



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



MODELLERING AV ENERGISYSTEMET PÅ MÆRE

Mulige investeringer som kan øke selvforsyningsgraden av energi

ZEN REPORT No. 58 – 2024



Mette Bugge, August Brækken, Hanne Kauko | SINTEF Energi AS



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES

ZEN Report No. 58

Mette Bugge, August Brækken, Hanne Kauko, SINTEF Energi AS

MODELLERING AV ENERGISYSTEMET PÅ MÆRE

Mulige investeringer som kan øke selvforsyningsgraden av energi

Nøkkelord: Energisystem, teknisk-økonomisk analyse

ISBN 978-82-536-1836-4

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

SINTEF | www.sintef.no

<https://fmezen.no>

Forord

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

Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (ZEN-senteret) bidrar til lavutslippsamfunnet ved å utvikle løsninger for fremtidige bygninger og områder med null utslipp av klimagasser.

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

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

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

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



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (page)

Sammendrag

Mære landbruksskole ligger i Steinkjer kommune i Trøndelag og er eid av Trøndelag fylkeskommune. Det er en videregående skole som tilbyr utdanning innen naturbruk, og samtidig driftes et skolegårdsbruk. Mære landbruksskole har et mål om å bli en nullutslippsgård, og viktige elementer er reduksjon i energibruk og egenproduksjon av fornybar energi. I denne studien har vi sett på energisystemet på Mære og vurdert potensielle investeringer som kan gjøre landbruksskolen mer selvforsynt med strøm.

Det er mulig og lønnsomt å øke selvforsyningsgraden på Mære gjennom energieffektivisering og utvidet egenproduksjon av strøm.

Kategoriene av tiltak som er vurdert, er ENØK-tiltak, solstrømproduksjon og batteri, samt biogassanlegg. Studien viser at man kan øke selvforsyningsgraden for strøm og samtidig redusere årlige kostnader. Laveste totale årskostnader oppnås for scenariet der man kombinerer ENØK-tiltak, ny solstrømproduksjon (246 MWh/år økning) og biogassanlegg. Dette scenariet reduserer behovet for strøm fra nettet med 30 % og topplasten med 24 % sammenlignet med å ikke gjøre noen nye investeringer. En betydelig kostnadsreduksjon oppnås også for scenariet med kun ENØK-tiltak, hvor årlig energibehov og topplast reduseres med hhv. 15 og 16 %. Investering i kun biogassanlegg eller kun solstrømproduksjon vil redusere både årlig behov for strøm fra nettet og topplast uten at man får en økning i totale årlige kostnader.

Å redusere effekttoppene vil ha innflytelse på energikostnadene for Mære landbruksskole gjennom effektleddet for strøm. Redusert topplast gir også en samfunnsøkonomisk gevinst fordi det avlastet kraftnettet, både i forsyning inn til Mære og i omkringliggende kraftforsyning. Kraftnettet må dimensjoneres etter den høyeste etterspørselen som kan oppstå, og på landsbasis har maksimalt effektuttak økt betydelig de siste årene. Reduksjon av effekttoppene hos forbrukerne kan derfor bