret	31
19	Barnehage - Gjennomsnittsdag, høyeste totale forbruksdag og høyeste peakverdi	32
20	Barnehage - Varighetskurve	33
21	Barnehage - Sammenligning av forbruket hver måned fra 2015 til og med 2021.	34
22	Industribygg - Forbruk over analyseåret	35
23	Industribygg - Varighetskurve	36
24	Industribygg - Gjennomsnittsdag, dag med høyest peakverdi, og dag med høyest totalt forbruk	37
25	Industribygg - Gjennomsnittlig forbruk hver måned fra 2018 til 2021.	38
26	Bolig - Forbruk over analysåret	40

27	Bolig - Gjennomsnittsdag, dag med høyest peak, og dagen med høyest totalt forbruk	41
28	Bolig - Varighetskurve	42
29	Barnehage - Varmeforbruk	43
30	Kontorbygg - Varmeforbruk	43
31	Kontorbygg - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår	44
32	Barnehage - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår	45
33	Industribygg - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår	45
34	Bolig - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår.	45
35	Samtidighetsfaktor - Kontorbygg	46
36	Samtidighetsfaktor - Barnehage	47
37	Barnehage - Scenarier av flytting av forbruk i topplasttimer	52
38	Kontorbygg - Scenarier av flytting av forbruk i topplasttimer	55
39	Utsettelse av nettet med kontor som referanse, med kapasitet på 230 kW	57
40	Utsettelse av nettet med kontor som referanse, med kapasitet på 235 kW	58
41	MATlab-kode for tegning av graf for gjennomsnittsforkbruk, høyeste forbruksdag og høyeste peakverdi	72
42	MATlab-kode for tegning av graf for gjennomsnittsforkbruket på sommer- og vinterhalvår	73
43	MATlab-kode for illustrering av samtidighetsfaktor	74
44	MATlab-kode for flytting av forbruk fra topplasttimer	75
45	Analyse - Utvikling i forbruk 1	76
46	Analyse - Utvikling i forbruk 2	77
47	Analyse - Data til figur 40	77
48	Analyse - Utvikling i forbruk 1 formel	78
49	Analyse - Utvikling i forbruk 2 formel	78
50	Analyse - Utvikling i forbruk 3 formel	79

Tabelliste

1	Oversikt over Enocos bygninger	28
2	Forbruklaster i bolig [8]	39
3	Antatt potensiale for energieffektivisering i bygg	48
4	Totalt areal i 2020 inkludert riving, rehabilitering, nybygging. Kvadratmeter.	49
5	Samlet spesifikt netto energiforbruk per bygningskategori for ulike aldersgrupper. kWh per kvadratmeter.	50
6	Teknisk potensial for energieffektivisering i 2020. GWh per år. . . .	50
7	Reelt potensial i eksisterende bygningsmasse fordelt på bygningstypologier og aldersgrupper. GWh per år.	50
8	Energiforbruk i barnehage per TEK-standard	51
9	Energiforbruk i industrien per TEK-standard	53
10	Energiforbruk i kontorbygg per TEK-standard	54
11	Resultat av utsettelseanalyse - Kontorbygg	57
12	Resultat av utsettelseanalyse - Barnehage	58
13	Andel fleksible laster i kontorbygg	61

Definisjoner

Aggregering:	Å kombinere eller slå sammen data.
AMS:	Avanserte målesystem.
DSO:	Operatør av distribusjonssystem.
DSR:	Demand Side Response. Øke eller redusere energiforbruk for å opprettholde nettstabilitet.
EOS:	Energioppfølgingssystem.
EU-SysFlex:	”Demonstrating Innovative Approches to coordinate flexibilities”. Prosjekt hvor målet er integrering av fornybar energi over hele Europa.
Flaskehals:	Når ønsket forbruk i et område overstiger den mulige produksjon og importkapasitet, og tilsvarende når ønsket produksjon i et område overstiger forbruk og eksportkapasitet.
KILE:	Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke-levert energi.
NVE:	Norges vassdrag- og energidirektorat.
TEK:	Byggteknisk forskrift.
TSO:	Operatør av transmisjonssystem.
UPS:	Uninterruptible Power Supply. Avbruddsfri strøm.

1 Innledning

Bakgrunn:

Kraftselskapene vil frem mot 2028 investere 50 milliarder i distribusjonsnettet for å dekke det stadig økende forbruket [9]. Forbrukerne anvender flere effektkrevende apparater og stadig flere funksjoner elektrifiseres. Kapasiteten i nettet vil fremdeles være en knapphetsfaktor flere steder, og det kan derfor være gunstig å utnytte energifleksibilitet. Ved å bruke elektrisk last på en fleksibel måte vil kraftnettet kunne avlastes i overbelastede timer.

Problemstilling

- Hvilke lastfleksibiliteter kan tilbys av næringsbygg, industribygg og boliger, og hvilken innvirkning har de på distribusjonsnettet?

Oppgaven skal ta for seg fleksibilitetslaster som har en innvirkning på distribusjonsnettet, hvordan laster flyttes og hvor lenge en kan utsette en investering i distribusjonsnettet.

Utfordringer:

Tankegangen rundt hvordan kraftnettet skal styres har til nå vært særdeles konservativt. Flexibilitet er en relativ ny tankemåte å styre nettet på og kan utfordre de gamle tankemåtene vi har hatt til nå. Den største utfordringen har vært å innhente informasjon om hvordan energifleksibilitet fungerer i realiteten. Det forekom også noen feilmålinger i *Eurora.cloud* som måtte rettes opp i.

Metode:

Metoden vi har brukt for denne avhandlingen har hovedsakelig bestått av et litteraturstudie. Vi har innhentet mye av informasjonen fra tidligere skrevet oppgaver, rapporter, artikler og utredninger. Avhandlingen starter med å innhente relevant informasjon hvor vi definerer hvem som kan tilby fleksibilitet og hva fleksibilitet omhandler. De fleste rapportene er hentet fra NVE og Statnett. Når det kommer til innhentet data har vi hovedsakelig brukt *Eurora.cloud* fra Enoco. Dette har gitt oss tilgang på forbruksdata og verdier som er brukt som informasjon om potensiale for fleksibilitet. Vi har også brukt verdier og data fra andre rapporter og utredninger som har vært relevante for vårt arbeid.

2 Bakgrunnsinformasjon

Dette kapitlet vil omhandle all bakgrunnsinformasjon som legger til grunn for våre analyser og konklusjoner basert på resultatene våre. Det vil i dette kapitlet bli gjennomgått hva fleksibilitet er og hvem som kan tilby fleksibilitet til nettet. I tillegg blir det fokusert på kraftnettet og dets situasjon.

2.1 Fleksibilitet - Hva er det?

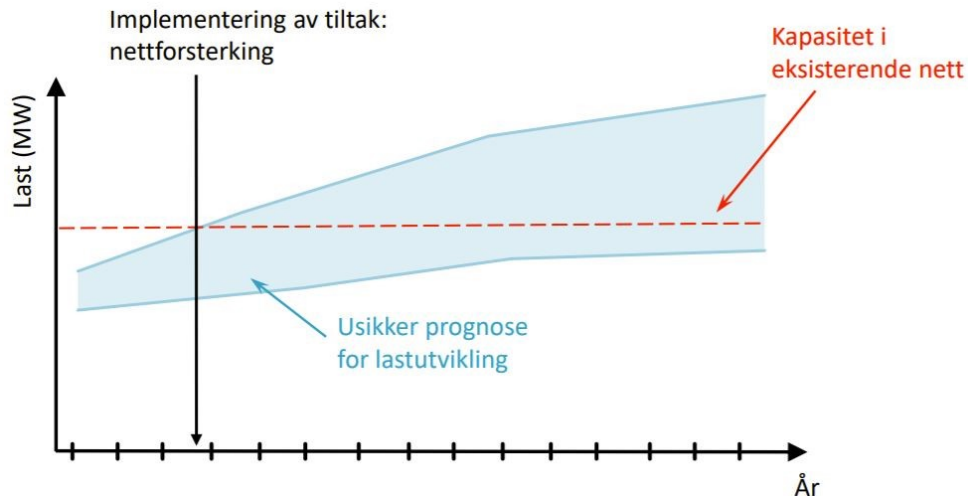
Fleksibilitet kan anses som forbrukerens respons for å avlaste nettet eller spare penger ved å redusere eller flytte energiforbruk når det trengs. NVE har definert fleksibilitet som ”Forbrukerens evne og vilje til å bytte energibærer eller endre sitt energiforbruk på kort og mellomlang sikt” [1].

Forbrukere vil kunne bidra dersom kraftnettet er over- eller underbelastet, ved å justere sitt effektforbruk for å tilpasse seg den daværende nettsituasjonen. Det handler i hovedsak om å stabilisere nettet, minke ujevnheter og bidra til at kraftnettet får færre utbygninger.

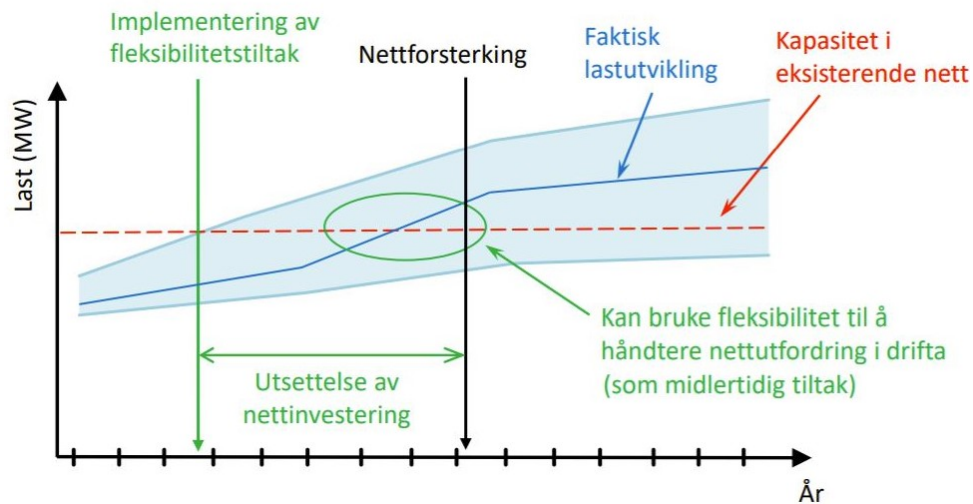
NVE sier om fleksibilitet at ”utnyttelse av fleksibilitet i strømforbruket i alminnelig forsyning kan bidra til mer effektiv energibruk, bedre utnyttelse av kapasiteten i kraftnettet og sikre stabilitet i strømmettet” [13]. Dette legger til hovedgrunn at fleksibilitet kan bidra til å utsette utbygging av kraftnettet, slikt at det kan holde seg stabilt i lengre tid før en eventuell utbygging forekommer. Agder energi hadde et pilotprosjekt [14] som viste at fleksibilitet i nettet kunne bidra til en utsettelse av oppgraderinger i nettet.

For at forbrukere skal kunne levere fleksibilitet til kraftnettet, trengs det et marked for fleksibilitet. Per dags dato finnes det ikke et marked for kjøp og salg av fleksibilitet, men for større aktører vil det kunne bli et marked innen kort tid. Det finnes dog allerede markeder som gjør at en forbruker opptrer mer fleksibelt. En av de nyeste og mest populære markedene er Tibber. Tibber er en app for forbrukere, helt ned til husholdningsnivå, der en får oversikt over strømforbruk, strømpriser og analyser. Her har en implementert smarte løsninger for å redusere strømforbruk, ved å legge inn at elbilladeren skal lade når strømprisen er lav, eller regulere oppvarming av rom i huset når ingen er hjemme, eller før en kommer hjem.

Av figur 1 og 2 kan en se at ved å utnytte fleksibilitet vil en kunne utsette oppgraderinger og forsterkinger av nettet. Dette vil kunne gi besparelser for både forbruker og netteiere. Det er usikkert hvordan total last vil utvikle seg, men å utnytte fleksibilitetstiltak vil fremdeles kunne utsette nettoppgraderinger. Når en får hentet inn data om den faktiske lastutviklingen så vil en i større grad kunne forutse når en eventuell nettforsterkning trengs.



Figur 1: Nettforsterkning uten fleksibilitet [2]



Figur 2: Nettforsterkning med fleksibilitet [2]

Ettersom energibehovet i Norge øker med tiden vil nettkapasiteten bli mer og mer knapp. Innen få år må flere nettstasjoner oppgradere for å holde takt med forbruket. Ved å øke omfanget av fleksibilitet i næringsbygg og boliger, vil disse oppgraderingene kunne utsettes i noen år, og det vil føre til økonomisk gevinst og forsyningssikkerhet. Ikke bare for nettstasjonene og kraftnettet, men også for forbrukerne selv.

Det finnes flere ulike metoder og tiltak for å oppnå fleksibilitet i nettet. De vanligste og mest brukte metodene er ved å enten flytte forbruket til en annen tidsperiode eller ved å redusere forbruket.

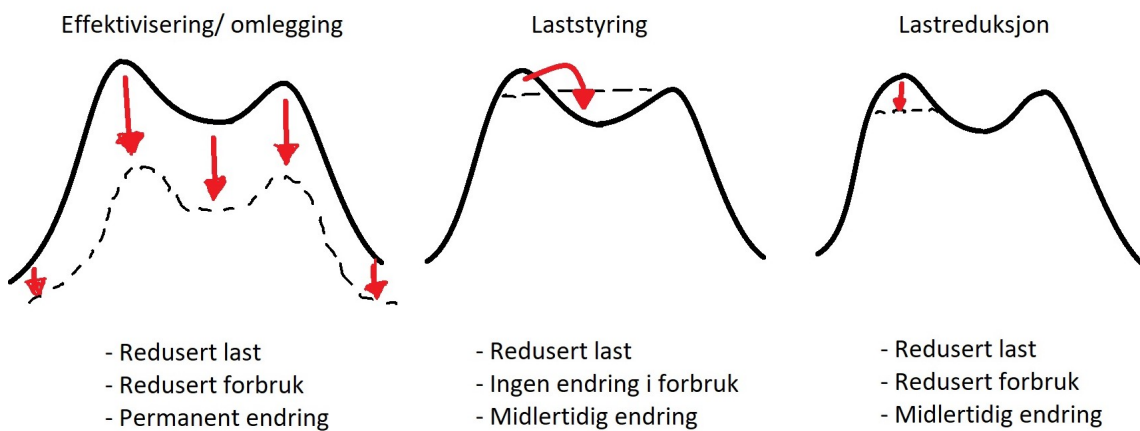
Den første metoden for å oppnå fleksibilitet er ved å legge om eller effektivisere laster og bygg. Det kan gjøres ved å bytte ut lamper fra glødelamper til LED, bytte fra elektrisk oppvarming til fjernvarme, bedre isolering i bygg og andre energieffektive tiltak. Dette vil redusere effektbehovet i en langsiktig tid, ettersom dette er tiltak som vedvarer permanent eller til enda bedre og mer effektive tiltak kan iverksettes.

Den andre vanlige metoden for å oppnå fleksibilitet er ved å flytte forbruket fra timer med høye strømpriser eller når nettet er overbelastet, til timer med lavere strømpriser eller når nettet er stabilt. Under denne kategorien vil termisk trege laster spille en stor rolle, som for eksempel varmtvannstanker, laster som står for oppvarming av rom, og kjøle- og fryseanlegg. Dette er laster som når de enten har blitt varmet opp eller kjølt ned kan holde på og lagre energien lenge, uten at komforten endres noe særlig. Det betyr at disse lastene kan flytte sitt forbruk til andre tider, som tidligere enn vanlig eller senere, dersom det skulle trenges. I tillegg vil elbillading være en del av dette, siden en elbil kun trenger strøm til da den skal brukes, så når på døgnet den lades er ikke like viktig. Disse lastene vil derfor egne seg best for å flytte sitt forbruk, men lastene vil også være relevante for den første metoden.

Siste metode for å oppnå fleksibilitet er ved å redusere effektuttaket til laster i timer når kraftnettet er overbelastet eller når en som forbruker synes strømprisen er høy. Lastreduksjon innebærer da at effektuttaket reduseres i timer ved høy belastning, uten at det erstattes med lastøkning i andre perioder. Her kan en eksempelvis bruke biobrensel til oppvarming i høyt belastet timer i stedet for elektrisk oppvarming. Eller så kan en koble ut vifter, varmepumper og belysning

som ikke er kritiske for komforten. Her er det viktig å sette seg inn i samspillet mellom energibærere for å kunne holde på komforten så lenge som mulig, samtidig som en også tenker på nettets situasjon. [3]

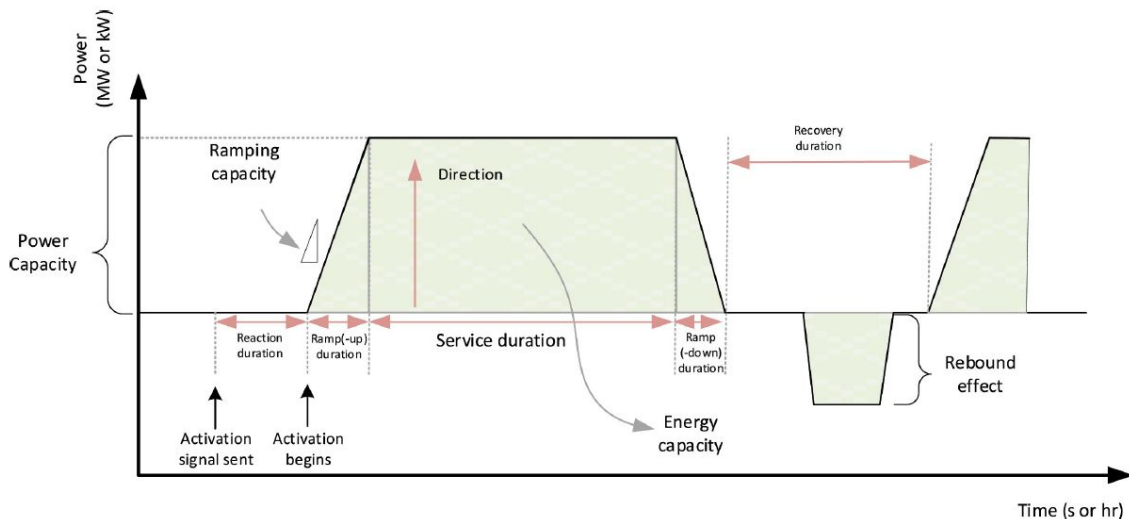
Under kan en se en enkel modell for hvordan metodene fungerer, og hva som er forskjellen mellom dem. Hvor effektivisering og lastreduksjon minker sitt forbruk, er det ingen endring i forbruket dersom en benytter seg av laststyring. Derimot vil en laststyring være med på å stabilisere nettet, ettersom at toppene ikke blir like høye. Både lastreduksjon og laststyring er midlertidige endringer, mens effektivisering er en mer permanent endring.



Figur 3: Metoder for fleksibilitet.[3]

Figur 4 viser viktige karakteristikk ved fleksibilitetsressurser. Den viser nettets opplevelse dersom fleksible ressurser kan øke eller redusere nettkapasitet. Hvor kraftkapasiteten gjenspeiler til hvilket volum ressursene kan bidra. Fra fleksibilitetslastene mottar signal om å endre forbruk, vil det ta litt tid fra aktivering til lasten har det ønskede forbruket. Det vil også ta ca. samme tid for lasten å endre tilbake til vanlig forbruk etter fleksibiliteten er levert.

En last kan kun være fleksibel i en viss tid og til et visst volum, som da utgjør hvor mye kapasitet nettet tjener på at lastene leverer fleksibilitet. Etter at lastene har levert sin fleksibilitet vil det gå en tidsperiode før lastene igjen er klare for å levere fleksibilitet. I denne tidsperioden vil fleksibilitetslastene og kraftnettet oppleve en såkalt "rebound"-effekt, der lastene henter inn litt av det de har tapt ved å redusere sitt forbruk, for å hente inn tapt komfort. Etter dette er lastene klare igjen til å levere fleksibilitet, dersom nettet skulle trenge det.



Figur 4: Karakteristikk for innkobling av fleksibilitet [4]

I tillegg til at det finnes flere måter for å oppnå fleksibilitet finnes det også forskjellige typer fleksibilitet. Flexibilitet kan deles i to deler, implisitt og eksplisitt fleksibilitet, hvor den ene måten fokuserer på prisrespons og kostnadsrelaterte tariffer og den andre måten fokuserer på nettrelaterte behov.

2.1.1 Implisitt fleksibilitet

Implisitt fleksibilitet utgjør delen av fleksibilitet som fokuserer på hvor vidt forbruket endres som en respons på pris og kostnad for effekten. Her utgjør tariffer en stor del for at fleksibiliteten skal lønne seg og for at den i det hele tatt skal være mulig å utføre. Dette er et langsiktig tiltak for å redusere strømkostnader og spare penger. Pris virker som et insentiv for forbruker, som skal bidra til deres lyst til å respondere ved å enten flytte eller redusere sitt forbruk. [15]

2.1.2 Eksplisitt fleksibilitet

Eksplisitt fleksibilitet er den delen av fleksibilitet som går på det nettrelaterte behovet, ved at forbruket styres av lastkontroll som styrer når laster skal stoppe å trekke effekt ut fra nettets behov og situasjon. Dette er et mer kortsiktig tiltak for å lette på nettets situasjon i sanntid, for eksempel ved flaskehalser. Dette forutsetter at forbrukere har stilt sine laster til disposisjon og at lastkontrollen faktisk har

muligheten til å kunne styre disse lastene til en hver tid. Dette gir ikke et like godt insentiv for forbrukere, ettersom dette går på nettes behov og ikke forbrukerens lyst til å kutte i strømkostnader. Derfor er denne typen fleksibilitet foretrukket og anbefalt for netteiere og nettverkstjenester. [15]

2.1.3 Flexibilitetslaster

Det finnes mange laster som er relevante for fleksibilitet, både i næringsbygg og husholdninger. Det blir her tatt for seg noen av de mest kjente lastene som kan være potensielle fleksibilitetslaster, og hvordan de kan utnyttes på best mulig måte.

Ventilasjon har et stort potensiale som fleksibilitetslast, og blir hovedsakelig brukt i større bygg, som næringsbygg. Ventilasjon blir brukt for å sirkulere luften i bygningen, for å tilføre ren, frisk luft og fjerne fukt. Husholdninger og boliger bruker vanligvis vifter med lav effekt, mens næringsbygg og skoler bruker ofte store, styrte laster. Ventilasjonsapparater trenger ikke å kjøres konstant, så lenge luftkvaliteten i bygget er bevart og det ikke går utover forbrukerens komfort. Ventilasjon er med på å øke varmetapet, så dersom en klarer å redusere ventilasjonsforbruket vil en samtidig redusere oppvarmingen som egentlig ville dekket varmetapet. Sensorer som overvåker kvaliteten i luften, samt automatisk styring av ventilasjonen, kan legge til rette for redusert forbruk.

Kjøling står ikke for en stor andel av forbruket i Norge, det meste går til kjøleskap, fryseri i boliger og dagligvarebutikker. Kjøling står for rundt 50% av forbruket til dagligvarebutikker [16]. Laster som kjøleskap og fryseri har et forbruksmønster som tilsier at de kan være fleksible, ettersom at de ikke konstant trekker effekt.

Varme- og panelovner bruker hovedsakelig elektrisk energi til oppvarming av rom, og er den vanligste metoden for oppvarming i boliger. Varme- og panelovner utmerker seg som fleksibilitetslaster gjennom å flytte forbruket til et annet tidspunkt hvor for eksempel nettet er mindre belastet, eller bytte til andre oppvarmingsmedium. Bygningenes termiske treghet kan være med å bidra til at luftkvaliteten og temperaturen holder seg lenge nok til at det ikke går utover komforten, selv når energiforbruket flyttes til et annet tidspunkt.

Varmepumper brukes både i husholdninger og næringsbygg, og bruker omgivelsesvarme og strøm til å produsere varme. I norske bygninger er det installert over 900 000 varmpumper, og det er antatt at antallet kommer til å øke de kommende årene [17]. Varmepumper er en god kilde til rask og enkel oppvarming i rom, i tillegg gir den mye varme for pengene. Forholdet mellom varmeproduksjon og strømforbruk ligger i snitt på 3. Det vil si at varmepumpen produserer varme 3 ganger så mye som energien den bruker.

Varmtvannsberedere er mest utbredt i boliger og husstander, og det er estimert at det finnes omtrent to millioner slike beredere i norske husholdninger. En varmtvannsbereder akkumulerer varme ved å varme opp vann, og er en termisk treg last. Varmtvannsberederen kan holde på varmen i vannet over lang tid uten særlig varmetap, noe som gjør den til en utmerket fleksibilitetslast. En kan selv bestemme når en trenger varmtvannet, og det krever ikke særlig lang tid å varme opp. En varmtvannsbereder har kapasitet på omtrent 2 kW, noe som gjør at de to millionene varmtvannsberederne i norske hjem belaster det norske kraftnettet med omtrent 4 GW.

Det har vært en vekst innen elbiler de siste årene og de neste årene er det antatt at det vil fortsette å øke kraftig. I Norge finnes det omtrent 350 000 elbiler og det estimeres at forbruket i Norden vil fortsette å øke fra 0,6 TWh til 3,6 TWh i 2030. Det er ikke så nøye når elbilen lades, så lenge den er nok ladet til å nå ønsket rekkevidde til når den skal brukes. For at ladingen av elbiler skal være effektiv, ønskes det helst at en lader hjemme. Det er flere typer elbilladere. Hurtigludere kan gi effekt på over 100 kW, mens vanlige hjemmeladere leverer rundt 2-4 kW. Ved installasjon av en AMS-måler for elbilladere, kan en automatisk lade når strømprisen er lav.

Elbilbatterier har potensiale som et energilager. Det finnes allerede teknologi der elbilbatteriet kan levere effekt til enten hjemmet (V2H) eller nettet (V2G). Per dags dato koster slike type ladere rundt 6 ganger så mye som en vanlig enveislader [5]. I første omgang vil dermed smart lading til elbilen være mye billigere som fleksibilitet i nettet enn smart utlading til enten hjem eller nett.

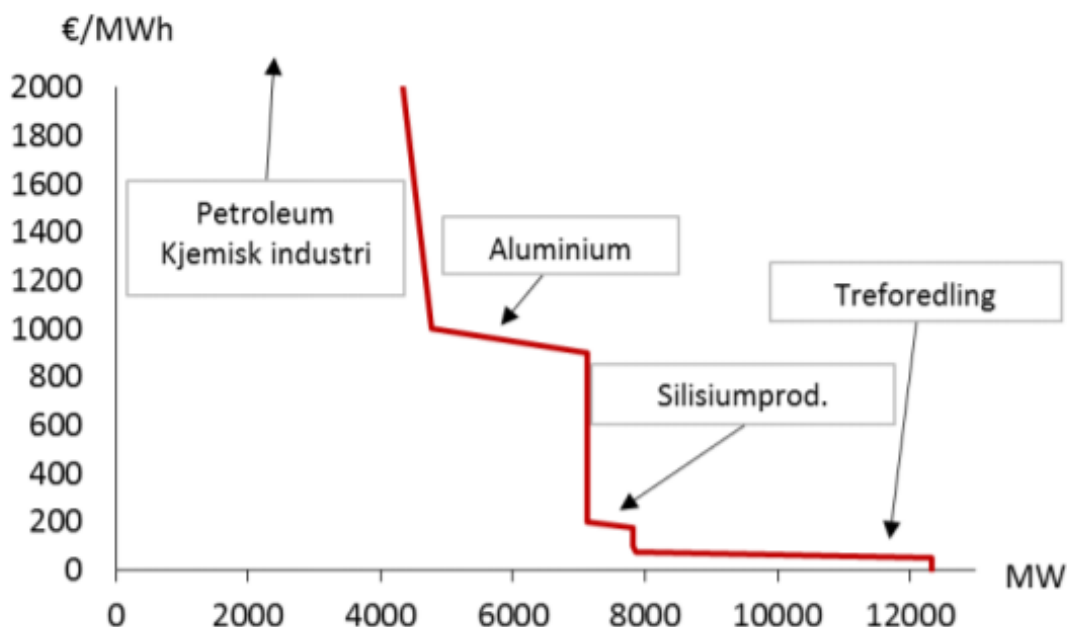
2.2 Hvem kan tilby fleksibilitet og hva slags fleksibilitet kan tilbys?

De aller fleste aktører har potensiale for å tilby fleksibilitet til nettet. Til hvilken grad en forbruker eller produsent kan være fleksibel avhenger av faktorer som marked, pris, teknologi og forståelse.

2.2.1 Kraftintensiv produksjon

Kraftintensiv produksjon er industribedrifter med et høyt forbruk av elektrisk energi i forhold til produsert vare. Elektrisitet utgjør cirka 70% av energibruken i den kraftintensive industrien, olje, gass og bioenergi utgjør de resterende 30%. Det er få energivarer som kan konkurrere mot elektrisitet på tilgjengelighet og pris.

Det elektriske kraftforbruket til den kraftintensive industrien skiller seg ut med at den ikke er like temperaturavhengig, og holder seg stabil gjennom hele året, enn annen industri. Det at industrien holder seg stabil kan være til fordel til nettet ved at nettet også holdes stabil, men det negative er da lite energi som kan være til utlån og tilbud av fleksibilitet.



Figur 5: Kostnader en time uten energitilførsel for ulike industrier [5].

Det har til nå ikke blitt sett situasjoner der kraftintensive produsenter har redusert produksjon basert på spotprisen, men det kan likevel antas at en del industriaktører vil redusere forbruket i perioder med veldig høye spotpriser. Derimot er det usikkert hvor høyt spotprisen må gå før det vil bli sett denne type reaksjon. Under kan en se en graf der en antyder hvor høy prisen må være før ulike industrier vil kutte i produksjonen

Den kraftintensive industrien kan bidra med samme type fleksibilitet som næringsbygg, i form av oppvarming og ventilasjon av bygget, men i forhold til forbruket til virksomheten er dette neglisjerbart. [18]

Aluminiumsproduksjon:

Norge har et årlig kraftforbruk på 40 TWh innenfor kraftintensiv produksjon, hvorav 19 TWh går til aluminiumsproduksjon, 10 TWh til annen metallproduksjon, ca. 7 TWh til petroleumsindustri og 4 TWh til annet kraftintensiv produksjon.

Før å holde elektrolysecellene i gang er produsenter av primæraluminium avhengig av jevnt uttak av elektrisk kraft. Aluminiumsproduksjon anvender så og si utelukkende kun elektrisk kraft. Det kan ved svært høye strømpriser være lønnsomt for aluminiumsprodusenter å redusere strømforbruket til et nivå der kun temperaturen holdes oppe uten å produsere aluminium. Dette er en mulighet men da også en svært kostbar løsning i form for fleksibilitet som kun vil være aktuell i ekstra stram effektbalanse. Aluminiumsproduksjonen kan også kun stoppe opp i et par timer før det flytende metallet størkner og blir ødelagt.[5]

Silisiumproduksjon:

Silisiumproduksjon kan i noen tilfeller, som andre typer metallproduksjon utenom aluminiumsproduksjon, ha lave avbruddskostnader. De siste 10 årene har kraftforbruket innenfor kraftforedlende industri økt fra 3 TWh til 37 TWh per år, som et produkt av oppgraderinger av produksjon av silisium og aluminium.

Silisiumproduksjonen blir godt investert i, ettersom den brukes til å forbedre det grønne skiftet. Silisiumprodukter brukes til produksjon av solcellepanel og solenergi. En ser for seg at silisiumproduksjon vil vokse de neste årene. Silisiumproduksjon er forventet å ta over for produksjon av ferrolegeringer, og dermed tror en det blir en relativt flat utvikling i samlet energibruk for metallindustrien.

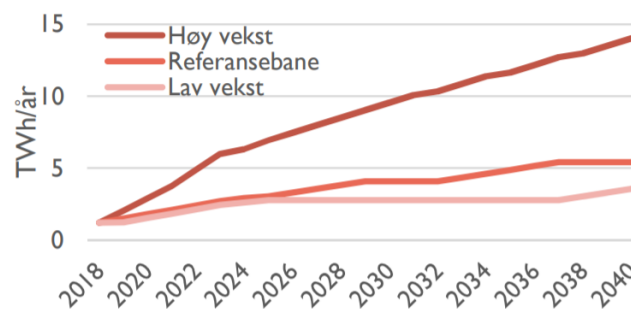
Silisiumproduksjon og produksjonen av andre ferrolegeringer kan stoppe opp noe lengre enn 1-2 timer, men også disse kan bare stenge ned i noen timer før det flytende metallet størkner og blir ødelagt. Selv om aluminiumsproduksjonen utelukkende anvender elektrisk kraft, så anvender silisiumproduksjon og produksjonen av de andre ferrolegeringene og metallene også et større innslag av andre energikilder som gass, kull og koks. [5]

Datasenter

Det finnes i dag 18. datasentre rundt om i Norge, de bruker til sammen 135 MW og de har derfor et potensial til å bidra med energifleksibilitet. [19]

NVE anslår at forbruket til datasentre i Norge vil øke til mellom 4 og 14 TWh i 2040 som vil gi nettet enda større mulighet til å bli avlastet i korte perioder når det trengs [6]. Datasentre kan verken flytte eller tilby fleksibilitet på samme måte som andre kraftintensive forbrukere, men kan være med på å stabilisere nettet i korte perioder. De fleste datasentre er utstyrt med et UPS-anlegg. Dette er et system som sikrer strømforsyning ved avbrudd i strømmettet. Ofte består UPS-systemene av batterier. Disse vil typisk kunne forsyne IT-utstyr i 1 til 10 minutter, deretter vil dieselgeneratorer eventuelt overta. Dersom det oppstår kortvarig ubalanse i nettet kan det være aktuelt å bruke datasentre til å stabilisere nettet, men utover det skal det mye til før datasentre velger å bruke dieselaggregater i stedet for for strøm fra nettet.

Et datasenter med en kapasitet på under 10 MW vil kunne koble seg på distribusjonsnettet om det er ledig kapasitet. Om et datasenter har en høyere kapasitet enn 10 MW vil en kunne koble det rett på transmisjonsnettet, selv om det er uvanlig å gjøre slikt vil det kunne forhindre en påkostning på distribusjonsnettet. [20]



Figur 6: Potensiell utvikling av kraftforbruk fra datasentre i Norge mot 2040.[6]

2.2.2 Næringsbygg

I storbyer med mange næringsbygg er det ofte et fjernvarmeanlegg som forsyner byggene med energi. Byggteknisk forskrift (TEK17) § 14-4 krever at varmebehovet i et bygg på en størrelse over 1000 m^2 dekkes av minimum 60% annen energi enn direktevirkende elektrisitet [21]. Dette vil i korte trekk gjøre at den tilgjengelige elektriske oppvarmingen, som en kan anta at er mest fleksibel, vil være lavere enn i bygg som faller under denne grensen. Denne grensen er satt for å sikre at byggene har flere ulike varmekilder.

Kontorbygg

Kontorbygg utgjør i dag cirka 28,5 millioner m^2 . Det gir et estimat på cirka 6,7 TWh brukt energi per år i kontorbygg. Estimatet er hentet fra generelt energiforbruk i kontorbygg på 235 kWh/ m^2 /år [22]. All tjenesteytende næring har et samlet forbruk på 36 TWh og ut fra det kan en se at kontorbygg utgjør 18,6% av energibruken. [23]

Tilstanden til kontorbygg i Norge kan variere utifra hvor energikrevende bygningene er og hvor stor varmetregheten er. Derimot vil alle ha til felles at de kan dele forbruket inn i fire kategorier. Oppvarming, ventilasjon, elbillading og annet forbruk. Der oppvarming, ventilasjon og elbillading er fleksible laster. Annet forbruk er en post som kan inneholde driften av bygget som heis og stikkontakter. Alt av teknisk utstyr og lys må ha en jevn forsyning og kan derfor ikke bidra til fleksibiliteten i et kontorbygg. Disse ses på som ikke-fleksible laster.

Stadig flere kjøper elbil og det er et økende behov for flere ladepunkter på arbeidsplassen. I dag er det cirka 350 000 elbiler i Norge [24] og innen 2030 forventes det 1,5 millioner elbiler [11]. I rapporten av NVE anslås det at 15% av elbillading skjer på jobb, og i et scenario hvor denne andelen av elbilene lader 100% på jobb vil dette tilsvare:

$$1,5 \text{ millioner} \times 15\% = 225 \text{ 000 elbiler.}$$

En kan anta at elbiler kjører like langt per år som de gjør i dag, altså 11 900 km [25]. Det blir tatt utgangspunkt i at det gjennomsnittlige energiforbruket til en elbil er 0,2 kWh/km [26]. Den energien som kommer fra arbeidsplassen til å lade opp elbilen er følgende:

$$\text{antall elbiler som lades på arbeidsplass} \times \text{antall kilometer} \left[\frac{\text{km}}{\text{år}} \right] \times \text{energibruk} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right]$$

$$225 \text{ 000} \times 11 \text{ 900} \left[\frac{\text{km}}{\text{år}} \right] \times 0,2 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right] = 535 \text{ 500 000} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{år}} \right] = 0,5355 \left[\frac{\text{TWh}}{\text{år}} \right]$$

Dersom dette tallet er 15% av total energiforbruk til elbiler, vil det totale energiforbruket ligge på rundt 3,6 TWh per år.

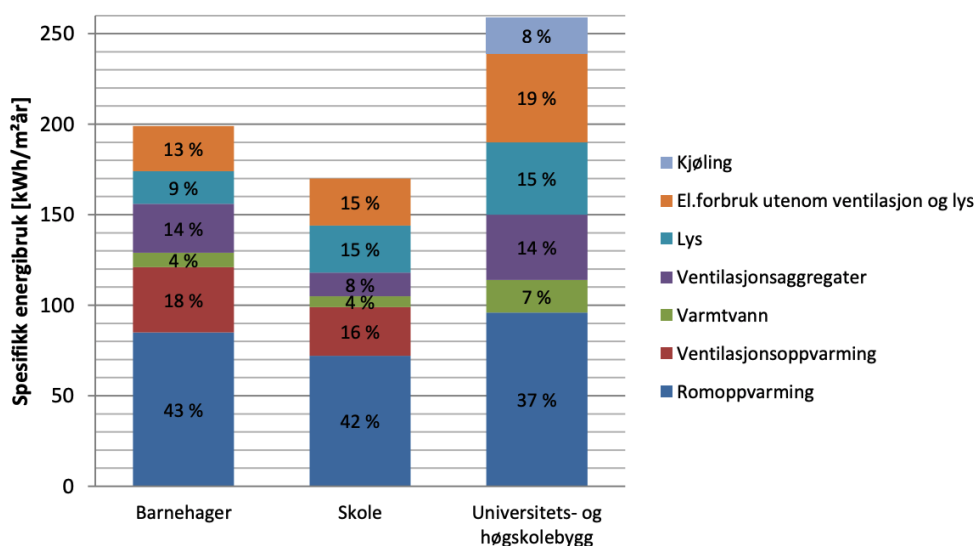
Undervisningsbygg

I begrepet undervisningsbygg inngår barnehager, skolebygg og universitets- og høyskolebygg. De ulike typene undervisningsbyggene hadde i 2015 følgende energiforbruk [7]:

Barnehager:	200 $kWh/m^2/år$
Skolebygg:	170 $kWh/m^2/år$
Universitets- og høyskolebygg:	260 $kWh/m^2/år$

Skolebygg har i snitt det laveste forbruket, dette kan komme av at det er flere ferie- og fridager og mindre brukstid, sammenlignet med barnehager. Barnehager har gjerne en høyere innendørstemperatur enn skoler, for at barna ikke skal fryse. Universitets- og høyskolebygg har høyest energiforbruk, årsaker til dette kan være IT-drift, kantiner og kiosker, og lengre brukstider. [7]

Diagrammet under viser fordeling av energiforbruk i undervisningsbygg i 2015:



Figur 7: Fordeling av energiforbruk i undervisningsbygg. Hentet fra Sintef [7].

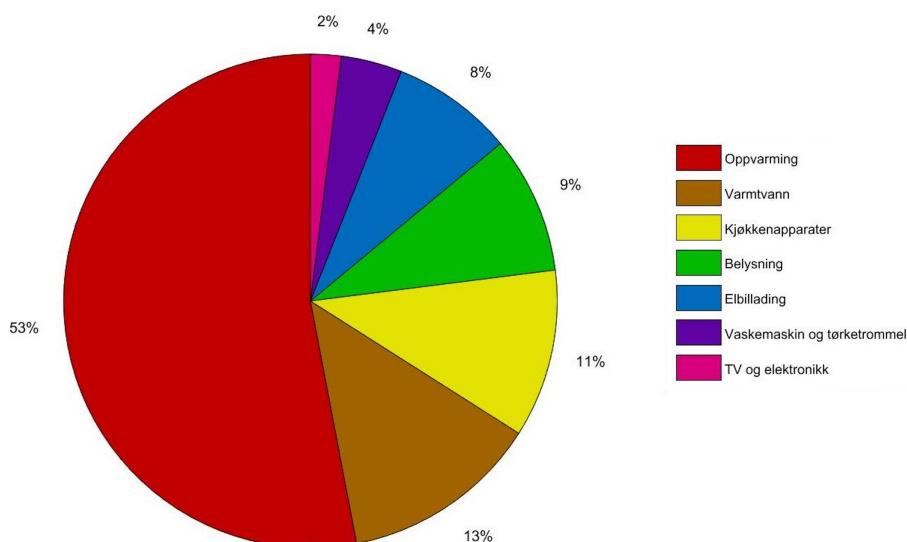
Det blir antatt at fordelingen av energiforbruket i undervisningsbyggene er noenlunde det samme i dag. Romoppvarming står for den klart største andelen i alle undervisningsbyggene. Universitets- og høyskolebygg er de eneste byggene som krever kjøling, og har også et generelt høyere forbruk på andre poster som ventilasjonsaggregater, annet elektrisk forbruk og varmtvann.

Oppvarming og ventilasjon er gode kilder til fleksibilitet i undervisningsbygg ettersom de har termisk treghet, og kan endre sitt forbruk dersom det er trange situasjoner i kraftnettet. Ventilasjon og oppvarming kan til en viss grad reduseres uten at det påvirker komforten til forbrukerne [5].

2.2.3 Boliger

Norske husholdninger har et potensiale til å påvirke distribusjonsnettene, da særlig gjennom en aggregator. Forbrukerfleksibilitet i boliger kan blant annet føre til færre flaskehals og effekttopper, samtidig som det fremdeles tilbys god forsyningssikkerhet.

Det finnes i overkant av 2,5 millioner boliger i Norge, og de står for 48 TWh av det totale energiforbruket i Norge, noe som utgjør omtrent 23%. En norsk husholdning bruker i snitt 27 046 kWh per år [27]. Figuren under viser fordelingen av energiforbruket i en typisk norsk husholdning, hvor oppvarming står for den klart største andelen.



Figur 8: Fordeling av energiforbruk for en vanlig norsk husholdning. Tall hentet fra Energi Norge [8].

Det er mulig å både flytte og kutte i flere av forbrukerlastene som en finner i en vanlig norsk bolig. Ved hjelp av blant annet smarthus-teknologi og AMS-målere blir det enklere for husholdninger å tilpasse seg og delta i kraftmarkedet. Selv om husholdninger står for en stor andel av det totale energiforbruket, er dette fordelt på mange husholdninger. En uavhengig ekstern aktør, kalt aggregator, kan gjøre avtaler med strømkunder om å flytte forbruket sitt avhengig av nettets behov. Dette kan øke muligheten for sluttbrukere å tilby fleksibilitet til nettet. Aggregering kan også føre til bedre utnyttelse og balansering av nettet. [28]

Noen fleksibilitetslaster kan kuttes helt uten at det går utover forbrukerens komfort eller behov, mens andre laster, gjerne laster av høyere prioritet, kan justeres opp eller ned ved behov i nettet [29]. En kan dele fleksibilitetslastene i to hovedkategorier: kontinuerlige- og ikke-kontinuerlige belastninger. De ikke-kontinuerlige lastene er gjerne forskyvbare, men ikke avbrytbare, og blir manuelt startet. For eksempel er ikke oppvaskmaskinen en forskyvbar last under selve vaskeprosessen, men starttidspunktet av maskinen er. De kontinuerlige lastene er både forskyvbare og avbrytbare, og er gjerne termostatstyrte laster [30]. En temperaturstyrt bryter får informasjon fra føleren i termostaten, og de kontinuerlige lastene vil ha et varierende forbruk avhengig av blant annet omgivelsestemperatur og forbrukerens innstilling på termostaten. [31]

Tabellen under viser en oversikt over kontinuerlige- og ikke-kontinuerlige laster:

Kontinuerlige laster:

- Ventilasjon
- Varmekabler
- Kjøleskap og fryser
- Belysning
- Varmtvannsbereder
- Elbillading

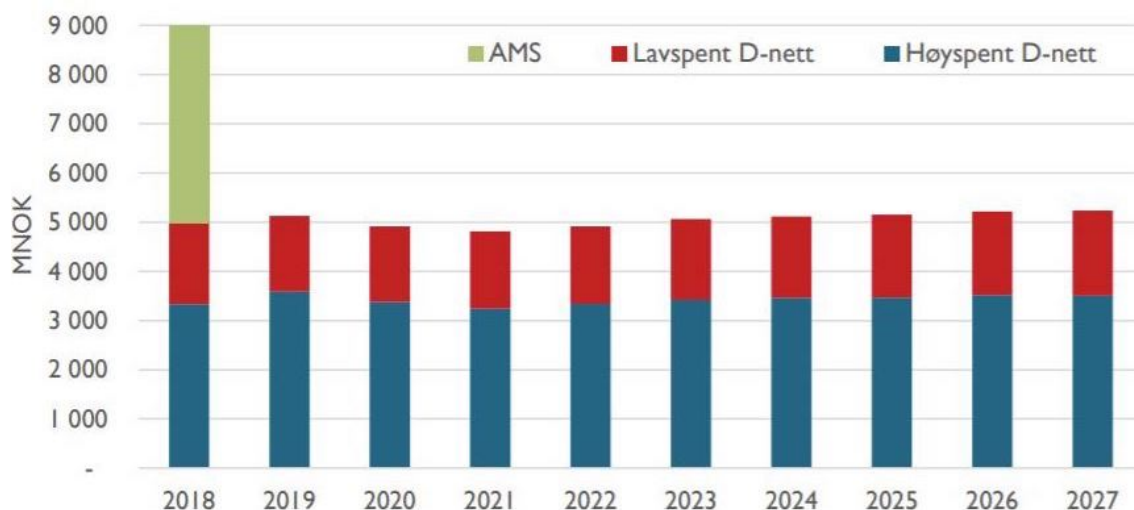
Ikke-kontinuerlige laster:

- Oppvaskemaskin
- Vaskemaskin
- Tørketrommel
- Induksjonstopp
- Komfyr
- Tørketrommel

Forbrukeren kan også tilby fleksibilitet ved å redusere forbruket i topplasttimer. For eksempel kan det å redusere temperaturen inne i boligen med én grad, føre til en besparelse på strømregningen med 5%. Andre måter forbrukeren kan redusere forbruket sitt kan være å bytte til LED-belysning, kun kjøre oppfylte oppvaskemaskiner og vaskemaskiner, og å senke varmtvannsberederen til ca. 75°C. [32]

2.3 Distribusjonsnett

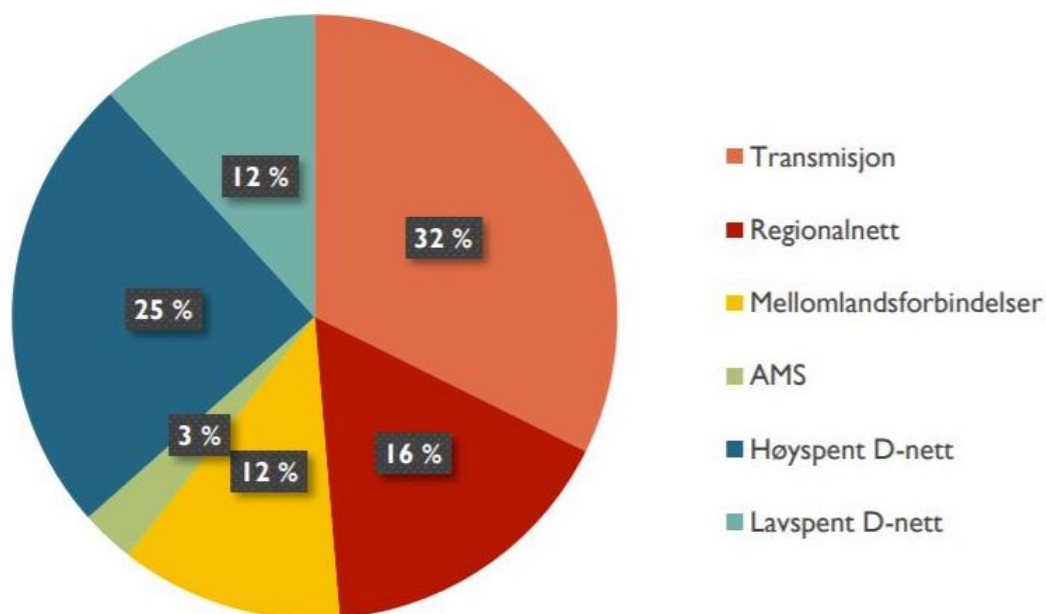
NVE forventer at det skal investeres rundt 50 milliarder kroner i distribusjonsnett de neste 10 årene, 2018-2028, hvorav 34 milliarder og 16 milliarder går til henholdsvis høyspent og lavspennet distribusjonsnett. Årsakene til investeringene er at det trengs oppgraderinger som en konsekvens av økning i forbruk, altså at den estimerte samlede lasten vil overstige dagens nettkapasitet, samtidig som det er økt produksjon i de samme områdene. I tillegg vil ujevnheter og høye topper, samt lave bunner, bli for sårbart for nettets situasjon og sikkerhet. Det kreves også oppgraderinger av transformatorstasjoner som en konsekvens av slitasje og skader, samt oppgraderinger av kabler og linjer for å kompensere for økt kapasitet og tapsbesparelser. [9]



Figur 9: Oversikt over investeringer i distribusjonsnett. Hentet fra NVE [9].

Det var også en utgift i 2018 å installere AMS-målere hos alle forbrukere, men denne investeringen er allerede betalt for og i tillegg, per 2019, har alle forbrukere fått AMS-målere installert.

Av den totale nettoppgraderingen de neste 10 årene, vil en oppgradering av distribusjonsnettene stå for over 35% av investeringene, noe som tyder på at dette er en oppgradering som trengs. Dersom en kan utnytte fleksibilitet på distribusjonsnivå vil en kunne utsette en andel av denne investeringen, og dermed gjøre besparelser i hvert fall i millionsjiktet. Det å utsette investeringer i distribusjonsnettene vil igjen bety at nettleien ikke øker like mye som den ville gjort uten fleksibilitet.

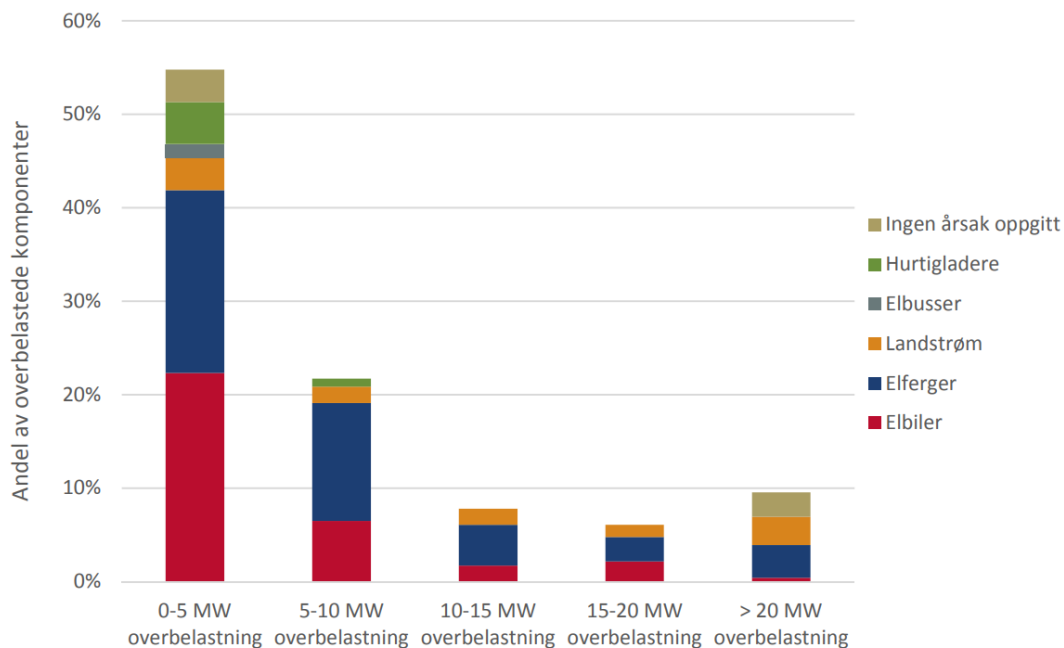


Figur 10: Oversikt over fordeling av nettinvesteringer. Hentet fra NVE [9].

Dette er en estimert oppgradering, altså hva nettselskapene anslår at kommer til å brukes til investeringer, men ny teknologi og større innføring av fleksibilitet kan være med på å redusere investeringsbehovet. Deres anslåtte verdier er beregnet fra “business as usual”, som tilsier at alt foregår slik som det gjorde da rapporten kom ut.

2.3.1 Elbilandel

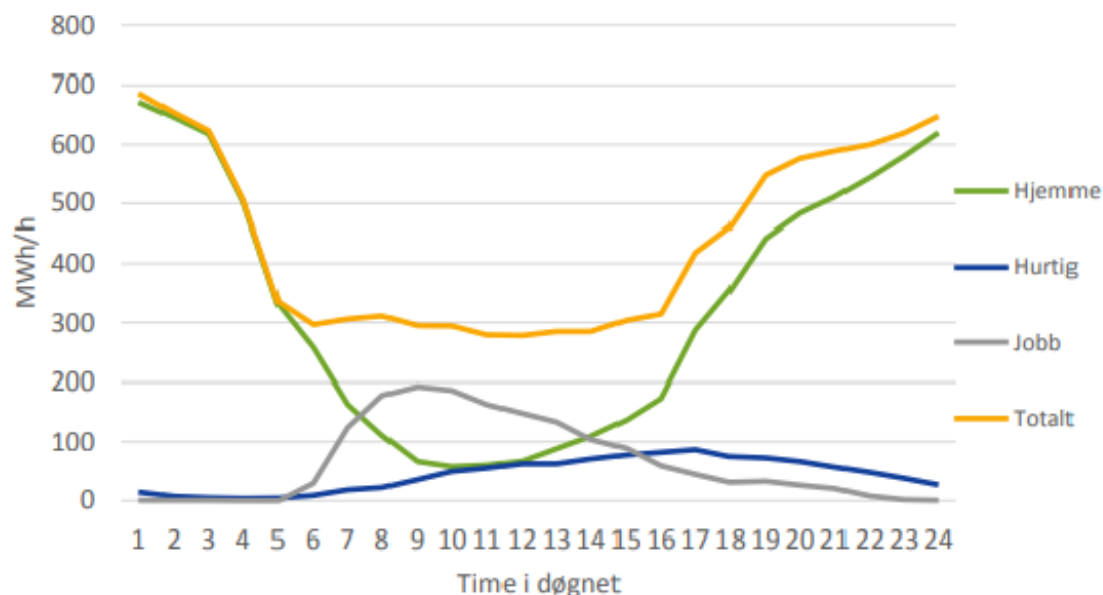
Elbiler er et relativt nytt fenomen som utvikler seg raskt, særlig i Norge. Stadig flere husholdninger bytter fra diesel- og bensinbiler til elbiler. Med tanke på hvor fort teknologi generelt utvikles kan en tenke seg at det også blir en rask utvikling i batterier og annet som sørger for en sterk effektivisering av elbilenes prestasjon. Slik det er i dag er det stort sett personer bebodd i nærheten av storbyene/arbeidsplassen som benytter seg av elbiler, da gjerne grunnet rekkevidde-mangel på elbiler. Dette fører til en større bruk av husholdningslading i byområder og hurtiglading i områder mellom hjem og hytte. Det er da særlig områder med dårligstilt strømnett som vil kunne få utfordringer i transformatorstasjoner og kabler ved lading av mange elbiler på en gang. Det er transformatorstasjoner som utgjør den største andelen av overbelastede komponenter. Hele 90% av innrapporterte overbelastninger skjer i transformatorstasjoner, og noe av grunnen til at ledninger og kabler ikke utgjør like stor andel av overbelastningene kan skyldes mangel på utfallsanalyser. Altså kan det reelle antallet overbelastede kabler være høyere enn antatt [10].



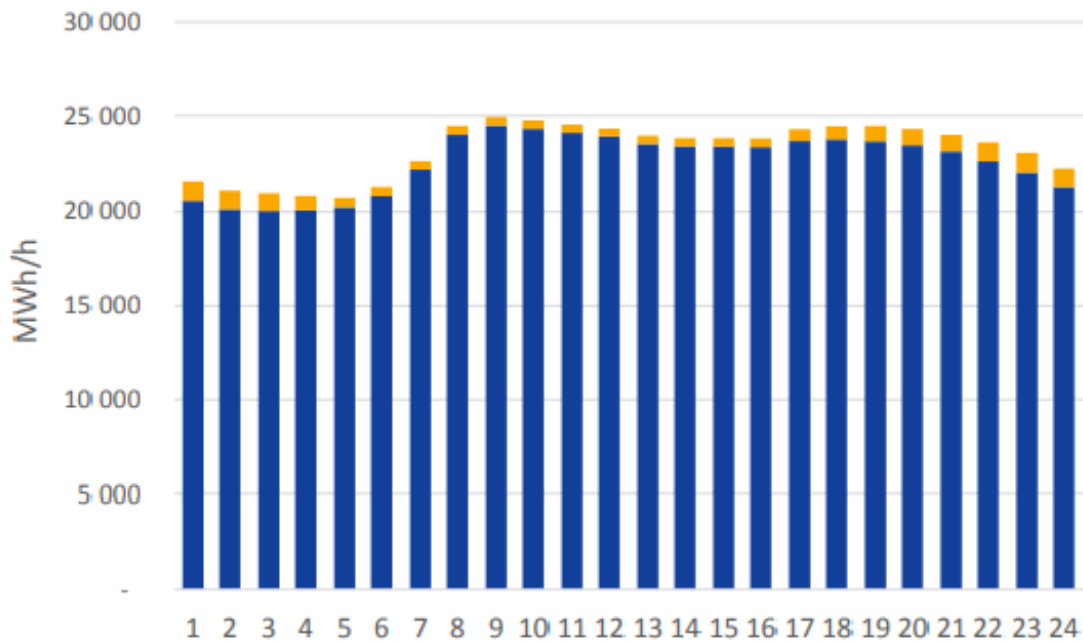
Figur 11: Oversikt over årsaker for ulike overbelastninger i strømnettet. Hentet fra NVE [10].

Elbiler er ikke veldig utbredt i dag, og utgjør omtrent 13% av personbilbestanden i Norge [24]. Dagens ca. 350 000 elbiler trekker relativt lite effekt av strømmettet, ca. 0,6 TWh. Av denne grunn skal det istedenfor bli sett på utviklingen som kan ses i fremtiden. Det er antatt at det kan forventes et antall på 1,5 millioner elbiler i Norge innen 2030, noe som nesten er en seksdobling av dagens antall. Denne økningen i elbilbestanden tilsvarer et økt strømforbruk på ca. 3 TWh. Dette vil tilsvare en økning på ca 2,5% av Norges strømforbruk. [11]

Hjemmelading foregår stort sett på natten, mens hurtiglading og jobblading stort sett foregår på dagen. Dette utjevner forbruket noe, men totalt sett vil den største delen av lading fortsatt foregå på natten, noe som er positivt med tanke på fleksibiliteten i husholdningen og at andre energiforbruk stort sett foregår på dagen.



Figur 12: Antatt ladeprofil og energiforbruk for elbiler i 2030. Det kan også regnes med en økning på opp mot 50% på kalde vinterdager. Hentet fra NVE [11].



Figur 13: Antatt utvikling i forbruk. Det gule viser den antatte økningen elbiler vil påføre i belastningen på sentralnettet i 2030. Hentet fra NVE [11].

Selv om elbil-utviklingen i stor grad er veldig fleksibel i byområdene, der omtrent all lading skjer på natten, vil områder med dårligstilt strømnett kunne bli påvirket av hyppig hurtiglading. Disse høye effektbelastningene vil kunne slite ut og overbelaste transformatorer og kabler, samt skape dårlig spenningskvalitet i distribusjonsnettet. På store hurtiglading-stasjoner kan det være lønnsomt å installere batterier for å sørge for et jevnere effektuttak. Dette er lurt med tanke på effekttariffene som sørger for at de høye effektuttakene kan være svært kostbare. Dette gjelder da ikke bare ladestasjoner for elbiler men også for elektriske ferger og liknende, ettersom ladere stadig utvikler muligheter for stadig høyere effektuttak. Disse bufferbatteriene vil også kunne ha muligheten for å levere strøm tilbake til nettet, og vil av den grunn skape høye fleksibilitet i disse områdene.

2.3.2 KILE-ordningen

For nettselskapene stilles det noen krav når det gjelder energien de distribuerer. I tillegg til transport av energi stilles det krav til leveringspålitelighet og spenningskvalitet [33]. Ansvaret for å opprettholde kvaliteten og sikkerheten ligger hos nettselskapene, og de har selv ansvaret for utbygginger og oppgraderinger for å kunne opprettholde kravene som er satt. Kostnadene for dette dekkes da av kundene som betaler nettleie. KILE-ordningen er en ordning for å sikre

forsyningssikkerhet ved å gi nettselskapene insentiver til å tilby en økonomisk optimal leveringspålitelighet. Den årlige inntektsrammen til nettselskapene kvalitetsjusteres på grunnlag av avbruddskostnader for brukere. Ved fravær av en KILE-ordning ville nettselskapene kunnet misbruke monopolet sitt for å tjene mer penger ved å la være å bruke penger på oppgradering og vedlikehold av nettet. Enkelt beskrevet blir inntektene til nettselskapene redusert ved avbrudd i forsyningen deres. Ordningen sørger derfor for at det til enhver tid er optimal spenningskvalitet og kontinuerlig forsyning. [33]

2.3.3 Digitalisering av distribusjonsnett

Kraftnettet er, som mange andre aspekter av samfunnet, svært preget av den stadige digitaliseringen av verden. Norge er som kjent langt foran i å ta i bruk ny teknologi, også i kraftsystemet. Utviklingen en ser er at variasjonen i effektbruken blir høyere med nyere teknologi, altså at det forbrukes mye effekt i korte tidsrom. Et eksempel er elbilenes hurtigladere som stadig får muligheter for høyere effektuttak. Ny teknologi gir oss nye muligheter for å effektivisere og skape fleksibilitet i systemet. Hvorvidt systemet klarer å holde følge med endringene i hvordan lastene trekker effekt av nettet er avhengig av de fysiske anleggene, IKT-ressurser og markedssystemer [34].

I alle norske hjem er det nå standard å installere AMS-målere. AMS-målere er med på å overvåke flyten av spenning i distribusjonsnett. Disse målesystemene bidrar til å sørge for en nøyaktig strømregning for kunder. I tillegg vil feil kunne bli oppdaget automatisk, og sørger dermed for minimalt antall skader på utstyr for forbrukere [34]. I tillegg vil AMS-måleren være essensielt ved bruk i et system for kjøp og salg av energifleksibilitet. En kan ha en enkel oversikt over forbruk og strømpriser som gjør det gunstig for forbrukere i distribusjonsnett å kontrollere strømutgiftene sine.

2.3.4 Distribuert produksjon og mikronett

For å kunne tilby fleksibilitet til et marked er aktørene/aggregatorene nødt til å kunne enten regulere eller erstatte energiforbruket sitt [34]. En god måte å erstatte energi- og effektforbruk er å drive distribuert produksjon. Distribuert produksjon betyr lokal produksjon av energi med installert effekt på mindre enn 10 MW.

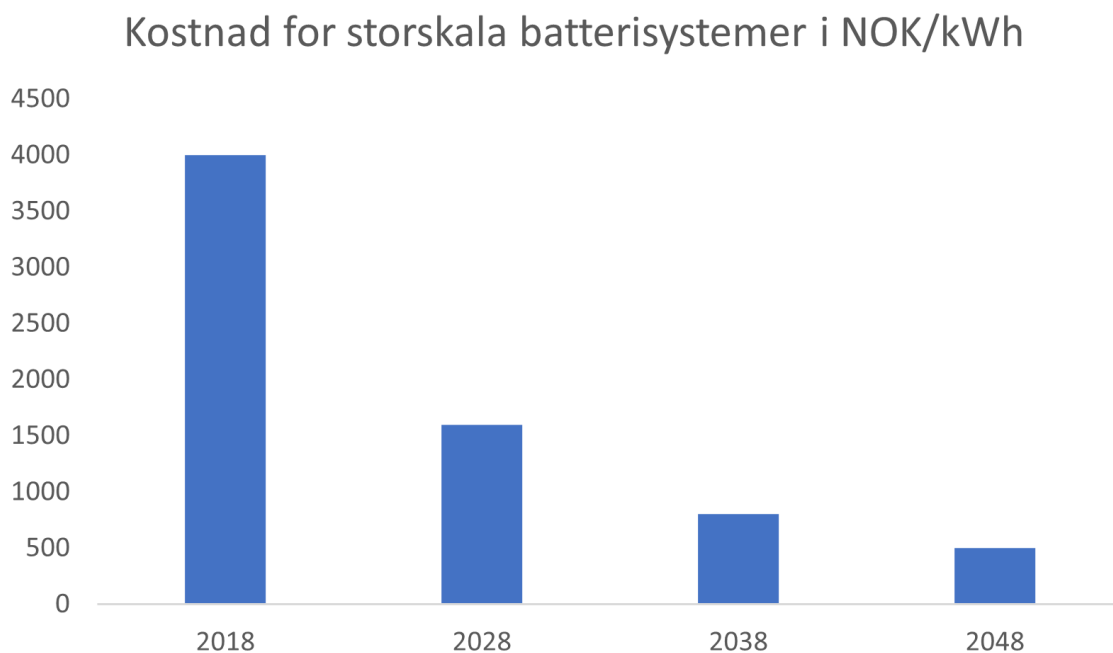
Stort sett har kraftproduksjonen kommet fra større kraftverk som vanligvis har beliggenheten sin lenger unna forbrukeren. Derimot vil den lokale produksjonen av energi kobles rett på distribusjonsnettet ettersom produktet de produserer er av lavere effekt. Lokal produksjon og kortreist energi betyr lite tap av energi fra produksjon til bruk. Disse lokale produksjonene vil også bli vanligere jo mer fornybar energi en får. Vanlige anlegg for distribuert produksjon er solcelle, vindmølle og mindre vannkraftverk, og disse er lite fleksible. Mindre vannkraftverk vil ikke ha samme tilgang på vannmagasin som større vannkraftverk, og solcelle og vindkraft er veldig avhengig av værforhold. Mangelen på fleksibilitet i disse kraftverkene kan også være en kilde til dårlig spenningskvalitet og stabilitet i nettet.

Distribuert produksjon er derimot essensielt i bruken av mange mikronett. Mikronett er et energisystem med laster og distribuerte energikilder som kan operere uavhengig av nettilknytning, og skal kunne driftes med distribuert produksjon eller lagret energi selv om det er frakoblet det overliggende nettet. Sett fra nettet er et mikronett én kontrollert enhet, og regulerer sin egen spenning og frekvens. Typiske mikronett kan være nabolag, industriområder, militærleirer eller campuser. For aktøren med mikronett vil det kunne spares penger på nettleie og effekttariff. Teknologien som kreves for å danne et mikronett er også i rask utvikling og prisene for å sette opp et slikt system minker stadig. Dette gjør det relativt billig å drifte eget mikronett i dag [35].

I forhold til fleksibilitet vil disse mikronettene være særdeles fleksible med hensyn til det overordnede nettet, ettersom de kan koble seg fra og driftes uavhengig om det er behov for det. Selv om den distribuerte produksjonen er særdeles lite fleksibel i seg selv, kan energien lagres i batterier som kan sørge for mye fleksibilitet for relevante aktører.

2.3.5 Batterier i nettet

Batteriteknologi er i stor utvikling, mye grunnet en stadig økende etterspørsel av elbilbatterier. Batteriene har falt drastisk i pris og innen 2028 kan det koste under 1600kr per kWh og prisen vil nok fortsette å synke i årene som kommer. Batteriene har nå en levetid på rundt 10 år som også vil ha en utvikling i årene som kommer. Batterier i et distribusjonsnett vil ha en nettfordel og en markedsfordel.[12]



Figur 14: Forventet prisutvikling for storskala batterisystemer [12]

Batterier i nettet vil bidra med god leveringskvalitet, forsyningssikkerhet og effektutjevning. Leveringskvaliteten går på kvaliteten av energien som blir levert, der spenningsnivåer, frekvens og fasesymmetri inngår. For å sikre en tilfredsstillende av forsyningssikkerheten kan batterier stå i standby modus under normaldrift og opprettholde forsyningen ved feil og eventuelle brudd. Batterier kan også bidra med effektutjevning i nettet ved å kunne lagre energi i perioder med lav last og frigi energi i perioder med høy last, og på den måten kunne bidra med flaskehalshåndtering og optimalisering og en utjevning av effekttoppene i nettet.

Batterier kan særlig være aktuelt på steder med svakt nett og stigende etterspørsel i effektuttak. Det vil for eksempel være på steder ved hurtigladere og elferger. Batterier vil trekke en jevn effekt fra nettet og vil kunne lade ut raskt til oppladning,

på denne måten vil en kunne utsette en investering i nettet og styrke det allerede eksisterende nettet.

Markedsforholdene som kommer med batterier vil ha økonomiske motiver. De som eier batterier vil kunne lagre energi ved lav lastsituasjon i nettet, for så å kunne selge den til en høyere pris når lastsituasjonen i nettet stiger.

Under energiloven har ikke nettselskapene lov til å drive konkurranse innenfor nettvirksomheten, ettersom nettvirksomheten er underlagt monopolkontroll. De kan derfor ikke eie batterier i nettet, det må da i fremtiden komme insentiver som legger til rette for optimal bruk av batterier slik at det er samfunnsøkonomisk nyttig å investere i batterier istedenfor en utbygging av distribusjonsnettet. [36]

Om forbrukerne installerer batterier vil de kunne tilby en fleksibilitet til nettselskapene. Dette kan være gunstig for nettleverandører, men det kan også føre til at flere blir selvstendige og at flere vil gå off-grid som vil bety en betydelig høyere nettleie for de gjenværende brukerne.

3 Datagrunnlag

I dette kapitlet tar vi utgangspunkt i dataen vi har fått eksklusiv tilgang til av Enoco gjennom portalen *Eurora.cloud*. Vi vil vise frem grafer som viser til forbruk og forbruksvariasjon med tanke på tid på døgnet og hvilken årstid. Dette kapitlet legger et grunnlag for eventuelle konklusjoner og drøftinger vi gjør med tanke på potensialet for fleksibilitet i ulike bygninger.

Dataene vi har fått tilgang til har inneholdt enkelte feilmålinger, der vi har rettet opp ved å heller sette inn gjennomsnittsverdier. Av den grunn vil ikke grafene være 100% nøyaktige, men de gir fremdeles et godt bilde på forbruksprofilen. Vi har analysert data fra alle målerne til de ulike byggene, men grafene som inngår i dette kapitlet er kun hentet fra byggene sine hovedmålere for å gi et generelt bilde av forbruksmønstrene.

3.1 Enocos bygninger

Enoco deltar i et større Horizon 2020 prosjekt, EU-SysFlex, og har ansvar for DSR i et fleksibilitetsmarked. Enoco har deltatt i utviklingen av en web-applikasjon, SysFlex, som fungerer som en demonstrasjon for sikker datautveksling over landegrenser. Her kan en legge inn bud på fleksibilitet, i form av når en trenger den, hvor mye en trenger og til hvilken pris en er villig til å enten kjøpe eller selge for. Det gir også en oversikt over om fleksibiliteten er blitt godtatt, og hvor mye fleksibilitet en har brukt eller fått i forhold til totalt forbruk. I fremtidens fleksibilitetsmarked ser en for seg slike applikasjoner for enkel og sikker datautveksling, og kjøp og salg av fleksibilitet.

Enoco har installert målere som observerer forbruk i bygg og i dette kapitlet vil vi se nærmere på fire av byggenes forbruksprofil over hele analyseåret 01.03.20 til 01.03.21, gjennomsnittlig timesforbruk, og forskjeller på forbruk over sommerhalvåret i forhold til vinterhalvåret. I tillegg skal vi se på spesifikke dager som er med på å bidra til høye forbrukstopper. Ved å visualisere byggenes forbruk vil det bli lettere å se hvor et eventuelt fleksibilitetspotensial ligger og hvor mye av forbruket som kan flyttes til et annet tidspunkt [37].

I byggene deler vi forbruket opp i oppvarming, ventilasjon, elbillading og annet forbruk. Vi regner med at oppvarming, ventilasjon og elbillading er fleksible laster, mens alt annet vil være ikke-fleksibelt. Ingen av byggene har installert en egen måler for elbillading, men ut fra lademønsteret kan vi anta når effekttoppene vil forekomme.

Vi har tatt utgangspunkt i byggenes hovedmålere for å få et bilde av det totale forbruket. Det kan være en god oversikt å ha som forbruker når på døgnet og når på året en har høyest effektforbruk, og hvilke laster som bidrar mest til uønsket høyt effektforbruk. I tillegg vil det gi et innblikk i hvor det kan være ønskelig å flytte last, i forhold til både priser og praktiske formål.

Eurora.cloud gir forbrukere en veldig enkel og organisert oversikt over forbruket sitt. En kan se hvilken måler som har målt hva, og også finne data på gjennomsnittsberegninger og toppverdier. Ettersom data om energiforbruk for et bygg anses som personlig data har vi heller ikke fått opplyst adressene til de forskjellige byggene, men vi vet hvilket område de ligger i, slik at vi kan hente temperaturmålinger fra analyseåret.

Vi har undersøkt forbruket til fire forskjellige bygg; bolig, kontorbygg, industribygg og barnehage, for å finne ut av hvor stort potensiale de har for å tilby fleksibilitet til kraftmarkedet. Industribygget driver med produksjon på lav-intensitet og kan derfor bruke kraften fra distribusjonsnett. Ikke alle byggene har fått tilgang på har like mange målere installert, og dermed vil noen bygg ha mer spesifikk informasjon om hvor effektuttakene er størst. To av byggene har kun installert en måler for det elektriske forbruket, så i disse byggene har vi benyttet generell teori om hvor mye av hver last som bidrar til totalt forbruk. Tabellen på neste side viser en oversikt over de ulike byggene vi har fått datatilgang på.

	Kontor	Barnehage	Industri	Bolig
Areal	3582m ²	986m ²	-	177m ²
Antall målere	14	9	2	1
Oppvarmingskilde	Fjernvarme	Elektrisk	-	-
Maks peakverdi [<i>kWh</i>]	162	46,8	100,8	8,7
Daglig gj.snittsforbruk [<i>kWh</i>]	440	200	368	45
Årlig forbruk [<i>kWh</i>]	368 749	71 746,5	134 823,7	16 121,73

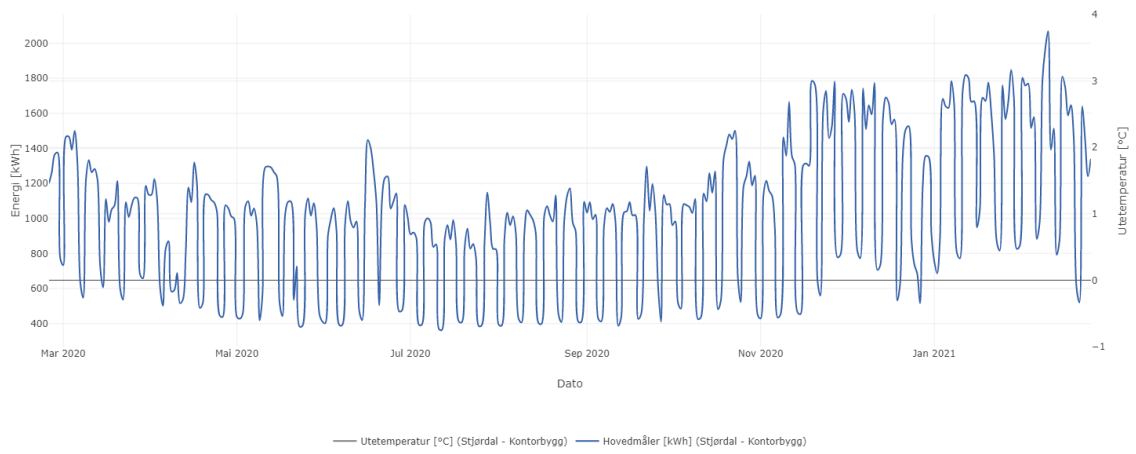
Tabell 1: Oversikt over Enocos bygninger

3.1.1 Kontorbygg

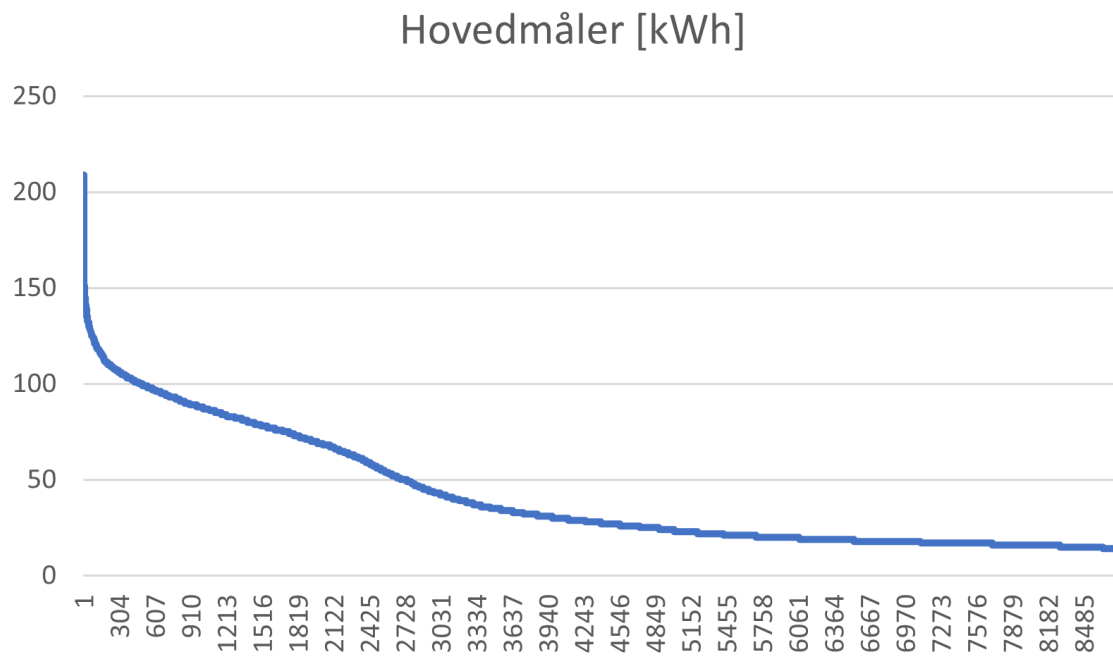
Av de 14 måleinstrumentene i kontorbygget er det kun 5 målere som går på det elektriske forbruket. Det er disse som er interessante for oss å se på, ettersom det er disse som kan bidra med fleksibilitet til distribusjonsnettet.

Av det totale forbruket utgjorde den elektriske oppvarmingen, som kun består av varmepumpe, 66 580 kWh. Dette vil si at den elektriske oppvarmingen utgjorde 18% av det totale elektriske forbruket. Denne andelen oppvarming kunne vært mye høyere, men kontorbygget bruker hovedsakelig vannbåren fjernvarme.

Figur 15 på neste side gir en oversikt av dagsforbruket i analyseåret. Grafen viser hver dag sitt totale forbruk, målt av hovedmåleren i bygget. Bygget er kun i bruk mandag til fredag og vi ser tydelig hvor helgene forekommer. Det er også svært store forskjeller mellom sommer- og vinterhalvåret. På vinteren er forbruket betraktelig høyere enn på sommeren, og nettet kan fort bli belastet når strømforbruket er på sitt høyeste.



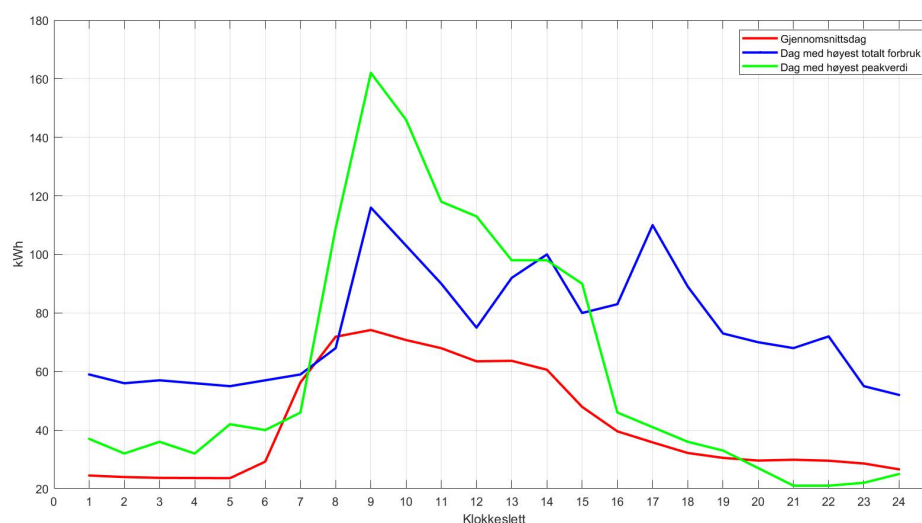
Figur 15: Kontorbygg - Forbruk over analyseåret



Figur 16: Kontorbygg - Varighetskurve

Figur 16 viser varighetskurven for analyseåret. Varighetskurven forteller oss hvor mange timer som har hatt et visst forbruk eller mer i løpet av året. Timene med høyest forbruk legger til grunn for strømregningen og det er timene med høyest forbruk som er mest attraktive å kutte ned på eller flytte.

Desto slakere varighetskurven er, desto bedre. Dette fordi det gir et mer stabilt forbruk enn om det er noen få timer som bidrar til høye topper, både for nettets del og for byggets strømkostnader. Vi kan se at det er svært få timer som overstiger 150 kWh, men det er disse timene som bidrar til høye effekttopper og høye strømpriser.



Figur 17: Kontorbygg - Gjennomsnittsdag, dagen med høyest peakverdi, og dagen med høyest totalt forbruk

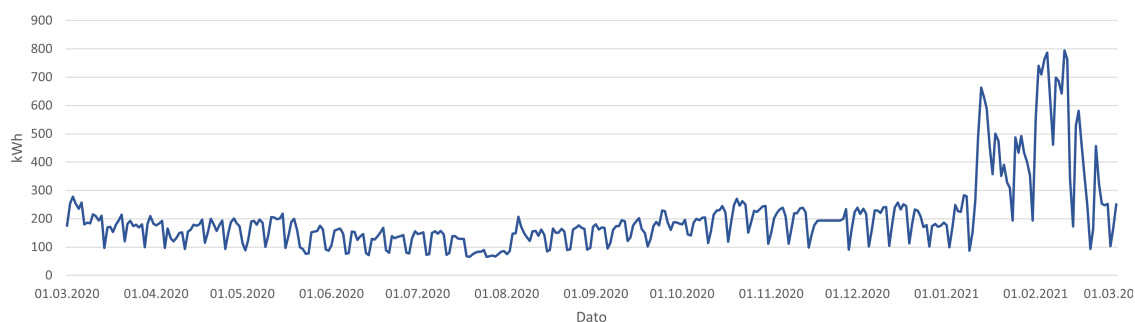
Grafen over viser gjennomsnittsdagen i løpet av året, i tillegg til timesprofilen for forbruket til dagen med høyest peakverdi på en time i løpet av året. Det er også hentet ut timesprofilen for forbruket til den dagen med sammenlagt høyest dagsforbruk. Dagene med høyest peakverdier og dagene med høyeste dagsforbruk er dagene som har størst potensiale til å kutte ned, for å stabilisere og jevne ut forbruket i nettet. Dagen med høyeste peakverdi var 23. oktober 2020, med en verdi på 162 kWh kl. 09:00. Toppen på denne dagen er rundt 115% høyere enn gjennomsnittet kl. 09:00. Dagen med høyeste totale forbruk var 28. januar 2021 med et totalt forbruk på 1 795 kWh. En gjennomsnittsdag over analyseåret er på 440 kWh. 28. januar 2021 har dermed et forbruk som er 4 ganger høyere.

Felles for alle grafene er at forbruket øker fra 7-tiden om morgenen, da en ankommer jobb. Men da en gjennomsnittsdag har et omtrent flatt forbruk frem til ettermiddagen, ser vi at maks forbruksdag har flere opp- og nedturer.

3.1.2 Barnehage

Barnehagens totale forbruk i analyseåret var 71 746,5 kWh. Målerne i barnehagen er delt inn i tre kategorier: hovedmåler, elektrisk og vannbåren. Oppvarmingen av barnehagen er derav delt inn i elektrisk og vannbåren varme, hvor kun den elektriske oppvarmingen er relevant for oss. Barnehagen har hele 4 målere for elektrisk oppvarming og ventilasjon; varmtvannsbereder, varmepumpe, elkjel og ventilasjon. Til sammen har disse 4 målerne et årsforbruk på 37 243,2 kWh. Dette utgjør 52% av det totale forbruket til barnehagen. Dette er nesten 3 ganger så mye som oppvarming utgjør i kontorbygget. Dette fordi barnehagen benytter seg mye mer av elektrisk oppvarming, enn av vannbåren oppvarming.

En barnehage vil ikke ha like stort forbruk som de to andre næringsbyggene vi har sett på, industribygget og kontorbygget, men regnes fremdeles som et næringsbygg. En barnehage ligner mer på en husholdning enn et næringsbygg i forbruksvolum. Derimot ligner fremdeles barnehagen på næringsbygg i forbruksmønster, med tanke på at forbrukstoppene kommer om formiddagen.

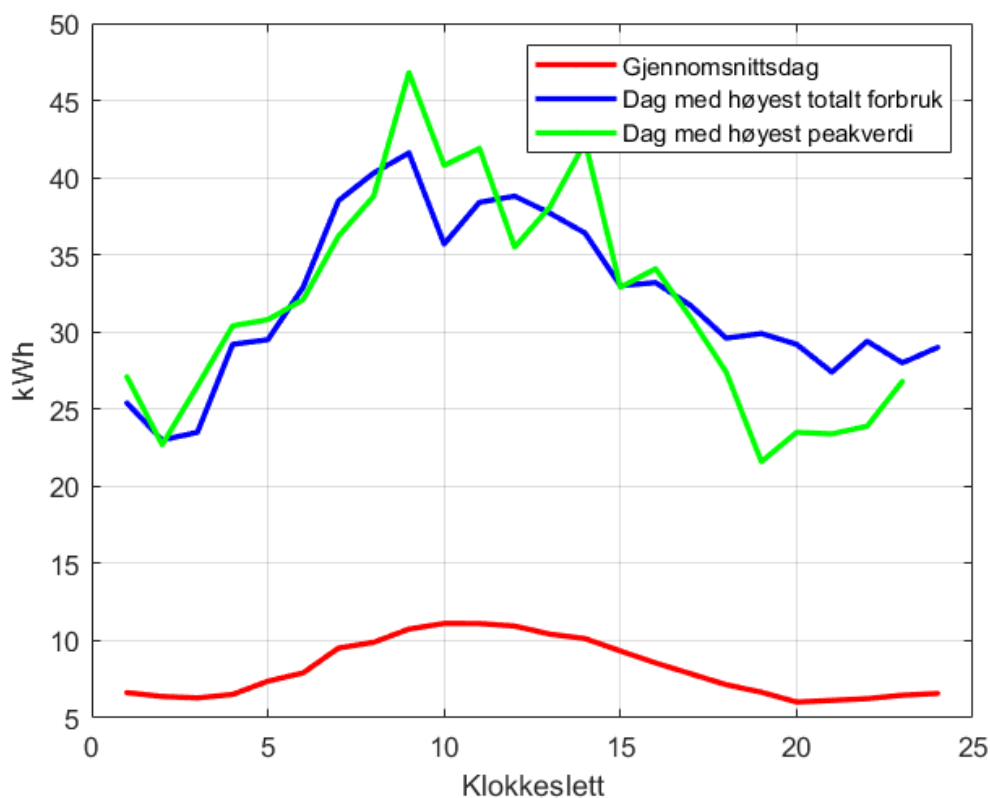


Figur 18: Barnehage - Forbruk over analyseåret

Figur 18 viser at forbruket kan variere veldig mye fra ukedager til helger. Ettersom barnehagen har stengt i helger vil det naturligvis være et lavere forbruk, noe som gjenspeiles i alle dalene i grafen. I tillegg ser en et høyere forbruk fra og med januar i år i forhold til forbruket i 2020. Dette kommer av at barnehagen fikk installert en elkjel i januar 2021. Denne elkjelen er med på å varme opp barnehagen og vil

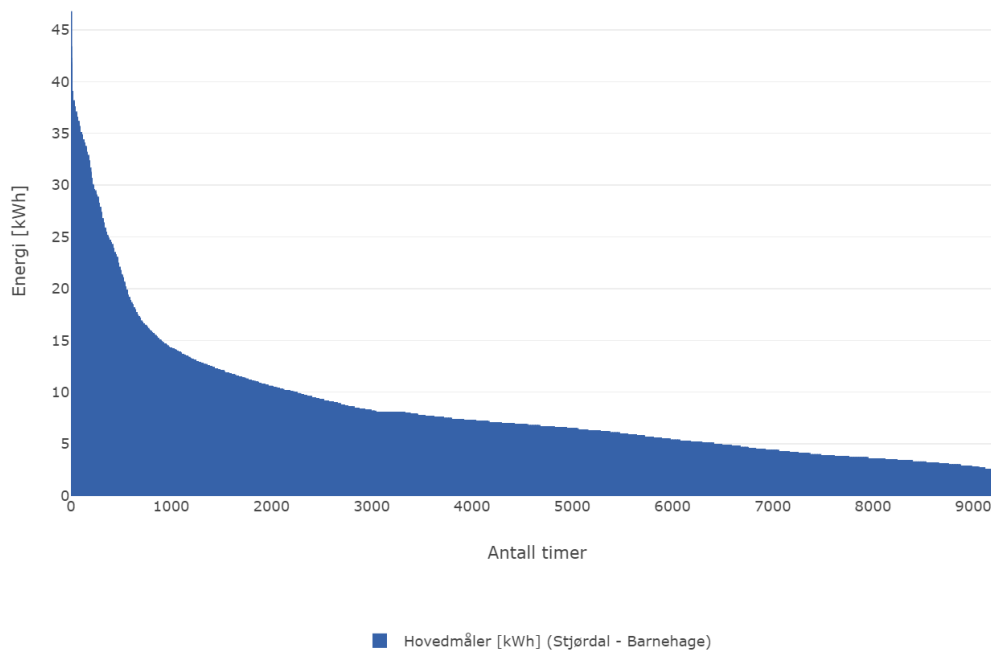
derfor bidra til effektuttaket.

Den 26.11.2020 var strømforbruket i barnehagen mye høyere enn andre dager og derfor neglisjeres det store forbruket og det har blitt satt inn en gjennomsnittsverdi for november 2020.



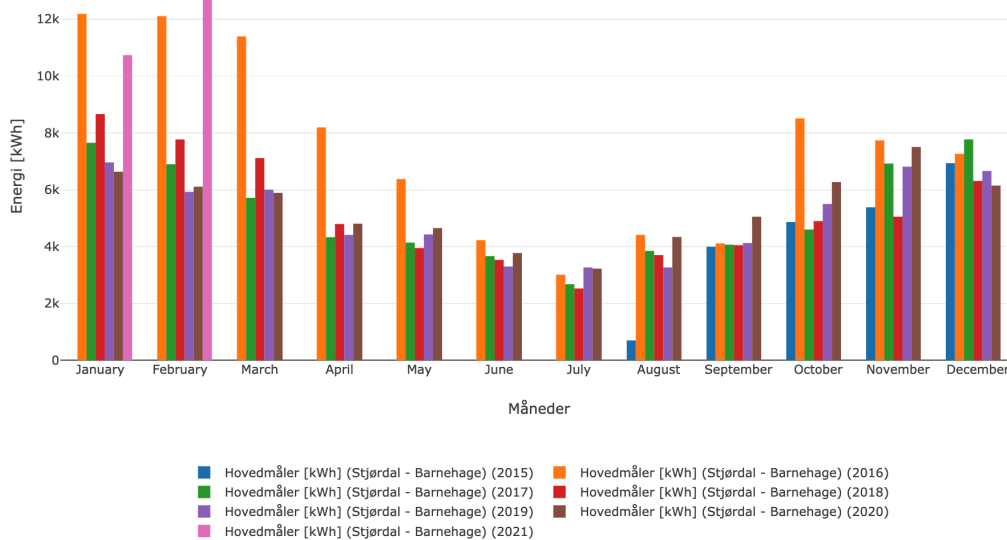
Figur 19: Barnehage - Gjennomsnittsdag, høyeste totale forbruksdag og høyeste peakverdi

Figur 19 viser gjennomsnittsdagen i forhold til timesprofilen for forbruket på dagen med høyeste totale dagsforbruk og dagen med høyeste forbruk på en time, i løpet av analyseåret. Dagene med høye peak- og totalverdier har et forbruk som er over 3-4 ganger så mye som på gjennomsnittsdagen. Dagen med høyeste peakverdi var 5. februar 2021 kl. 10:00, med en verdi på 46,8 kWh. Denne verdien er rundt 300% høyere enn gjennomsnittlig. Dagen med høyeste totale forbruk var 11. februar 2021, med et totalt forbruk på 766,4 kWh. Gjennomsnittet for en dag er rundt 200 kWh, så dagen med høyeste totale forbruk er ca. 380% høyere.



Figur 20: Barnehage - Varighetskurve

Ut fra den bratte kurven kan en antyde at timesforbruket kan variere i stor grad. Til tross for en veldig brattstigende kurve mot venstre i grafen er det mange timesverdier mot høyre som er like, eller tilnærmet like. Ut fra denne informasjonen kan vi også regne med at det i stor grad vil være muligheter for å gjøre store kutt i forbruket i de få timene som skiller seg veldig mye ut. Det er 90 timer i løpet av året som har et timesforbruk på 35 kWh eller mer.

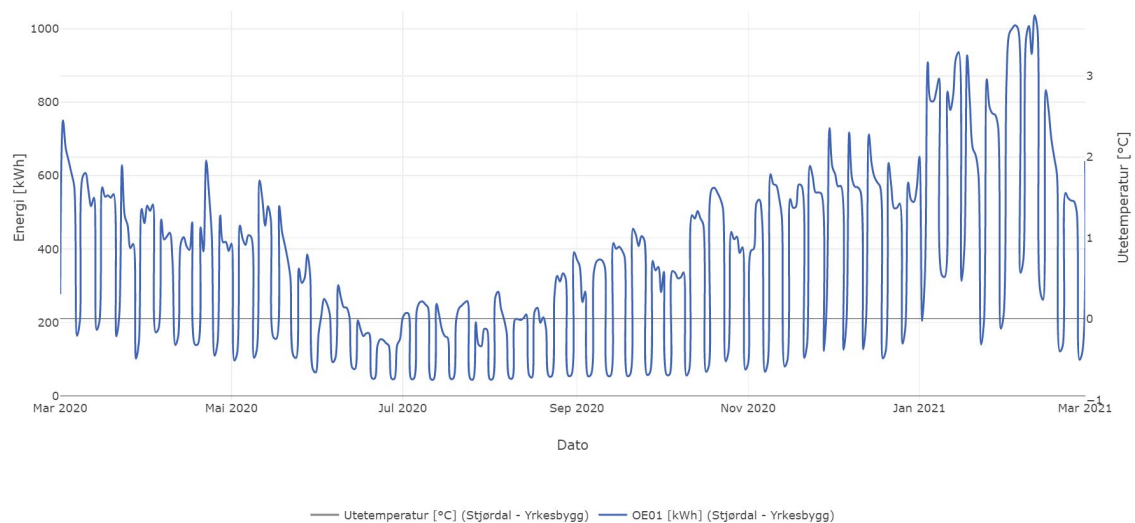


Figur 21: Barnehage - Sammenligning av forbruket hver måned fra 2015 til og med 2021.

Figur 21 viser en sammenligning av energibruket hver måned fra 2015 til og med 2021. Ut fra stolpediagrammet kan en analysere forskjellene mellom månedsforbruket de siste årene. Forbruket til nå i år, 2021, har vært en del høyere enn foregående år, som en konsekvens av de kalde temperaturene i området i januar og februar. En ser også store forskjeller mellom sommerhalvåret og vinterhalvåret.

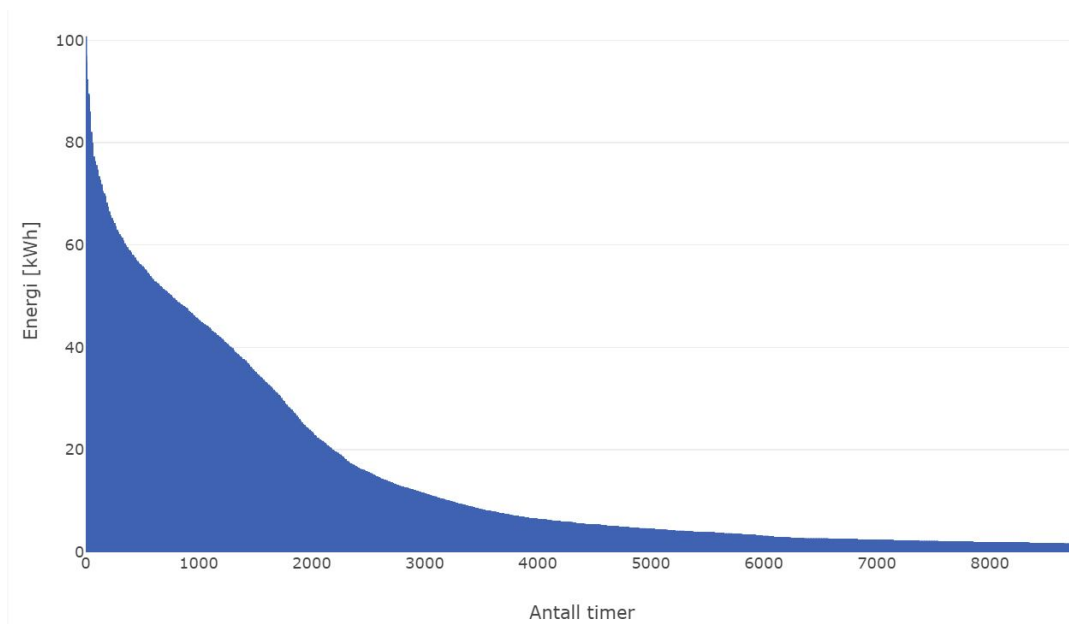
3.1.3 Industribygg

Det tredje bygget er et industribygg som driver med lavintensiv produksjon. Det er kun to målere i bygget, en elektrisk og en vannbåren måler. Dermed kan en ikke hente ut hvor mye av det elektriske forbruket som går til oppvarming av bygget. Det totale forbruket til dette industribygget gjennom analyseåret var på 134 823,7 kWh. Vi har fokusert på og hentet ut data fra den elektriske måleren. Byggets forbruk består derimot mye mer av vannbåren energi enn elektrisk, vi ser for oss at det er den elektriske energien i bygget som kan være fleksibel.



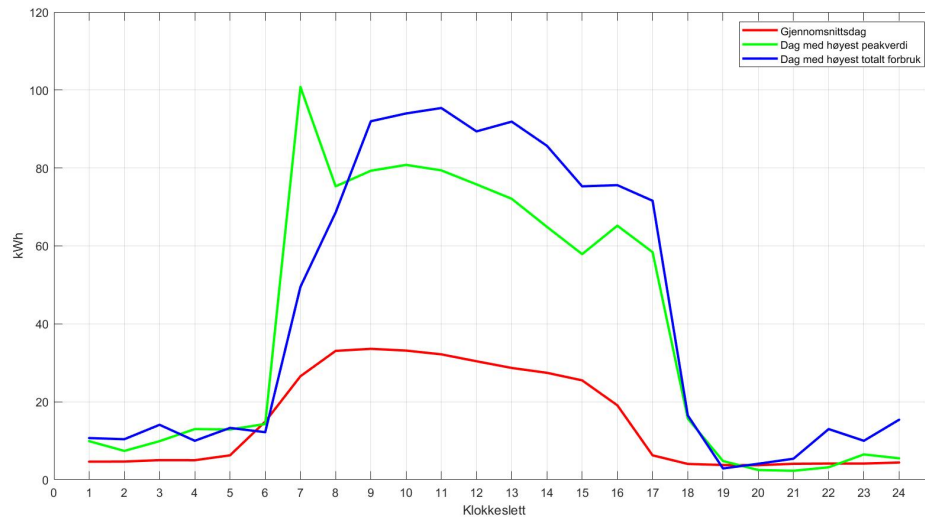
Figur 22: Industribygg - Forbruk over analyseåret

Figur 22 viser forbruket for industribygget hvert døgn i analyseåret, og her er det klar forskjell på sommermånedenes forbruk og forbruket om vinteren. Vi ser også daler her, som i kontorbygget, dette fordi det er et bygg som brukes hovedsakelig i hverdagene og ikke i helgene når folk har fri.



Figur 23: Industribygg - Varighetskurve

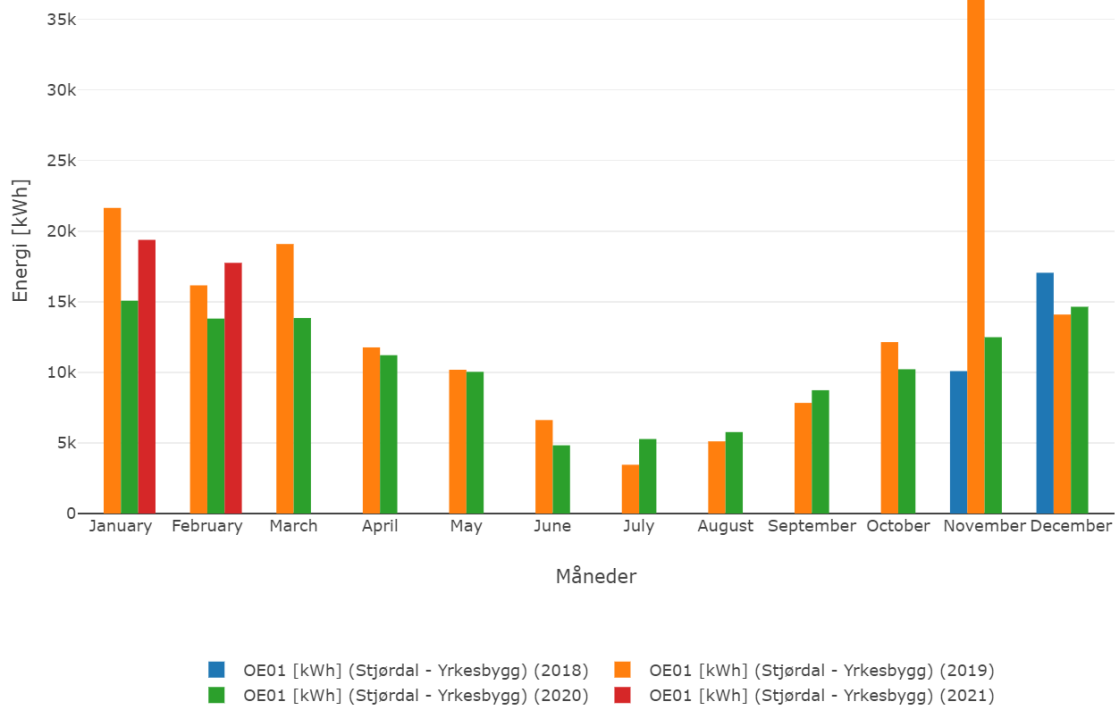
Det er totalt 57 timer gjennom året som har et forbruk på over 80 kWh, og det er disse timene som er mest ønskelig å kutte ned på, ettersom det er de som bidrar mest til høye strømkostnader i bygget. Målet for både forbruker og kraftnett er å jevne ut denne kurven så mye som mulig, ved å redusere antall forbrukstopper og volumet av toppene. Jo færre forbrukstopper som forekommer i løpet av året, desto slakere vil varighetskurven være.



Figur 24: Industribygg - Gjennomsnittsdag, dag med høyest peakverdi, og dag med høyest totalt forbruk

Figur 24 viser en gjennomsnittsdag, på timesbasis, i løpet av hele året. I tillegg har vi lagt inn timesprofilen for forbruket den dagen det ble målt høyest totale energiforbruk, og vi har også lagt inn timesprofilen for den dagen med høyeste peakverdi, som er den timen der det ble målt høyeste forbruk. Disse to dagene er ikke den samme dagen, men begge to forekommer samme måned. Dagen med høyeste peakverdi er 1. februar 2021, og den ble målt mellom kl. 05:00 og 06:00 til 100,8 kWh. Peakverdien er ca. 3 ganger høyere enn verdien for denne timen på en gjennomsnittsdag. Dagen med høyeste totale forbruk var 11. februar 2021, der det totale forbruket lå på 1 027 kWh på hele døgnet. Gjennomsnittsdagen har et forbruk på 368 kWh og dermed er 11. februar sitt forbruk rundt 3 ganger høyere.

Disse dagene forekommer ikke ofte, men er fortsatt de dagene som har størst potensiale for fleksibilitet, både for kraftnettet og for forbrukers del. Forbruker har lyst å kutte ned eller flytte disse høye forbrukstoppene til andre timer med lavt forbruk eller lavere strømpris for å spare kostnader, og kraftnettet ønsker at disse toppene blir jevnet ut for å stabilisere nettet, slik at utbygging og oppgradering av nettkapasitet ikke trengs i like stor grad som nå.



Figur 25: Industribygg - Gjennomsnittlig forbruk hver måned fra 2018 til 2021.

Figur 25 sammenligner forbruket i bygget i de forskjellige månedene i 2018 - 2021. Vi kan anta at det har skjedd en feil i målingen i november 2019 og at dette er grunnen til at grafen viser et ekstremt høyt forbruk. Også her kan en se forskjellen på sommerhalvåret og vinterhalvåret.

I tillegg ser vi at forbruket gjenspeiler både at starten av 2020 var mild med tanke på temperatur, og at Covid-19 preget de første månedene, siden 2020 har et lavere forbruk enn året før. Slutten av januar og starten av februar 2021 var veldig kald, og dette ser en veldig godt på grafen, siden forbruket har økt med nesten 33% fra samme månedene året før.

3.1.4 Bolig

Det siste bygget vi har sett på er en privat bolig med kun én måler, hovedmåleren. Totalforbruket til boligen gjennom hele analyseåret var på 16 121,73 kWh. Boligen havner under samme tilfelle som industribygget, hvor det ikke er mulig for oss å få oversikt over hvor mye av det totale forbruket som går til oppvarming av huset. I tillegg har ikke boligen et skille mellom vannbåren og elektrisk forbruk. Vi kan ut i fra hovedmåleren se når og hvor mye effekt som trekkes til en hver tid, men ikke hvilke laster som trekker effekt. Vi velger derfor å ta utgangspunkt i hvilke laster en finner i en vanlig norsk husholdning. Den klart største forbrukslasten er oppvarming, mellom 50% og 60% av strømforbruket skyldes oppvarming. [8]

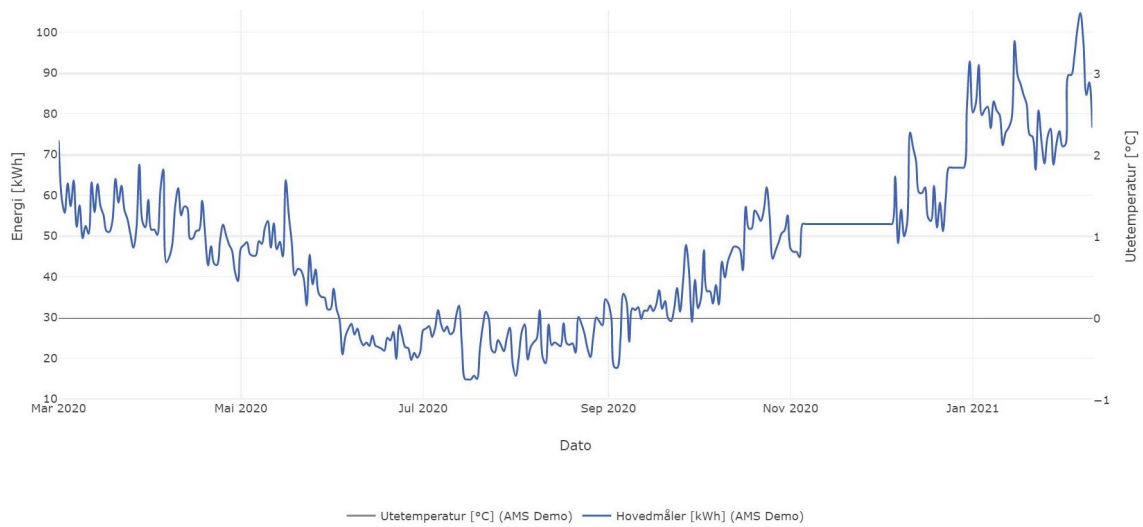
Resten av forbruket kan deles opp i disse typer laster:

Fleksible laster	Prosentandel
Varmtvann	13%
Kjøkkenapparater	11%
Belysning	9%
Elbillading	8%
Vaskemaskin- og tørketrommel	4%
TV- og elektronikk	2%

Tabell 2: Forbruklaster i bolig [8]

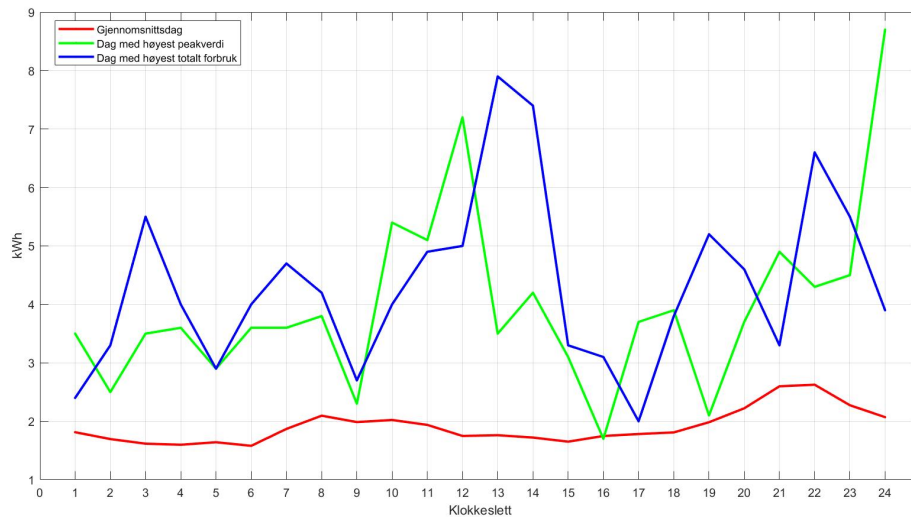
I motsetning til de andre byggene vi har sett på, vil boligen ha omtrent motsatt kurve for forbruket sitt. På grunn av at en ikke er i boligen sin når en er på jobb, og motsatt, så vil forbruket til boligen gå opp om morgenen før en drar på skole og jobb, og så vil den gå ned til en er tilbake fra skole og jobb om ettermiddagen. Det høyeste forbruket for boligen vil dermed falle om kvelden.

Boligen har et forbruksvolum som minner mer om barnehagens forbruk, enn de andre byggene. Boligen har likevel mye lavere forbruk enn en barnehage, men vil bruke de samme lastene som en barnehage gjør.



Figur 26: Bolig - Forbruk over analysåret

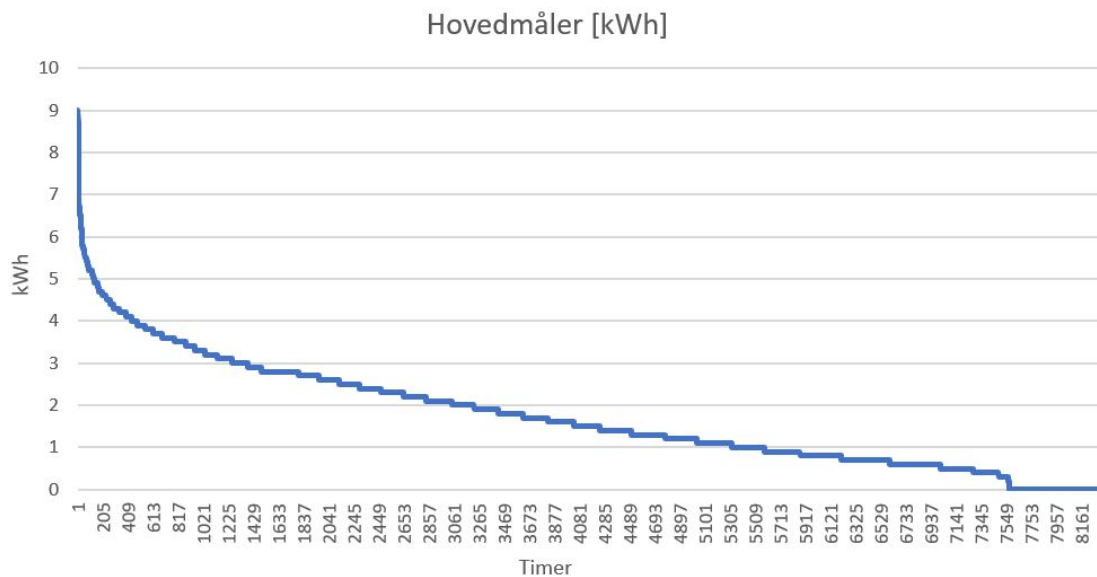
Figuren over viser døgnprofilen for boligens forbruk over analyseåret, og her kan en også godt se forskjellen mellom vinterhalvåret og sommerhalvåret. I forhold til de andre byggene vi har sett på, ser vi ikke en like klar forskjell mellom hverdag og helg på denne grafen, siden en som oftest bruker relativ lik strøm i bolig hver dag, helg som hverdag.



Figur 27: Bolig - Gjennomsnittsdag, dag med høyest peak, og dagen med høyest totalt forbruk

Figur 27 ovenfor viser gjennomsnittsdagen på timesbasis for boligen i løpet av hele analyseåret, i tillegg til å vise timesprofilen for den dagen med høyeste totale forbruk og den dagen der det på en time har blitt målt høyeste verdi gjennom året. Disse dagene, og andre dager som har tilnærmet lik verdi og kurve, er de dagene som er mest interessante og relevante for fleksibiliteten til boligen. Dagen med høyeste peakverdi forekommer den 15. januar 2021 kl. 00:00 (24), med en timesverdi på 8,7 kWh. Peakverdien på 8,7 kWh er rundt 4 ganger høyere enn gjennomsnittsverdien for kl. 00:00. Den dagen med høyeste totale forbruk er 6. februar 2021 med et totalt forbruk på 104,66 kWh. En gjennomsnittsdag for boligen er på 45 kWh, så 6. februar har et forbruk på over 2 ganger høyere.

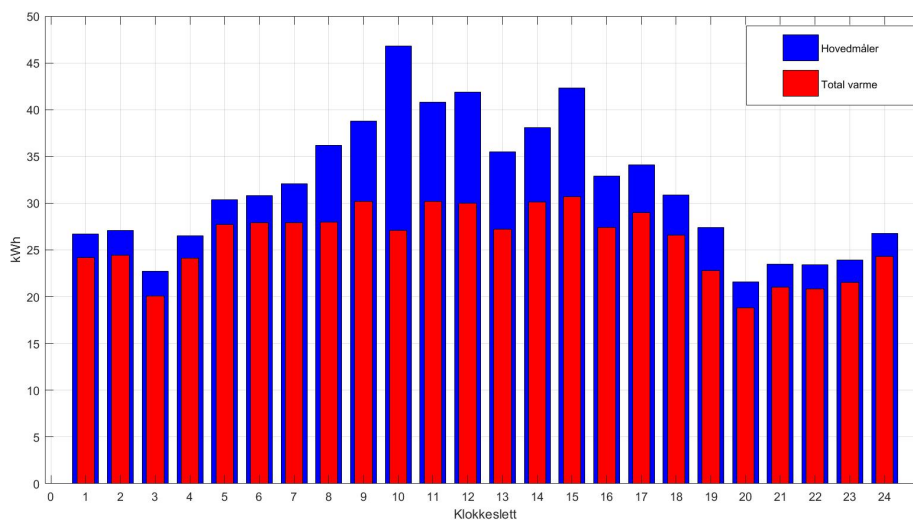
Dagen med høyeste totale forbruk er en lørdag, altså en dag da de fleste er hjemme i flere timer enn vanlig. I tillegg er en ofte lengre våken om natten og bruker ofte mer strøm generelt. Dette kan være en grunn til at det er så lite jevnt forbruk akkurat denne dagen. Spesielt med tanke på at den høyeste toppen for denne dagen er rundt formiddagen, da en enten står opp og lager seg mat, eller gjør husarbeid. I tillegg var det veldig kaldt hele dagen i området hvor denne boligen ligger, som bidrar til økt forbruk for å varme opp i huset.



Figur 28: Bolig - Varighetskurve

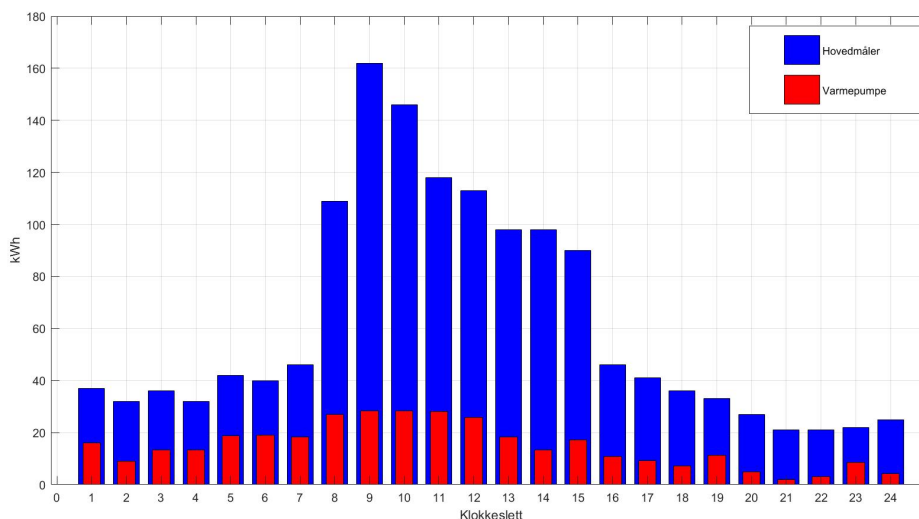
Ut fra figur 28 ser vi at det til sammen var 37 timer hele året som hadde et forbruk på over 6 kWh.

3.1.5 Sammenligning



Figur 29: Barnehage - Varmeforbruk

Vi har hentet ut timesprofilen for barnehagen den 5. februar 2021. Dette er som sagt dagen med høyeste peakverdi. Det er spennende for oss å se på hvor stor andel av forbruket som går til oppvarming. Tidligere har vi skrevet at oppvarmingen utgjør 52% av det totale forbruket. Denne dagen går hele 81,7% av det totale forbruket til oppvarming, og i den høyeste timen utgjør 58% av forbruket oppvarming.



Figur 30: Kontorbygg - Varmeforbruk

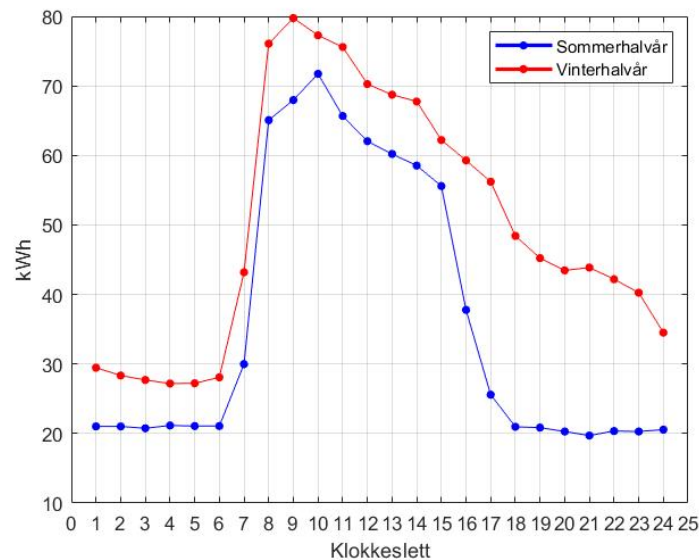
Vi har også hentet ut timesprofilen for kontorbygget den 23. oktober 2020, dagen med høyeste peakverdi. Oppvarmingen i kontorbygget står for 24,1% av det

totale forbruket denne dagen, som er høyere enn gjennomsnittet gjennom året. Klokken 09.00, den høyeste timen, utgjør oppvarming 17,5% av det totale forbruket.

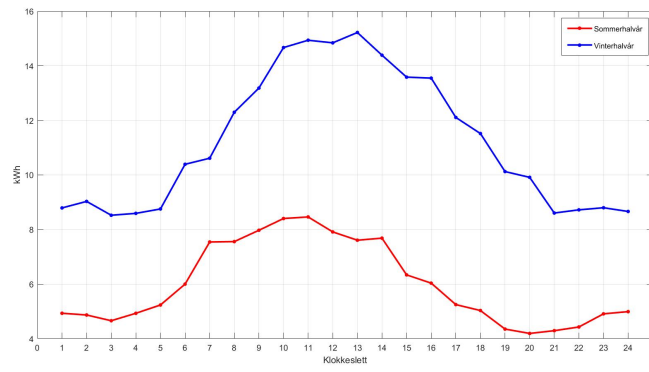
Det er relevant for oss å se på hvor mye av forbruket som går til oppvarming når bygget har sin topplasttime, ettersom vi antar at det er oppvarming og ventilasjon som kan være de mest fleksible lastene i næringsbygg. Ettersom oppvarmingen bare står for 17,5% av forbruket i topplasttiden, kan vi anta at det er teknisk rom og annet forbruk som utgjør resterende andel.

Vi ser helt klart at elektrisk oppvarming utgjør en mye større del i barnehagen enn i kontorbygget. Men ut fra grafene kan vi se at energiforbruket for elektrisk oppvarming for begge byggene er tilnærmet likt volum. Selv om kontorbygget kan tilby mindre andel av sitt totale forbruk, kan begge byggene tilby like mye energifleksibilitet, i volum.

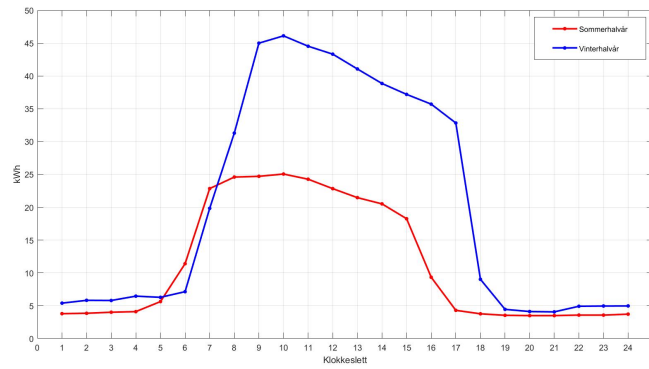
Figur 31 til 34 viser en gjennomsnittsdag på sommerhalvåret og en gjennomsnittsdag på vinterhalvåret for de ulike byggene. Dersom en sammenligner disse figurene kan en se at de tre næringsbyggene har veldig lik forbruksprofil, mens boligen har tilnærmet motsatt. I alle figurene ligger vinterhalvåret en del høyere enn sommerhalvåret. Vi kan anta at det som bidrar mest til forskjellen mellom vinter- og sommerhalvår er den elektriske oppvarmingen.



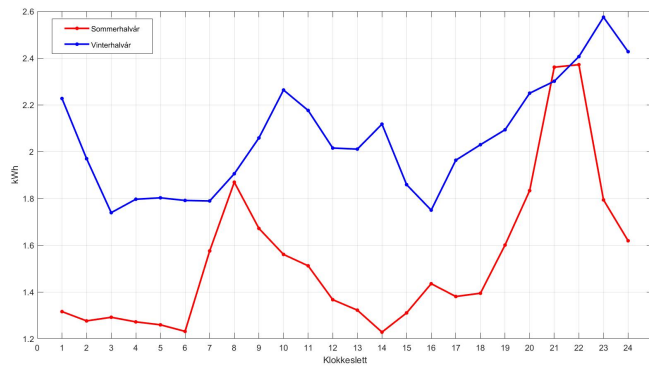
Figur 31: Kontorbygg - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår



Figur 32: Barnehage - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår



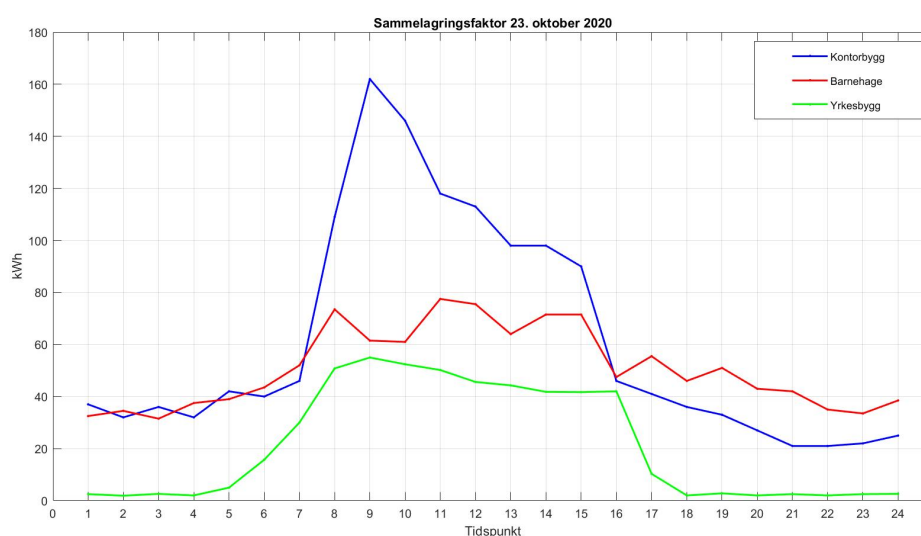
Figur 33: Industribygg - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår



Figur 34: Bolig - Gjennomsnittsdag for sommer- og vinterhalvår.

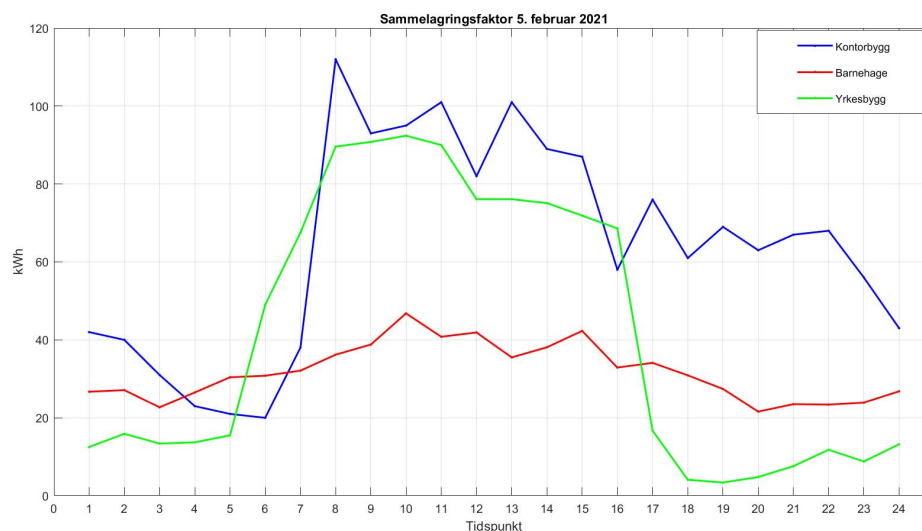
3.1.6 Samtidighetsfaktor

Når det er snakk om overbelastet nett, vil generelt topplasttimene bidra mest til å presse nettets kapasitet. Et viktig fenomen å undersøke er om de ulike byggene har topplast samtidig. Vi har undersøkt når den høyeste topplasttiden forekommer for kontorbygg, hentet ut dagsforbruket på timesbasis for de tre næringsbyggene den dagen kontorbygget har topplast, og undersøkt om disse byggene lider av samtidighetsfaktoren. For å forsikre oss at det ikke er et engangstilfelle har vi også undersøkt samme tilfelle, bare med utgangspunkt i barnehagens topplasttime.



Figur 35: Samtidighetsfaktor - Kontorbygg

Vi tok i første tilfelle utgangspunkt i kontorbyggets topplasttime, som forekommer den 23. oktober 2020. Topplasttiden for kontorbygget er kl 09.00 om morgenen. Fra grafen kan vi også se at topplasttiden for industribygget forekommer på samme tidspunkt. Barnehagen har et mer varierende forbruk, og topplastene for barnehagen kommer i timen tidligere og noen timer senere, enn de andre byggene. Vi har også oppskalert barnehagens forbruk med en faktor på 5, for å illustrere forbruksvariasjonen tydeligere. Barnehagen har altså et forbruk som er en femtedel av det som vises på figuren.



Figur 36: Samtidighetsfaktor - Barnehage

For å forsikre oss at dette ikke er et engangstilfelle, tok vi også utgangspunkt i topplasttimen for barnehagen. Barnehagen har topplasttimen sin den 5. februar 2021, kl. 10.00. Også her har industribygget topplasttimen sin på samme tidspunkt som utgangspunktet. Kontorbygget har sin topplasttime kl. 08.00 denne dagen.

Samtidighetsfaktoren er en god indikasjon på hvorfor nettet møter utfordringer, ettersom at de forskjellige byggene har sine forbrukstopper rundt 08.00 - 10.00 om morgenen. Dersom topplasttimene er mulig å enten kutte i eller flytte litt av forbruket fra, vil nettet oppleve en samlet lavere last. En kan ut fra tidligere grafer gå ut fra at disse topplastene kommer av romoppvarming.

4 Analyse

Denne analysen består av tre deler. I den første delen finner vi tall som kan representere teknisk og realistisk potensial for energieffektivisering, og antar at disse tallene også kan representere regulering av energiforbruk i byggene vi har fått data på av Enoco. Vi tar utgangspunkt i bolig, industribygg, barnehage og kontor. Ved å finne fleksibilitetspotensialet for regulering vil vi kunne si noe om hvor mye av topplasten som er fleksibel i topplasttimer.

Andre del av analysen er en kort illustrasjon på hvordan fleksibilitet vil endre forbruksmønsteret til et næringsbygg. Siden vi kun har data på oppvarming fra kontorbygget og barnehagen, er det kun disse to byggene denne delen er utført på. Her vil vi gå gjennom scenarioer for hvordan ulike andeler fleksibilitet og antall timer varmetreghet vil påvirke forbruksmønsteret i byggene, og hvordan det kan bidra med å redusere lasten i topplasttimer. Vi har også sett på hvordan ulike størrelser av varmetreghet kan bidra til forbruksstabilitet.

I den tredje delen av analysen bruker vi tallene fra de høye topplasttimene for næringsbyggene for å illustrere hvordan eventuell fleksibilitet kan utsette nettoppgraderinger. Vi har tatt utgangspunkt i de samme datoene som da barnehage og kontorbygg har sine topplasttimer. Dette for å ha samsvar med tidligere i oppgaven, og for at vi ser for oss at det er topplasttimene som legger til grunnlag for fleksibilitet.

4.1 Potensiale for energieffektivisering

	Teknisk potensial		Realistisk potensial		Totalt forbruk
Bolig	13,4 TWh	27%	2,06 TWh	4,3%	48 TWh
Kontor	4218 GWh	62,9%	672 GWh	10%	6,7 TWh
Barnehage	246 GWh	63,7%	37 GWh	9,58%	386 GWh
Industri	2486 GWh	65,39%	373 GWh	9,86%	3,78 TWh

Tabell 3: Antatt potensiale for energieffektivisering i bygg

Disse tallene er regnet ut fra Potensial- og barrierestudiet av Enova [38]. Studiet sier noe om hvor mye energi det er mulig å spare på å effektivisere allerede-eksisterende

bygg. Den handler om å etterisolere og omlegge til bedre og mer effektive apparater, som resulterer i lavere elektrisk forbruk. Dette vil resultere i fleksibilitet i form av første metode, figur 3. Derimot antar vi at den potensielle fleksibiliteten i form av forbruksreduksjon og -flytting vil være noe høyere. Dette kommer av at disse metodene kan brukes i større grad i topplasttimene, som vil være mer aktuelle for oss å se på. Vi har derfor sett på fleksibiliteter opp til 30%. Likevel vil vi anta at forholdet i fleksibilitet mellom de ulike byggene vil være det samme.

4.2 Effektivisering og lastflytting

Fremgangsmåten tar utgangspunkt i Potensial- og barrierestudie av Enova [38]. Analysen ser på energien som blir brukt over et år og hvor mye av det som kan reguleres i form av teknisk potensiale og realistisk potensiale ved effektivisering av byggets allerede-eksisterende installasjoner. For å komme frem til det tekniske og realistiske potensialet bruker vi tabellene nedenfor.

Årsklasser	2010–2020	2007–2010	1997–2006	1987–1996	1969–1986	1949–1968	–1949	SUM i 2020
Aktuell TEK	Nybygg	TEK07	TEK97	TEK87	TEK69	TEK49	Eldre	
Barnehage	182 800	85 900	306 000	337 700	418 000	47 200	16 600	1 394 200
Kontorbygning	3 837 000	762 700	3 718 600	6 742 000	8 717 000	4 258 400	1 232 400	29 268 100
Skolebygning	1 990 100	676 600	2 720 400	3 285 800	4 290 300	2 069 200	148 300	15 180 700
Universitet/høgskole	349 800	95 200	351 700	451 500	955 400	426 200	38 300	2 668 100
Sykehus	681 300	275 800	1 041 000	1 104 500	1 260 200	700 200	133 500	5 196 500
Sykehjem	747 600	614 400	1 614 700	1 261 500	1 213 900	241 200	9 300	5 702 600
Hotellbygning	819 100	303 500	1 097 100	1 483 900	1 839 000	667 100	38 200	6 247 900
Idrettsbygning	333 000	93 900	321 000	429 400	1 059 800	298 800	4 300	2 540 200
Forretningsbygning	4 354 300	1 453 000	5 112 500	7 181 400	11 189 600	3 681 100	242 200	33 214 100
Kulturbygning	415 600	64 300	392 900	699 200	733 000	350 300	514 800	3 170 100
Lettindustri/verksted	1 391 400	191 400	958 300	2 024 300	3 947 000	1 523 600	577 500	10 613 500
SUM	15 102 000	4 616 700	17 634 200	25 001 200	35 623 200	14 263 300	2 955 400	115 196 000

Tabell 4: Totalt areal i 2020 inkludert riving, rehabilitering, nybygging. Kvadratmeter.

Aktuell TEK	LAVENERGI	TEK 10	TEK 07	TEK 97	TEK 87	TEK 69	TEK 49	Eldre
Barnehage	90	131	160	206	263	370	395	437
Kontorbygning	101	136	167	204	250	287	271	276
Skolebygning	77	111	143	192	240	284	273	292
Universitet/høgskole	105	144	181	224	273	309	255	270
Sykehus	218	255	334	401	465	418	300	315
Sykehjem	145	189	248	317	387	354	312	331
Hotellbygning	142	195	248	307	365	371	312	331
Idrettsbygning	127	163	192	253	306	429	388	418
Forretningsbygning	132	210	281	343	407	299	263	278
Kulturbygning	88	150	185	233	279	302	289	310
Lettindustri/verksted	112	164	195	241	297	437	374	403

Tabell 5: Samlet spesifikt netto energiforbruk per bygningskategori for ulike aldersgrupper. kWh per kvadratmeter.

Aktuell TEK	TEK 07	TEK 97	TEK 87	TEK 69	TEK 49	Eldre	Nybygg	SUM
Barnehage	3	29	71	118	11	4	9	246
Kontorbygning	32	381	1 267	1 625	578	165	169	4 218
Skolebygning	28	262	625	861	281	22	85	2 164
Universitet/høgskole	5	42	94	192	49	5	16	403
Sykehus	27	220	377	279	54	12	43	1 011
Sykehjem	46	249	361	248	27	1	47	978
Hotellbygning	21	180	429	429	85	5	56	1 205
Idrettsbygning	4	37	104	342	61	1	17	566
Forretningsbygning	124	996	2 301	1 607	298	22	358	5 705
Kulturbygning	3	48	158	148	49	78	26	510
Lettindustri/verksted	9	115	486	1 327	316	131	84	2 468
SUM	301	2 558	6 275	7 176	1 809	445	911	19 475

Tabell 6: Teknisk potensial for energieffektivisering i 2020. GWh per år.

Årsklasser	2007–2010	1997–2006	1987–1996	1969–1986	1949–1968	–1949	SUM i 2020
Aktuell TEK	TEK'07	TEK'97	TEK'87	TEK'69	TEK'49	Eldre	
Barnehage	0	2	9	18	5	2	37
Kontorbygning	2	32	204	324	90	18	672
Skolebygning	2	26	118	184	54	13	397
Universitet/høgskole	0	3	14	27	6	1	51
Sykehus	2	18	62	69	8	1	160
Sykehjem	4	23	60	65	12	1	163
Hotellbygning	2	15	72	95	19	1	203
Idrettsbygning	0	3	12	37	9	0	61
Forretningsbygning	10	84	388	409	43	2	937
Kulturbygning	0	4	25	33	8	3	74
Lettindustri/verksted	1	10	80	204	63	15	373
SUM	24	219	1 045	1 464	319	57	3 128

Tabell 7: Reelt potensial i eksisterende bygningsmasse fordelt på bygningskategorier og aldersgrupper. GWh per år.

4.2.1 Barnehage

For å finne hvor mye energi en gjennomsnittlig barnehage bruker over et år må en regne ut hvor mye energi alle barnehagene utgjør til sammen. I tabell 4 finner en hvor mange kvadratmeter barnehage det finnes og til hvilken TEK-standard barnehagen oppfyller. I tabell 5 finner en så ut hvor stort energiforbruket er per kvadratmeter og setter dette inn i en tabell, tabell 8.

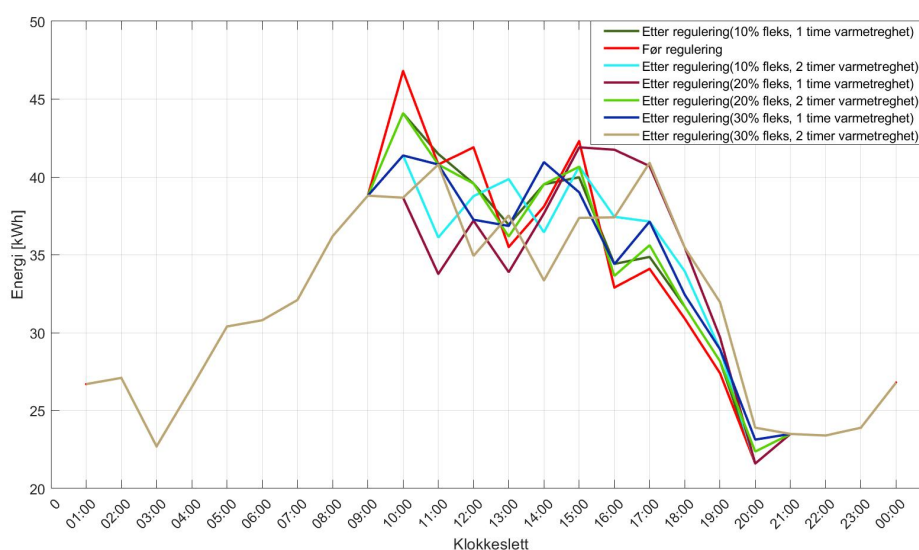
I tabell 8 regner en deretter ut energiforbruket for hver TEK-standard og adderer disse. En finner da ut hvor stort energiforbruket er for alle barnehagene til sammen, som er 386 GWh.

Når en har totalt energiforbruk finner en så ut teknisk og realistisk potensial utifra tabell 6 og 7. Det teknisk potensialet er på 246 GWh som tilsvarer 63,7% og det realistiske er på 37 GWh som tilsvarer 9,58%.

Barnehage	Areal [m^2]	Energi per areal [kWh/m^2]	Energi per år [$kWh/år$]
Nybygg/Tek10	182 800	221	40 398 800
Tek07	85 900	160	13 744 000
Tek97	306 000	206	630 360 000
Tek87	337 700	263	88 815 100
Tek69	418 000	370	154 660 000
Tek49	47 200	395	18 644 000
Eldre	16 600	437	7 254 200
Sum	1 394 200		0,386 TWh/år
Gj.snitt	247.9459363		68744.8 kWh

Tabell 8: Energiforbruk i barnehage per TEK-standard

Før barnehagen er det gjort en analyse for hvordan et forbruk vil se ut dersom en flytter forbruk i topplasttimer. Her har grensen blitt flyttet til 42 kWh. Til forskjell fra kontorbygget har ikke barnehagen sine topper etter hverandre, og dermed vil grafene variere i større grad. Barnehagen har også større andel elektrisk oppvarming enn kontorbygget, og forskjellene vil av den grunn være mye større enn i kontorbygget. I dette tilfellet har vi brukt 10%, 20% og 30% fleksibilitet, samt varmetreghet på 1 og 2 timer. Varmetregheten sier noe om hvor lenge en kan vente før en må innhente tapt komfort. Vi har sett på scenarioer der en kun venter 1-2 timer, dette for å holde oss innenfor rimelige rammer.



Figur 37: Barnehage - Scenarioer av flytting av forbruk i topplasttimer

Årsaken til at forbruket stiger i timene etter topplasttimene er at en opplever en ”rebound”-effekt, tidligere nevnt på side 5, som kommer av at en ønsker å hente inn litt av tapt komfort. Dette betyr at forbruket som en flytter fra topplasttimene fordeler seg på de neste timene, som ikke er like høye. Av den grunn vil det totale dagsforbruket forbli det samme, mens effekttoppene blir mindre. På grunn av at den elektriske oppvarmingen i barnehagen er så stor, vil fleksibiliteten utgjøre så mye mer for hver gang fleksibiliteten øker. Så lenge forbruket i disse timene ikke da overstiger grensen, vil det heller ikke overbelaste nettet slik timene over denne grensen gjorde. I noen tilfeller, hvor fleksibiliteten er lav, vil den ”nye” topplasttimen fremdeles overstige grensen. Men når en først har trukket fra den tilgjengelige fleksibiliteten er det ikke annet å gjøre. Overbelastningen vil fremdeles

minke, så det vil gjøre et utslag, men det er nok mest gunstig å tilføre nok fleksibilitet til at toppplasttimene havner under grensen.

4.2.2 Industribygg

Vi bruker samme fremgangsmåte som i barnehage og finner ut at industribygg har et energiforbruk på 3,78 TWh. Fra tabell 6 og 7 finner vi ut at industribygg har et teknisk potensial på 2 486 GWh som tilsvarer 65,39% og et realistisk potensial på 373 GWh som tilsvarer 9,86%.

Industribygg	Areal [m^2]	Energi per areal [kWh/m^2]	Energi per år [$kWh/år$]
Nybygg/Tek10	1 391 400	276	384 026 400
Tek07	191 400	195	37 323 000
Tek97	958 300	241	230 950 300
Tek87	2 024 300	297	601 217 100
Tek69	3 947 000	437	1 724 839 000
Tek49	1 523 300	374	569 714 200
Eldre	577 500	403	232 732 500
Sum	10 613 200		3,78 TWh/år

Tabell 9: Energiforbruk i industrien per TEK-standard

4.2.3 Kontorbygg

Vi har regnet ut det totale forbruket for et kontorbygg på to måter. I den første måten tar vi utgangspunkt i rapporten Analyse av energibruk i yrkesbygg av NVE [22]. Der har de estimert totalt areal for kontorbygg på 28,5 millioner m^2 og et gjennomsnittsnivå energibruk per kvadratmeter på 235 kWh/m^2 . Vi får da et totalt forbruk for kontorbygg på 6,7 TWh.

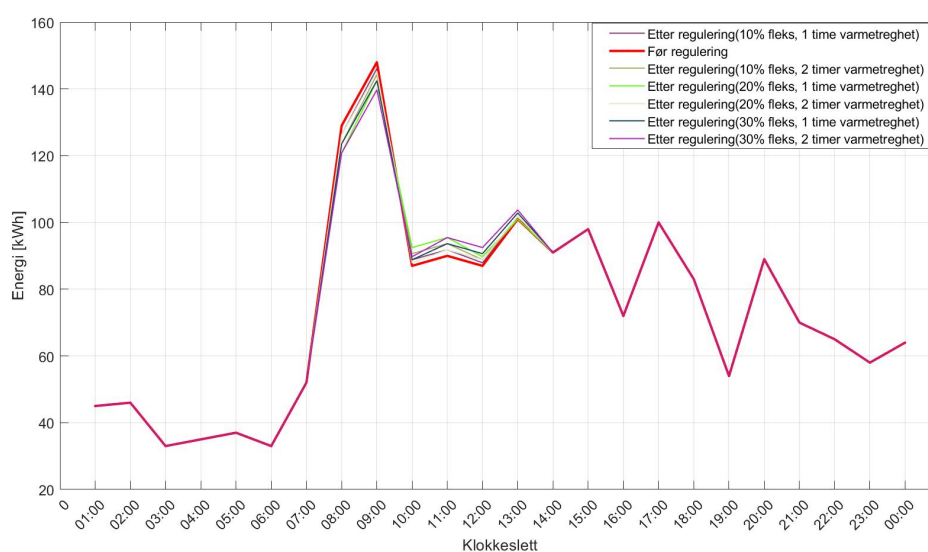
I den andre måten bruker vi samme fremgangsmåte som i barnehage, resultatet vi får er cirka 7 TWh. I den første måten har vi lagt til grunn at det er 28,5 millioner m^2 , og i den andre måten har vi lagt til grunn 29,2 millioner m^2 . Det vil derfor være et høyere forbruk i den andre måten, resultatene samsvarer godt nok til at det styrker analysens troverdighet.

I tabell 6 finner vi det tekniske potensialet som er på 4 218 GWh per år, det tilsvarer 62,9% av energien i kontorbygg. Vi finner deretter det realistiske potensialet i tabell 7 som er på 672 GWh som er ca. 10% av energien i et kontorbygg, og det er dette tallet vi baserer oss på når vi skal flytte på toppplasttimene.

Kontorbygg	Areal [m^2]	Energi per areal [kWh/m^2]	Energi per år [$kWh/år$]
Nybygg/Tek10	3 837 000	136	521 832 000
Tek07	762 700	167	127 370 900
Tek97	3 718 600	204	758 594 400
Tek87	6 742 000	250	1 685 500 000
Tek69	8 717 000	287	2 501 779 000
Tek49	4 258 400	271	1 154 026 400
Eldre	1 232 400	276	340 142 400
Sum	29 268 100		7,09 TWh/år

Tabell 10: Energiforbruk i kontorbygg per TEK-standard

For å vise hvordan et forbruk vil se ut dersom en benytter seg av fleksibilitet, har vi tatt for oss flere ulike scenarioer. Vi har tatt utgangspunkt i når kontorbygget har sin peakverdi, som er 12. januar 2021, og benyttet oss av flere ulike parametere. Vi har lagt inn at varmetregheten kan variere mellom 1 og 2 timer, i tillegg til å ha sett på forskjellene mellom 10%, 20% og 30% fleksibilitet. Dette for å kunne se forskjellene og resultatene hver enkelt scenario vil utrette. Også her har vi antatt varmetreghet på 1-2 timer, selv om vi kan anta at et kontorbygg holder bedre på varmen enn en barnehage. Grunnen til at vi bruker samme varmetreghet som i barnehagen er for å se hvor mye like stor varmetreghet kan bidra. Det er her tatt i utgangspunkt at topplasttimene er timer som overstiger en grense på 120 kWh.



Figur 38: Kontorbygg - Scenarioer av flytting av forbruk i topplasttimer

Også i kontorbygget vil vi se ”rebound”-effekter. ”Rebound”-effekten i kontorbygget er mye lavere enn i barnehagen. Dette kommer av at kontorbygget har lavere andel elektrisk oppvarming. Timene med høyest fleksibilitet vil bidra mest til redusere effekttoppen, mens varmetregheten sier hvor lang tid det vil ta før komforten er innhentet.

4.2.4 Bolig

Boliger utgjør 23% av Norges totale forbruk som tilsvarer 48TWh [27]. Det teknisk potensialet til boliger er på 13,4 TWh [38]. For å finne det realistiske energiforbruket finner vi forholdet mellom teknisk og realistisk potensial. Vi bruker forholdstallet og finner ut at realistisk potensial i boliger er på 2,06 TWh som tilsvarer 4,3%.

4.3 Utsettelse av nettoppgraderinger

I denne delen av analysen har vi kommet opp med et fiktivt scenario der en transformatorstasjon er overbelastet, hvor kapasiteten tar utgangspunkt i samlet last fra de tre næringsbyggene fra Enoco. Vi har sett på muligheter for å utsette nettoppgraderinger ved bruk av fleksibilitet, og eventuelt hvor lenge en kan utsette de. Disse situasjonene og grafene baserer seg på prinsippet fra figur 1 og 2 på side 3.

Det er tre bygg tilkoblet trafostasjonen, et kontorbygg, en barnehage og et industribygg. Vi har laget to scenarioer, hvor det første tar utgangspunkt i timen når kontorbygget har den høyeste peak-verdien. Det andre scenarioet tar utgangspunkt i timen når barnehagen har den høyeste peak-verdien.

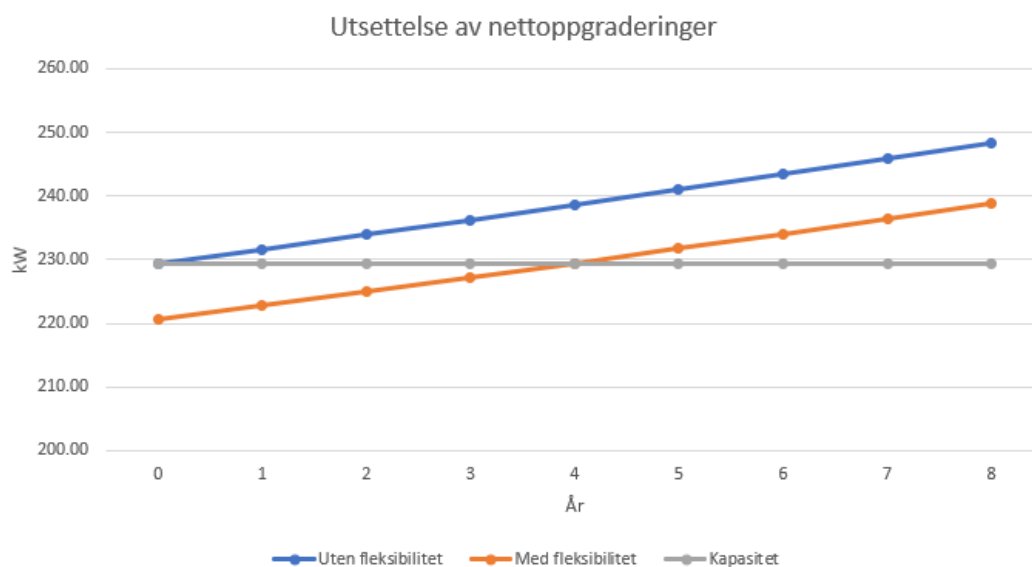
For å kunne vise hvor mye fleksibilitet har å si for en nettutsettelse har vi laget to tabeller, tabell 11 og 12. Der viser vi hvor mye 5%, 10% og 20% fleksibilitet har å si for en utsettelse av en nettoppgradering. Hvor stor prosentandel fleksibilitet det er å hente kommer av hvor stor del av den elektriske oppvarmingen som kan kuttes fra topplasttimene, og da eventuelt flyttes til tidligere eller senere timer for å innhente tapt komfort. Både i figur 37 og 38 har vi lagt til grunn at de fire neste timene vil øke sitt forbruk for å innhente tapt komfort, noe som innebærer flytting av forbruk. Vi har også lagt til grunn at forbruket øker med 1% hvert år. For å være sikker på at kapasiteten i trafostasjonene ikke har en innvirkning på en utsettelse, innfører vi kapasitetene 230, 235 og 240 kW i scenario 1.

I scenario 1 tar vi utgangspunkt i når kontorbygget har sin høyeste peak-verdi. Figur 39 og 40 viser tilfellene når vi innfører kapasitetene 230 og 235 kW med en fleksibilitet på 10%, og vi ser da at kapasiteten ikke har noe å si for en utsettelse.

Tabell 11 viser hvor mange år det er mulig å utsette en oppgradering basert på fleksibiliteten. Desto større del fleksibilitet, desto flere år kan en utsette en oppgradering. Hvordan vi har kommet frem til verdiene vises i vedlegg 5.

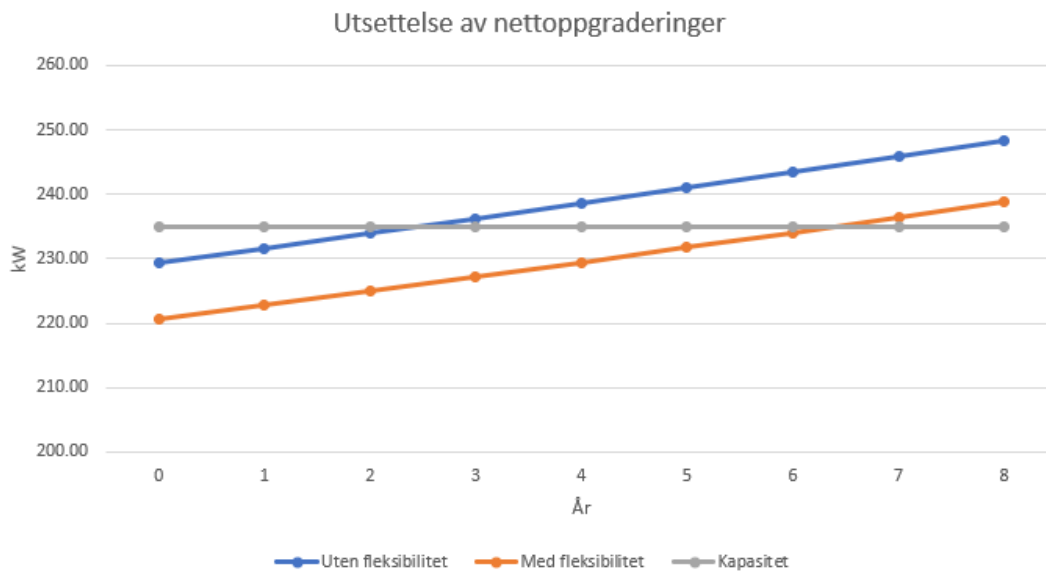
Kapazität Flexibilitet	230 kW	235 kW	240 kW
	5%	3,5 år	3,5 år
10%	4 år	4 år	4 år
20%	5,5 år	5,5 år	5,5 år

Tabell 11: Resultat av utsettelseanalyse - Kontorbygg



Figur 39: Utsettelse av nettet med kontor som referanse, med kapasitet på 230 kW

Figur 39 viser tilfellet hvor kapasiteten til trafostasjonen er lik forbruket. Flexibiliteten er 10% og vi ser at det er mulig å utsette en investering i trafostasjonen med 4 år.



Figur 40: Utsettelse av nettet med kontor som referanse, med kapasitet på 235 kW

I scenario 2 tar vi utgangspunkt i når barnehagen har sin høyeste peak-verdi. Samlet forbruk for byggene den timen er på 237 kW. Vi bruker her kun kapasiteten som er lik forbruket. I tabell 12 ser vi at fleksibiliteten har et mye større potensial til å utsette en oppgradering i trafostasjonen enn i scenario 1, det ser vi i sammenheng med at barnehagen har et større fleksibilitetspotensial.

Kapasitet Fleksibilitet	237 kW
5%	3 år
10%	6 år
20%	13 år

Tabell 12: Resultat av utsettelseanalyse - Barnehage

For at trafostasjonen skal kunne utsette en oppgradering må fleksibiliteten hentes fra en plass. I figur 37 og 38 kan vi se hvordan fleksibiliteten vil påvirke forbruket. En høyere grad fleksibilitet vil i større grad påvirke forbrukeren sin komfort i topplasttimene, og det er derfor viktig å finne et samspill slik at det ikke går utover komforten.

5 Diskusjon

Årene 2020 og 2021 har vært preget av viruset Covid-19, og tiltakene som har blitt innført i samfunnet har indirekte hatt ulike konsekvenser på strømmettet. Det finnes veldig lite informasjon om akkurat hvordan Covid-19 har påvirket distribusjonsnettet, men det er absolutt mulig å drøfte seg frem til. Ettersom veldig mange har hatt hjemmekontor kan vi anta at det totale energiforbruket i boliger har vært noe høyere enn vanlig. Vi kan anta at hjemmekontor har sørget for mindre forskjeller i forbruket i boliger, og at effekttoppene som vanligvis inntreffer når folk kommer hjem fra arbeid vil være noe lavere. Derimot vil nok effekttoppene som inntreffer på morgenen ha vært noe høyere.

Samtidig som energiforbruket i boliger har økt, har sannsynligvis energiforbruket i næringsbygg og undervisningsbygg/barnehager minnet. Dette kommer av at arbeidere ikke har vært tilstede på jobb i like stor grad. Vi kan av den grunn anta at effekttoppene som vanligvis inntreffer når arbeidere kommer på jobb har vært lavere i 2020/2021. Næringsbygg har sannsynligvis hatt en reduksjon i forbruk på landsbasis, selv om noen distrikter kanskje er upåvirket.

Ettersom forbruket har blitt flyttet noe fra næringsbygg/undervisningsbygg til boliger kan vi anta at dette også har påvirket mulighetene for fleksibilitet. Vi vet allerede at boliger har generelt mindre muligheter for fleksibilitet enn næringsbygg, og kan av den grunn trekke en konklusjon om at det har vært mindre muligheter for fleksibilitet i Covid-19 tidene.

5.1 Hva har potensiale som lastfleksibilitet?

Bolig:

Det finnes i overkant av 2,5 millioner boliger i Norge, aggregert har de et stort fleksibilitetspotensiale, men i realiteten er det vanskelig å få forbrukeren til å utnytte dette. Forbrukeren vil kunne være villig til å engasjere seg i fleksibilitetsmarkedet om de ser en økonomisk gevinst. Til nå har det vært en begrenset økonomisk gevinst ved å drive fleksibelt, og flere forbrukere ser ikke lønnsomheten. Besparelsen av å utnytte fleksibilitet for forbrukeren må derfor øke drastisk før majoriteten velger å engasjere seg i fleksibilitetsmarkedet. For at forbrukeren skal være fleksibilitetsvillig er det også essensielt at det ikke går utover komforten til forbrukeren. På grunn av

dette er det i grunn forbrukeren selv som bestemmer hvor fleksibelt forbruket deres er.

Det koster også å oppgradere huset til et nivå som gjør at det blir mulig med fleksibel laststyring. Det vil alltid være noen som vil stå frem som pionerer eller foregangsmenn innen energibesparende teknologi, men ikke alle forbrukere er like villige til å investere i ny teknologi som styresystemer og automatiseringsteknologi. Den yngre generasjon vil muligens være mer tilbøyelig for fleksibilitet, da de er oppvokst i en mer digital og miljøbevisst verden.

Elbiler:

Særlig boligeiere anskaffer seg elbiler og ettersom det blir flere elbiler vil også energibruken de trekker fra nettet bli større. Hvordan dette vil ha en innvirkning på nettet vet ingen, men vi kan anta at det vil føre til flere effekttopper og flaskehalsler. Lademønsteret til elbiler er spesielt gunstig for nettet ettersom de fleste lader elbilen sin om natten da strømmettet er lite belastet. Ved å lade om natten vil det føre til et jevnere bruk av strømmettet.

Hurtiglading er en rask måte å lade bilen på, men i motsetning til hjemmeladerene vil de trekke høy effekt over en kort tidsperiode. Det kan føre til overbelastninger og bidra til flaskehalsler. Hurtigladerne anvendes gjerne på strekninger med dårlig nettkapasitet som mellom hus og hytte. Det vil være gunstig å oppgradere nettet i slike områder for å unngå nettopp overbelastninger og flaskehalsler. En løsning vil være å installere batterier som trekker jevn effekt fra nettet for så å lade ut raskt ved opplading av elbilen. På denne måten vil nettet oppleve en jevn flyt av energi, effekttoppene vil reduseres, det vil bli færre flaskehalsler og det kan mulig utsette en nettinvestering.

Elbiler som lader på jobb settes gjerne i laderen ved ankomst og starter ladeprosessen allerede da, det vil også være på den tiden kontorbygget varmes opp og sammen vil det føre til eventuelt høye effekttopper. En løsning vil være å ha batterier, som ved hurtiglading. En annen måte vil være å utsette ladingen til en senere tid eller fremskyve oppvarmingen av bygget som vil føre til et jevnere forbruk og lavere effekttopper. Med et økende forbruk av elbillading på jobb kan det være interessant å se etter andre måter å dekke forbruket på. Her vil distribuert produksjon kunne spille en sentral rolle hvor for eksempel solcellepaneler kan brukes til å dekke forbruket.

Kontorbygg:

Ut ifra analysen ser vi at det går mer energi til elektrisk utstyr enn til romoppvarming, det kan være at de elektriske apparatene avgir varme, og da ikke trenger like mye energi til romoppvarming. Denne varmen gjør også at det kan bli for varmt og derfor vil det gå mer energi til kjøling i kontorbygg. I timer med høyt forbruk kan en anta at de største delene av forbruket tilhører det elektriske utstyret. Det elektriske utstyret brukes hver dag og forbruket vil ikke varigere stort, det som skaper effekttoppene vil være oppvarmingen av bygget. Oppvarming er en god fleksibilitetslast med at varmetregheten i kontorbygg ofte er god kan en forskyve oppvarmingen til et annet tidspunkt. Mer termisk treghet betyr større potensiale for å flytte forbruk, som vist i analysen side 58.

Fleksible laster	Prosentandel
Romoppvarming	32,6%
Ventilasjon	18%
Vifter	10,7%

Tabell 13: Andel fleksible laster i kontorbygg

Barnehage:

Forbruksmønsteret til en barnehage ligner på et kontorbygg sitt, men en større del av forbruket i en barnehage går til oppvarming. Til tross for at det ikke finnes faste grenser for innetemperatur i barnehager har de generelt høyere innendørstemperatur sammenlignet med andre næringsbygg, ettersom barna er mer sensitive for kulde. Også barnehagen fra Enoco har en høyere andel elektrisk oppvarming enn de andre byggene vi fikk tilgang på. Barnehagen fra Enoco har ikke fjernvarme, noe som gjør at bygget har mye større potensial for fleksibilitet. Bygget er også relativt lite, altså mindre enn $1000m^2$, og har derfor ikke samme plikt til å koble seg på fjernvarmenettet som større bygg har.

Til tross for at en større andel av det totale energiforbruket til barnehager går til romoppvarming, antar vi at det realistiske fleksibilitetspotensialet til barnehager vil være omtrent likt som i kontorlokaler. Vi kan anta at dette er grunnet lavere TEK-standard og høyere temperatur-standard hos barnehager. Av den grunn vil en mindre andel av romoppvarmingen være fleksibel hos barnehager enn i kontorbygg.

Kraftintensiv produksjon:

Den kraftintensive produksjonen vil i motsetning til de andre byggene være svært lite fleksibelt ettersom prisene må bli høyere enn produsert vare. Vi har til nå ikke opplevd så stramme situasjoner i nettet og vet ikke hvordan markedet vil reagere når det skjer. I tillegg er kraftintensive industrier sjeldent tilkoblet distribusjonsnettet. Det vil fortsatt være mulig for kraftintensiv industri å bidra til å stabilisere distribusjonsnettet.

Vi har valgt å plassere datasentre under kategorien kraftintensiv industri. Datasentre må hele tiden driftes og kan derfor ikke tilby fleksibilitet på samme måte som andre forbrukere i samme sektor, men kan være med å stabilisere nettet i korte perioder. Alle datasentre har et UPS-anlegg som kan overta driften dersom det oppstår problemer i strømforsyningen. Sentrene kan av den grunn hjelpe med å avlaste og stabilisere nettet ved å driftes ved bruk av UPS.

Lettindustri/verksted:

Den litt mindre produksjonen som er tilkoblet distribusjonsnettet, i motsetning til den kraftintensive produksjonen, kan tilby fleksibilitet. Det største potensiale for fleksibilitet i lettindustrien finnes i selve bygget, i oppvarming og ventilasjon, ikke i industridelen, som for eksempel i maskiner. Vi kan anta at ulike typer industribygg vil kunne tilby ulik andel fleksibilitet, med tanke på hvor stor del av virksomheten som er oppholdsrom. Desto større andel industri, desto mindre potensiale for fleksibilitet. Industribygget hos Enoco er et lettindustribygg, som dermed er tilkoblet distribusjonsnettet. Dette gjør igjen at den eventuelle fleksibiliteten dette bygget kan tilby, vil kunne bidra til å lette på belastning.

5.2 Hva betyr fleksibilitet for forbrukeren?

Fleksibilitet for forbrukere i dag betyr hovedsakelig kun penger spart i form av å flytte eller redusere forbruk i timer med høye strømpriser. Forbrukere vil kun ha et økonomisk motiv ovenfor fleksibilitet, og vil bidra med fleksibilitet når de ser enkle måter å spare eller tjene penger på. I dag vil det kun være mulig å spare penger i form av å redusere eget forbruk, men ved riktig tilrettelegging vil det kunne bli et markedssystem for kjøp og salg av fleksibilitet. Ved et slikt system vil forbrukere sannsynligvis kun bidra med salg av fleksibilitet i toppplasttimene, ettersom kjøp av fleksibilitet vil være ganske unyttig for forbrukere som allerede kjøper strøm fra nettselskapene.

Dessuten ønsker forbrukere forutsigbarhet og vite at de kan bruke energi når de har behov for det. Det er mye som må tilrettelegges for at forbrukere skal kunne tilby mer fleksibilitet i forbruket sitt. I dag er det begrenset hvor mye fleksibilitet forbrukere er villige til å gi. Dette kan skyldes mangel på kunnskap og brukervennlighet. Det vil være vanskelig for forbrukere å flytte forbruk bort fra timer med høye strømpriser ettersom de kanskje ikke vet når disse timene er, eller vet noe særlig om hvilke forbruk de kan flytte. En aggregator vil kunne være et bindeledd mellom forbrukeren og et eventuelt fleksibilitetsmarked. På den måten vil forbrukeren kun stille forbruket sitt til rådighet uten selv å være involvert i handelen.

Ut fra grafene i figur 37 og 38, som viser scenarioer av forbruksflytting, kan vi anta at dette er mest gunstig og gjennomførbart for en forbruker. Dersom en forbruker ikke reduserer sitt forbruk totalt sett, men flytter en andel fleksibelt forbruk fra toppplasttimene vil den totale komforten bevares. Dersom et bygg har lite elektrisk oppvarming, vil ikke flytting av fleksibelt forbruk utgjøre en stor forskjell, og dermed er dette en grei løsning i slike bygg som kontorbygget. Barnehagen har derimot mye større andel elektrisk oppvarming, og her vil fleksibiliteten utgjøre en stor forskjell i forbruket, og det blir da være opp til forbrukeren å avgjøre hvor mye en kan flytte fra toppplasttimene uten å redusere komforten. Vi kan anta at det er mest gunstig med lastreduksjon og forbruksflytting i toppplasttimene for forbrukere, med tanke på kostnader og enkelhet. Det vil være både billigere og enklere for en forbruker å redusere sitt forbruk i toppplasttimer, enn å skulle etterisolere bygget.

For enklere laststyring er en forbruker nødt til å investere i utstyr som gjør det enkelt og kjapt. Om det er gjennom en app eller en styringssentral, er det nødt

til å være oversiktlig og enkelt. Dette bør være billig nok til at forbrukere kan ha råd til utstyret, eller at nettselskap investerer i smart styring for forbrukere. Timene som er mest relevante for fleksibilitet er timene som bidrar til høye strømkostnader og effekttopper i nettet, og fra varighetskurvene til byggene kan en anta at dette utgjør rundt 100 timer i året.

5.3 Hva betyr fleksibilitet for DSO?

Fleksibilitet i distribusjonsnettet er i hovedsak lønnsomt for DSO ettersom hovedårsaken til å ville utnytte fleksibiliteten i nettet er å kunne utsette eventuelle nettoppgraderinger. Av den grunn vil ansvaret for å utnytte fleksibilitet også ligge hos DSO. Dette betyr derimot ikke at det ikke kan være lønnsomt å drifte fleksibelt for forbrukere. Kortsiktig sett vil fleksibilitet kunne forhindre flaskehals, og dermed forhindre situasjoner hvor DSO ikke klarer å levere den elektriske kraften som det er behov for. På grunnlag av KILE-ordningen vil inntektsrammene til nettselskapene bli kvalitetsjusterte og de vil av den grunn kunne potensielt spare mye penger ved å forhindre flaskehals. I tillegg vil fleksibiliteten kunne spare selskapene for mange KILE-kostnader ved planlagte utkoblinger.

Langsiktig vil fleksibiliteten kunne sørge for forlenget levetid av komponenter i nettet, ettersom antallet timer overbelastning minker. I tillegg vil et eventuelt marked for kjøp og salg av fleksibilitet gi DSO muligheter for å betale forbrukere til å ikke bruke nettet i timer med effekttopper. På denne måten vil DSO kunne sørge for et mer stabilt nett som ikke overstiger nettkapasiteten. Med dette kan en altså spare seg for høye utgifter ved å utsette eventuelle oppgraderinger av nettet, og sørge for et stabilt nett med god spenningskvalitet og lite tap.

Selv om energifleksibilitet vil kunne være økonomisk lønnsomt for DSO vil det være ulike faktorer som kan gjøre DSO skeptiske til bruken av det. Påliteligheten til forbrukersiden vil definitivt kunne være tvilsom i en slik prosess. I et markedssystem for fleksibilitet vil det ikke kunne garanteres kjøp og salg, men mulighetene DSO vil ha for å kjøpe vil være styrt av forbrukernes villighet til å selge. Av den grunn vil fleksibiliteten til forbrukere ikke kunne være garantert selv i topplasttimene.

5.4 Hvordan kan fleksibilitet utsette en nettoppgradering?

Analysen om utsettelse av nettoppgradering er en fiktiv situasjon vi har laget. Kapasitetene vi kom frem til for begge scenarioene var basert på samlet forbruk på topplasttimene. Grafene i figur 39 og 40 er en illustrasjon på hvordan fleksibilitet kan utsette eventuelle nettoppgraderinger. Fleksibiliteten er basert på tallene fra første del av analysen, mens lastutviklingen er et utregnet scenario som ikke kommer til å være reelt.

I analysen fant vi ut at scenario 1, som tar utgangspunkt i kontorbygget, hadde størst mulighet til å utsette en nettoppgradering ved 5% fleksibilitet. Derimot med både 10% og 20% fleksibilitet var det scenario 2, med utgangspunkt i barnehagen, som hadde størst mulighet til å utsette en nettoppgradering.

Fra tabell 10 i analysedelen kan vi se at utsettelsen ikke endrer seg med tanke på kapasiteten på transformatoren. Det vil si at det kun er andel fleksibilitet som påvirker utsettelsen av nettoppgraderinger. Utsettelsen øker i større grad når vi tar utgangspunkt i barnehagens topplasttime, på grunn av at barnehagen har en mye høyere andel fleksibilitetslast. Derimot vil det fra start av ta lengre tid for oppgraderinger dersom en tar utgangspunkt i kontorbyggets topplasttime, på grunn av at kontorbygget har mye større forbruksvolum en barnehagen. Vi ser i tabell 10 at når fleksibiliteten dobler seg vil også tiden en kan utsette en oppgradering doble seg.

5.5 Fleksibilitetsmarked og laststyring

Det har til nå ikke vært så stort og bredt marked for kjøp og salg av fleksibilitet, og det som har eksistert tidligere har vært komplisert, for spesielt interesserte og deltakende aktører. Det har de siste årene åpnet flere portaler for kjøp og salg av fleksibilitet. Enoco deltar som sagt i et større prosjekt, EU-SysFlex, som har åpnet et eget demonstrerende marked for kjøp og salg av fleksibilitet. Dette er kun en web-applikasjon for å demonstrere hvordan datautvekslingen mellom landegrenser skal opprettholde sikkerhet og legitimitet. Ettersom at energibruket for deltakende aktører er personlig, vil derfor sikkerheten rundt være viktig. Applikasjonen gir en oversikt over totalt forbruk over en valgt tidsperiode, samt den tilbydde fleksibiliteten for lastene over samme tidsperiode.

En kan her legge inn bud på hvor mye fleksibilitet en vil kjøpe og for hvilken tidsperiode en trenger den. Det samme gjelder motsatt vei, hvor en kan legge inn hvor mye fleksibilitet og effekt en kan tilby, for hvilken pris og også hvilken tidsperiode en kan tilby. En kan se for seg at et slikt marked vil kunne realiseres i fremtiden og fungere som et marked for fleksibilitet og effektutveksling mellom landegrenser. Denne portalen krever dog at en må bruke tid på å legge inn bud på fleksibilitet, legge inn tilbydd fleksibilitet, noe som ikke er realistisk for vanlige forbrukere eller dagligdags bruk for husholdninger.

Teknologier som Tibber og lignende tjenester kan gi forbrukere større insentiver for å regulere eget forbruk, noe som i det store kan gi gevinst for forbrukere i form av lavere strømutfgifter, og for større nettselskaper i form av lavere topplast og et mer stabilisert nett.

Noe av det viktigste å tenke på for kjøp og salg av fleksibilitet er at det skal være både oversiktlig, enkelt og så lite tidkrevende som mulig. Dette for at det skal være en motivasjon for forbrukere å sette seg inn i og bidra til fleksibilitet i nettet. Slik det er i dag er løsningene så tidkrevende og kompliserte at det kun er spesielt interesserte og aktører som kan spare store kostnader, som har nok tid, innsikt over eget forbruk og kompetanse til å kjøpe og selge fleksibilitet gjennom disse portalene. I tillegg er styringen av forbruk lite automatisk, og det vil være lite villighet til å måtte styre forbruket til ulike laster manuelt. Dersom det settes inn smarte styresystemer som reagerer automatisk på strømpriser og nettsituasjoner, så vil en være mye mer villig til å bidra i fleksibilitetsmarkedet. Utviklingen går derimot riktig vei, og installasjon av smarte målere, smarte automasjons- og styresystemer, og enklere og mer oversiktlige portaler, gir et større insentiv for bruk i mindre kontorbygg, helt ned til husholdninger.

En mulighet for forbrukere er at en aggregator vil kunne styre effektleveransen, slik at forbrukere slipper å måtte bruke mye av sin tid på å regulere forbruk opp og ned. Det viktigste med fleksibilitet er å kunne regulere sitt forbruk, uten at det går utover komforten, så her må en finne en løsning som tilfredsstillende både komfort og brukervennlighet.

6 Konklusjon

Formålet med oppgaven er å kartlegge hvilke lastfleksibiliteter som kan tilbys av næringsbygg, industribygg og boliger, og hvilken innvirkning de har på distribusjonsnett. Det skal også ses på mulighetene for å flytte laster og hvor lenge en kan utsette eventuelle nettoppgraderinger.

For at fleksibilitet skal kunne utsette en nettinvestering er DSO helt avhengig av at forbrukeren er villig til å være fleksibel. Forbrukerens villighet til å være fleksibel er avhengig av synlig økonomisk gevinst. Samtidig må brukervennlighet ved laststyring og i markedet forbedres, og kunnskapen om fleksibilitetsfeltet bli større. Det finnes i dag ikke et kommersielt marked for kjøp og salg av fleksibilitet, til tross for at det er et stort potensiale for det. Potensialet for fleksibilitet i næringsbygg ligger hovedsakelig i elektrisk oppvarming og ventilasjon. Dette kommer av at energiforbruket til elektrisk utstyr og belysning kan reguleres i svært liten grad. Elektrisk oppvarming vil også utgjøre det største fleksibilitetspotensialet i boliger.

Ut fra analysen som er gjort er det funnet ut at en investering i nettet kan utsettes basert på hvor mye fleksibilitet som er i nettet, uavhengig av nettkapasiteten. I analysen viser scenario 2, hvor barnehagen hadde sin toppplasttime, at en utsettelse kunne dobles når fleksibiliteten dobles. Det kan ses ut i fra at barnehagen sitt forbruk består av en større del elektrisk oppvarming.

I byggene som har blitt analysert vil det være elektrisk last med termisk treghet som er mest gunstig som fleksibilitetslast. Dette fordi en kan kutte eller flytte mest forbruk fra toppplasttimene til disse lastene. Det resulterer i at desto mer av forbruket som går til elektrisk oppvarming, desto større lastfleksibilitet er det å hente. Av byggene som har blitt sett på er det særlig næringsbygg som kan bidra med sin fleksibilitet til distribusjonsnett, med tanke på forbruksvolum og andel fleksibilitetslast. Boliger har også et potensiale for fleksibilitet til nettet, dersom en aggregerer tilgjengelig last. For industrien vil det være størst fleksibilitetspotensiale i selve industribygget, gjennom elektrisk oppvarming og ventilasjon, og ikke industridelen, som maskiner.

Vi anser det som gunstig å benytte seg av fleksibilitet i kraftnettet og ser at lastfleksibilitet har en betydning for å kunne utsette en investering i distribusjonsnett.

Referanser

- [1] NVE. Forbrukerfleksibilitet i det norske kraftmarkedet; November 2006. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2006/oppdragsrapportA2006_07.pdf.
- [2] Sperstad IB. Er fleksibilitet alltid et godt alternativ til nettutbygging? Webinar om fleksibilitet i distribusjonsnett. Norge: Cineldi; 20. april 2021. Tilgjengelig fra: https://smartgrids.no/wp-content/uploads/sites/4/2021/04/01-2021-04-20_Sperstad_fleksibilitet_og_nettpanlegging.pdf;
- [3] Statnett. Nettplan Stor-Oslo: Alternativer til nettutbygging. En potensialstudie for Oslo og Akershus.; 2011. Tilgjengelig fra: <https://www.statnett.no/globalassets/her-er-vare-prosjekter/region-ost/nettplan-stor-oslo/alternativer-til-nettinvesteringer-2011.pdf>.
- [4] Sæle H., Degafa MZ., Sperstad IB. Comprehensive classifications and characterizations of power system flexibility resources [Internett]. Sintef; 2021 [Hentet 21. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/?pubid=1891172>;
- [5] Statnett. Fleksibilitet i det nordiske kraftmarkedet 2018–2040; 11. januar 2018. Tilgjengelig fra: https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/2018-Fleksibilitet-i-det-nordiske-kraftmarkedet-2018-2040?fbclid=IwAR18kvTq8ucYDbke5cmZjmnK_nMvR0BRVIyjeSFJS5IJNd-kh203Wa3-_1o.
- [6] NVE. Energibruk fra datasentre i Norge; 11. januar 2019. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_13.pdf.
- [7] Sintef. Energy use in non-residential buildings -possibilities for smart energy solutions; 2015. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/interact/tr-a7510-energy-use-in-non-residential-buildings-possibilities-for-smart-energy-solutions-2015.pdf>.
- [8] Strømguiden [Internett]. Norge: Energi Norge; [2020; hentet 8. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.energinorge.no/stromguiden/stromguiden-2020/#part1>.
- [9] NVE. Status og prognoser for kraftsystemet 2018; 2018. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_103.pdf.

-
- [10] NVE. Har strømmettet kapasitet til elektriske biler, busser og ferger?; 2017. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_77.pdf.
- [11] NVE. Hva betyr elbiler for strømmettet?; 2016. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_74.pdf.
- [12] NVE. Batterier i distribusjonsnett; 2019. Tilgjengelig fra: https://www.nve.no/media/10799/batterier-i-distribusjonsnett_studentrapport-2020.pdf.
- [13] NVE. Forbrukerfleksibilitet og styring av forbruk: pågående aktiviteter; Januar 2015. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_07.pdf.
- [14] Agder energi. Slik ble Engene transformatorstasjon verdensberømt; 17.09.2018. Tilgjengelig fra: <https://www.ae.no/aktuelt/nyheter/slik-ble-engene-transformatorstasjon-verdensberomt/> [Funnet 7. mai 2021].
- [15] Nordic Council of Ministers. Demand side flexibility in the Nordic electricity market; 2017. Tilgjengelig fra: https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2017/12/Demand-side-flexibility_-DSO-perspective.pdf.
- [16] NVE. Analyse av energibruk i forretningsbygg; 2014. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_01.pdf.
- [17] Veksten fortsetter for varmpumper i Norge [Internett]. Norge: Norsk varmpumpeforening; 2017. Tilgjengelig fra: <https://www.novap.no/artikler/artikler-veksten-fortsetter-for-varmpumper-i-norge;>
- [18] Hofstad K. Store Norske Leksikon [Internett]. Utgave 9. Norge; 2019. Kraftintensiv industri; [hentet 12. april 2021]. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kraftintensiv_industri;
- [19] Kommunal- og moderniseringsdepartementet. Datasentre i Norge; Oktober 2020. Hentet fra: https://www.regjeringen.no/contentassets/4bf7e889744b4da089a863c498680f0f/201105_datacentre-i-norge_online_implement-rapport.pdf.
- [20] NVE. Energibruk fra datasentre i Norge; 11. januar 2018. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2018/faktaark2018_03.pdf.

-
- [21] Byggteknisk forskrift (TEK17). Norge: Direktoratet for byggkvalitet; 2017. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- [22] NVE. Analyse av energibruk i yrkesbygg; 24. februar 2016. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf.
- [23] Analyse av energibruk i yrkesbygg [Internett]. Norge: NVE; 17. september 2019 [oppdatert 27. oktober 2020; hentet 15. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu;>.
- [24] Statistikk med antall registrerte elbiler i Norge [Internett]. Norge: Norsk elbilforening [hentet 21. april 2021]. Tilgjengelig fra: [https://elbil.no/elbilstatistikk/elbilbestand/;](https://elbil.no/elbilstatistikk/elbilbestand/).
- [25] SSB. Kjørelegder [Internett]. Statistisk sentralbyrå. [Oppdatert 23. mars 2021; hentet 16. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/klreg;>.
- [26] Valle M. Teknisk Ukeblad [Internett]. 19.00. Så mye strøm brukte elbilene i fjor; 25. februar 2021 [hentet 16. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-strom-brukte-elbilene-i-fjor/507227#;>.
- [27] SSB. Produksjon og forbruk av energi, energibalanse og energiregnskap [Internett]. Statistisk sentralbyrå. [Oppdatert 27. oktober 2020; hentet 15. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energibalanse;>.
- [28] NordREG anbefaler å utvikle et fellesnordisk regulatorisk rammeverk for uavhengig aggregering [Internett]. Norge: NVE; 28. februar 2020 [oppdatert 2. mars 2020; hentet 17. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nytt-fra-rme/nyheter-reguleringsmyndigheten-for-energi/nordreg-anbefaler-a-utvikle-et-fellesnordisk-regulatorisk-rammeverk-for-uavhengig-aggregering/;>.
- [29] Øverli TU . Forbrukerfleksibilitet som en ressurs i fremtidens kraftsystem [masteravhandling]. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet; 2018.
- [30] M Z Degefa, H Sæle, I Petersen and P Ahcin. Data-driven Household Load Flexibility Modelling: Shiftable Atomic Loads; 2018. Tilgjengelig fra:
-

<https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2582419/DEGEFA2018ddh.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

- [31] Termostat eller regulator [Internett]. Norge: Micro Matic Norge AS; 2021 [Hentet 20. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://www.micromatic.no/smarte-losninger/bolig/varmestyring/velg-riktig-losning-for-varmestyring/termostat-eller-regulator/>;
- [32] Hva bruker du mest strøm på? [Internett]. Norge: Norgesenergi; [27. februar 2020; hentet 24. mars 2021]. Tilgjengelig fra: <https://norgesenergi.no/stromsmart/kan-du-fange-stromtyven/>.
- [33] Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemer. Norge: Olje- og energidepartementet; 2014.
- [34] Et moderne og digitalt kraftsystem [Internett]. Norge: Olje- og energidepartementet; [oppdatert 8. april 2019; hentet 20. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/ny-teknologi-i-kraftsystemet/>;
- [35] Kirkeby H. Introduksjon til mikronett og smarte nett. Norge: PQA AS; 2017. Tilgjengelig fra: <https://pqa.no/wp-content/uploads/2017/12/Mikronett-og-smarte-nett.pdf>;
- [36] Regulering av nettvirksomheten [Internett]. Norge: Olje- og energidepartementet; [oppdatert 8. april 2019; hentet 20. april 2021]. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/regulering-av-energisektoren/regulering-av-nettvirksomhet/>;
- [37] NVE. Fleksibilitet i kontorbygg; August 2018. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/Media/7268/studentrapport-fleksibilitet-i-kontorbygg.pdf>.
- [38] Enova. Potensial- og barrierestudie; 2012. Tilgjengelig fra: https://www.enova.no/download/?objectPath=upload_images/88D859C5C13E4BE3A6192F4F642131D2.pdf.

Vedlegg

Vedlegg 1

```
Gjennomsnittsforkbrukertime.m x Sommervinter.m x +
1 - filename = '.txt'; %Tekstfil for alle timesmålinger for hele året
2 - T = readtable(filename);
3 - for i = 1:24
4 -     A = T(i:24:8784,1:2); %24 intervaller, 8784 timer i et år
5 -     %disp (A(:,2));
6 -     %summary (A);
7 -     B = table2array(A(:,2)); %Kolonne 2 har alle strømmålinger
8 -     C = mean(B); %Finner gjennomsnittet for hver time
9 -     %disp (C);
10 -    D = T((i+x):24:(x+24), (1:2)); %Her er x hvilken plass i lista datoen dagen med høyest peakverdi startet på
11 -    E = table2array(D(:,2));
12 -    F = mean(E);
13 -    G = T((i+y):24:(y+24),1:2); %Her er y hvilken plass i lista datoen dagen med høyest totale forbruk startet på
14 -    H = table2array(G(:,2));
15 -    I = mean(H);
16 -    m(i,:) = [C];
17 -    n(i,:) = [F];
18 -    o(i,:) = [I];
19 -    %disp(['Gjennomsnittsverdien i time ',num2str(i),' er ',num2str(C),' kWh ']);
20 - end
21 - plot(m, 'r.-', 'LineWidth', 2);
22 - grid on
23 - hold on
24 - plot(n, 'g.-', 'LineWidth', 2);
25 - hold on
26 - plot(o, 'b.-', 'LineWidth', 2);
27 - xlabel('Klokkeslett');
28 - ylabel('kWh');
29 - legend({'Gjennomsnittsdag', 'Dag med høyest peakverdi', 'Dag med høyest totalt forbruk'});
30
```

Figur 41: MATLAB-kode for tegning av graf for gjennomsnittsforkbruk, høyeste forbruksdag og høyeste peakverdi

Vedlegg 2

```
Sommervinter.m x +
1 - filename = '.txt'; %Tekstfil for alle timesmålinger for hele året
2 - T = readtable(filename);
3 - for i = 1:24
4 -     A = T(i:24:5134,1:2); %24 timers intervaller frem til 30.09.20, da sommerhalvåret er over
5 -     E = T((i+5135):24:8784, 1:2); %24 timers intervaller fra 01.10.20 til siste måling 01.03.21
6 -     F = table2array(E(:,2));
7 -     G = mean(F); %Finner gjennomsnittet for hver time
8 -     %disp (A(:,2));
9 -     %summary (A);
10 -    B = table2array(A(:,2));
11 -    C = mean(B); %Finner gjennomsnittet for hver time
12 -    %disp (C);
13 -    m(i,:) = [C];
14 -    n(i, :) = [G];
15 -    plot(i, C, 'r.-','LineWidth', 2, 'MarkerSize', 15);
16 -    grid on
17 -    hold on
18 -    plot(i, G, 'b.-','LineWidth', 2, 'MarkerSize', 15);
19 -    plot (m, 'r.-');
20 -    plot (n, 'b.-');
21 -    xlabel ('Klokkeslett');
22 -    ylabel ('kWh');
23 -    legend({'Sommerhalvår', 'Vinterhalvår'});
24 - end
```

Figur 42: MATLAB-kode for tegning av graf for gjennomsnittsforbruket på sommer- og vinterhalvår

Vedlegg 3

```
Sammenlagringsfaktor.m x +
1 - filename = 'Excel-filnavn'.txt';
2 - T = readtable(filename);
3
4 - for i = 1:24
5 -     A = T(i,1:4);
6 -     B = table2array(A(:,2));
7 -     C = table2array(A(:,3));
8 -     D = table2array(A(:,4));
9
10 -     b(i,:) = [B];
11 -     c(i,:) = 5*[C];
12 -     d(i,:) = [D];
13 - end
14 - plot(b, 'b.-', 'LineWidth', 1.5);
15 - hold on
16 - plot(c, 'r.-', 'LineWidth', 1.5);
17 - hold on
18 - plot(d, 'g.-', 'LineWidth', 1.5);
19 - grid on
20 - xlabel('Tidspunkt');
21 - ylabel('kWh');
22 - legend({'Kontorbygg', 'Barnehage', 'Yrkesbygg'});
23 - title('Sammelagringsfaktor "dato"');
24
```

Figur 43: MATLAB-kode for illustrering av samtidighetsfaktor

Vedlegg 4

```
Editor - C:\Users\vmaren\Documents\Skolet\Bachelopp\flyttekontor.m
Flyttekontor.m x Flyttebhgm +
1 filename = 'Kontorbygg flytte.txt';
2 T = readtable(filename);
3 Grense = X; %Hvilken grense overbelastningen er på
4 for treghet = 1:2 %1-2 timer varmetreghet i bygget
5 for fleks = 0.1:0.1:0.3 % 10-30% fleksibilitet
6 A = T(1:24,1:3);
7 hoved = table2array(A(:,2));
8 varme = table2array(A(:,3));
9 varme_reg = varme;
10 hoved_reg = hoved;
11 for i = 1:24 %For hver time i døgnet
12 if hoved_reg(i) >= Grense %Dersom en verdi på hovedmåler er høyere enn grensen
13 hoved_reg(i) = hoved_reg(i)-fleks*varme_reg(i); %Trekke fra fleksibiliteten av varmen fra hovedmåler
14 hoved_reg(i+treghet) = hoved_reg(i+treghet)+(fleks/3)*varme_reg(i); %Legge på en tredje del de neste timene
15 hoved_reg(i+treghet+1) = hoved_reg(i+treghet+1)+(fleks/3)*varme_reg(i);
16 hoved_reg(i+treghet+2) = hoved_reg(i+treghet+2)+(fleks/3)*varme_reg(i);
17 end
18 end
19 plot(hoved_reg,'color',rand(1,3),'LineWidth',1); %De regulerte forbrukene får forskjellige farger
20 hold on
21 plot(hoved,'r.-','LineWidth',1.5);
22 hold on
23 grid on
24 xlabel('Klokkeslett');
25 ylabel('kWh');
26 legend('Etter regulering','Før regulering');
27 end
28 end
```

Figur 44: MATLAB-kode for flytting av forbruk fra topplasttimer

Vedlegg 5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	0. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
2	Kontor								
3	09,00	28.4	25.56	0	0	133.6	162	159.16	
4									
5	Barnehage								
6	09,00	3.8	3.42	0.8	0.72	7.7	12.3	11.84	
7	Yrkesbygg								
8	09,00						55	49.5	
9									
10							229.3	220.5	
11									
12	1. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
13	Kontor								
14	09,00	28.684	25.8156	0	0	134.936	163.62	160.7516	
15	Barnehage								
16	09,00	3.838	3.4542	0.808	0.7272	7.777	12.423	11.9584	
17	Yrkesbygg								
18	09,00						55.55	49.995	
19									
20							231.593	222.705	
21									
22	2. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
23	Kontor								
24	09,00	28.97084	26.073756	0	0	136.28536	165.2562	162.359116	
25	Barnehage					0			
26	09,00	3.87638	3.488742	0.81608	0.81608	7.85477	12.54723	12.159592	
27	Yrkesbygg								
28	09,00						56.1055	50.49495	
29									
30							233.90893	225.013658	
31									
32	3. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
33	Kontor								
34	09,00	29.2605484	26.33449356	0	0	137.6482136	166.908762	163.9827072	
35	Barnehage					0			
36	09,00	3.9151438	3.52362942	0.8242408	0.74181672	7.9333177	12.6727023	12.19876384	
37	Yrkesbygg								
38	09,00						56.666555	50.9998995	
39									
40							236.2480193	227.1813705	
41									

Figur 45: Analyse - Utvikling i forbruk 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
40							236.2480193	227.1813705	
41									
42	4. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
43	Kontor								
44	09,00	29.55315388	26.5978385	0	0	139.0246957	168.5778496	165.6225342	
45	Barnehage								
46	09,00	3.954295238	3.558865714	0.832483208	0.749234887	8.012650877	12.79942932	12.32075148	
47	Yrkesbygg								
48	09,00						57.23322055	51.5098985	
49									
50							238.6104995	229.4531842	
51									
52	5. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
53	Kontor								
54	09,00	29.84868542	26.86381688	0	0	140.4149427	170.2636281	167.2787596	
55	Barnehage					0			
56	09,00	3.99383819	3.594454371	0.84080804	0.756727236	8.092777386	12.92742362	12.44395899	
57	Yrkesbygg								
58	09,00						57.80555276	52.02499748	
59									
60							240.9966045	231.747716	
61									
62	6. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
63	Kontor								
64	09,00	30.14717228	27.13245505	0	0	141.8190921	171.9662644	168.9515472	
65	Barnehage								
66	09,00	4.033776572	3.630398915	0.84921612	0.764294508	8.17370516	13.05669785	12.56839858	
67	Yrkesbygg								
68	09,00						58.38360828	52.54524745	
69									
70							243.4065705	234.0651932	
71									
72	7. året	Oppvaming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
73	Kontor								
74	09,00	30.448644	27.4037796	0	0	143.237283	173.685927	170.6410626	
75	Barnehage					0			
76	09,00	4.074114338	3.666702904	0.857708282	0.771937454	8.255442211	13.18726483	12.69408257	
77	Yrkesbygg								
78	09,00						58.96744437	53.07069993	
79									
80							245.8406362	236.4058451	

Figur 46: Analyse - Utvikling i forbruk 2

J	K	L	M	N	O	P
				Transformatoren sin kapasitet	235.00	kW
år	Uten fleksibilitet	Med fleksibilitet	Kapasitet	Hvor mye fleksibilitet er det?	0.1	10 %
0	229.30	220.50	235	Hvor mye øker forbruket pr år?	1.01	1 %
1	231.59	222.71	235			
2	233.91	225.01	235			
3	236.25	227.18	235			
4	238.6104995	229.4531842	235			
5	240.9966045	231.747716	235			
6	243.4065705	234.0651932	235			
7	245.8406362	236.4058451	235			
8	248.2990426	238.7699036	235			

Figur 47: Analyse - Data til figur 40

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	0. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
2	Kontor								
3	09.00	28.4	=B3*(1-\$O\$4)	0	0	133.6	=B3+F3	=C3+F3	
4									
5	Barnehage								
6	09.00	3.8	=B6*(1-\$O\$4)	0.8	=D6*(1-\$O\$4)	7.7	=B6+D6+F6	=C6+E6+F6	=G6-H6
7	Yrkesbygg								
8	09.00						55	=G8*0.9	
9									
10							=SUMMER(G3,G6,G8)	=SUMMER(H3,H6,H8)	=G10-H10
11									=G11-H11
12	1. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
13	Kontor								
14	09.00	=B13*\$O\$5	=B14*(1-\$O\$4)	0	0	=F13*\$O\$5	=B14+F14	=C14+F14	=G14-H14
15	Barnehage								
16	09.00	=B16*\$O\$5	=B16*(1-\$O\$4)	=D6*\$O\$5	=D16*(1-\$O\$4)	=F6*\$O\$5	=B16+D16+F16	=C16+E16+F16	=G16-H16
17	Yrkesbygg								
18	09.00						=G8*\$O\$5	=G18*0.9	=G18-H18
19									
20							=SUMMER(G14,G16,G18)	=SUMMER(H14,H16,H18)	=G20-H20
21									
22	2. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
23	Kontor								
24	09.00	=B14*\$O\$5	=B24*(1-\$O\$4)	0	0	=F14*\$O\$5	=B24+D24+F24	=C24+F24	=G24-H24
25	Barnehage								
26	09.00	=B16*\$O\$5	=B26*(1-\$O\$4)	=D16*\$O\$5	=D26*(1-\$O\$4)	=F16*\$O\$5	=B26+D26+F26	=C26+E26+F26	=G26-H26
27	Yrkesbygg								
28	09.00						=G18*\$O\$5	=G28*0.9	=G28-H28
29									
30							=SUMMER(G24,G26,G28)	=SUMMER(H24,H26,H28)	=G30-H30
31									
32	3. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
33	Kontor								
34	09.00	=B24*\$O\$5	=B34*(1-\$O\$4)	0	0	=F24*\$O\$5	=B34+D34+F34	=C34+F34	=G34-H34
35	Barnehage								
36	09.00	=B26*\$O\$5	=B36*(1-\$O\$4)	=D26*\$O\$5	=D36*(1-\$O\$4)	=F26*\$O\$5	=B36+D36+F36	=C36+E36+F36	=G36-H36
37	Yrkesbygg								
38	09.00						=G28*\$O\$5	=G38*0.9	=G38-H38
39									
40							=SUMMER(G34,G36,G38)	=SUMMER(H34,H36,H38)	=G40-H40
41									

Figur 48: Analyse - Utvikling i forbruk 1 formel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
40							=SUMMER(G34,G36,G38)	=SUMMER(H34,H36,H38)	=G40-H40
41									
42	4. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
43	Kontor								
44	09.00	=B34*\$O\$5	=B44*(1-\$O\$4)	0	0	=F34*\$O\$5	=B44+D44+F44	=C44+F44	=G44-H44
45	Barnehage								
46	09.00	=B36*\$O\$5	=B46*(1-\$O\$4)	=D36*\$O\$5	=D46*(1-\$O\$4)	=F36*\$O\$5	=B46+D46+F46	=C46+E46+F46	=G46-H46
47	Yrkesbygg								
48	09.00						=G38*\$O\$5	=G48*0.9	=G48-H48
49									
50							=SUMMER(G44,G46,G48)	=SUMMER(H44,H46,H48)	=G50-H50
51									
52	5. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
53	Kontor								
54	09.00	=B44*\$O\$5	=B54*(1-\$O\$4)	0	0	=F44*\$O\$5	=B54+D54+F54	=C54+F54	=G54-H54
55	Barnehage								
56	09.00	=B46*\$O\$5	=B56*(1-\$O\$4)	=D46*\$O\$5	=D56*(1-\$O\$4)	=F46*\$O\$5	=B56+D56+F56	=C56+E56+F56	=G56-H56
57	Yrkesbygg								
58	09.00						=G48*\$O\$5	=G58*0.9	=G58-H58
59									
60							=SUMMER(G54,G56,G58)	=SUMMER(H54,H56,H58)	=G60-H60
61									
62	6. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
63	Kontor								
64	09.00	=B54*\$O\$5	=B64*(1-\$O\$4)	0	0	=F54*\$O\$5	=B64+D64+F64	=C64+F64	=G64-H64
65	Barnehage								
66	09.00	=B56*\$O\$5	=B66*(1-\$O\$4)	=D56*\$O\$5	=D66*(1-\$O\$4)	=F56*\$O\$5	=B66+D66+F66	=C66+E66+F66	=G66-H66
67	Yrkesbygg								
68	09.00						=G58*\$O\$5	=G68*0.9	=G68-H68
69									
70							=SUMMER(G64,G66,G68)	=SUMMER(H64,H66,H68)	=G70-H70
71									
72	7. året	Oppvarming uten flex	Oppvarming med flex	ventilasjon uten flex	ventilasjon med flex	Annet forbruk	Uten flex	Med flex	
73	Kontor								
74	09.00	=B64*\$O\$5	=B74*(1-\$O\$4)	0	0	=F64*\$O\$5	=B74+D74+F74	=C74+F74	=G74-H74
75	Barnehage								
76	09.00	=B66*\$O\$5	=B76*(1-\$O\$4)	=D66*\$O\$5	=D76*(1-\$O\$4)	=F66*\$O\$5	=B76+D76+F76	=C76+E76+F76	=G76-H76
77	Yrkesbygg								
78	09.00						=G68*\$O\$5	=G78*0.9	=G78-H78
79									
80							=SUMMER(G74,G76,G78)	=SUMMER(H74,H76,H78)	=G80-H80

Figur 49: Analyse - Utvikling i forbruk 2 formel

J	K	L	M	N	O	P
				Transformatoren sin kapasitet	=235	kW
år	Uten fleksibilitet	Med fleksibilitet	Kapasitet	Hvor mye fleksibilitet er det?	0.1	0.1
0	=G10	=H10	=O3	Hvor mye øker forbruket pr år?	1.01	0.01
1	=G20	=H20	=M5			
2	=G30	=H30	=M6			
3	=G40	=H40	=M7			
4	=G50	=H50	=M8			
5	=G60	=H60	=M9			
6	=G70	=H70	=M10			
7	=G80	=H80	=M11			
8	=G90	=H90	=M12			

Figur 50: Analyse - Utvikling i forbruk 3 formel

ENERGIFLEKSIBILITETENS INNVIKKNING PÅ DISTRIBUTJONSNETTET

Eisabeth Øen, Eskil Bogstad Furset, Marero Sæther og Mathias Mathiesen Hagane

NTNU, Trondheim, Mai 2021

Hva er energifleksibilitet?

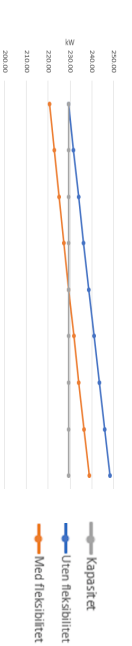
Flexibilitet kan anses som forbrukerens respons for å avlaste nettet eller spare penger ved å regulere forbruket sitt for å tilpasse seg den daværende nettsituasjonen. Det handler i hovedsak om å stabilisere nettet, minke ujevnheter og bidra til utsetting av nettoppgraderinger

Flexibele laster

Elektriske laster med termisk treghet er de mest gunstige fleksibilitetslastene. Dette fordi en kan regulere, altså kutte eller flytte, mest forbruk fra topplast-timene til disse lastene uten at det går utover komforten til forbrukeren. Det er størst fleksibilitetspotensiale i elektrisk oppvarming og ventilasjon.

Analyse for utsettelse av nettoppgraderinger

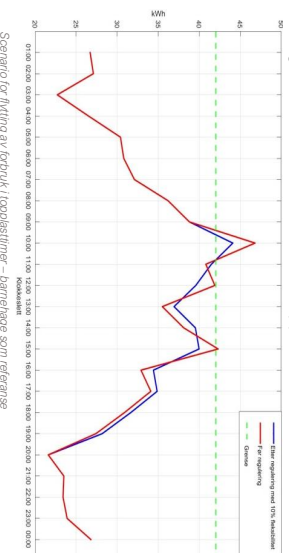
Analysen er basert på et fiktivt scenario der en transformatorstasjon er overbelastet. Kapasiteten tar utgangspunkt i samlet last fra de tre næringsbyggene fra Enoco. Det har blitt sett på hvor lenge fleksibilitet kan utsette eventuelle nettoppgraderinger.



Utsettelse av netter med kontorbygg som referanse, kapasitet på 250 kW

Analyse for flytting av last

Det er gjennomført en analyse for hvordan et forbruk vil se ut dersom man flytter forbruk i topplaststimer. Det totale forbruket vil fortsatt være det samme, men topplastene reduseres og de neste, lavere, timene vil øke sitt forbruk betraktelig. Overbelastningen i nettet vil dermed minke i topplasttimene.



Scenario for flytting av forbruk i topplaststimer – barnehage som referanse

Oppgaven

Formålet med oppgaven er å kartlegge hvilke lastefleksibiliteter som har en innvirkning på distribusjonsnettet, og om disse fleksibilitetene kan bidra til å utsette en nettvestering.

Metode

Det er hovedsakelig blitt gjennomført litteraturstudie med fokus på utredninger og rapporter. Det er også blitt foretatt analyser basert på data fra *Euroza cloud*

Enocos bygninger

Gjennom Enoco sin portal *Euroza cloud* har vi fått tilgang på forbruksdata til fire bygg: et kontorbygg, en barnehage, et industrbygg og en bolig. Denne dataen legger grunnlag for analysene.

Konklusjon

Det anses som gunstig å implementere fleksibilitet i kraftmarkedet. Det er særlig næringsbygg som kan bidra med fleksibilitet, men boliger har også et fleksibilitetspotensiale aggregert.



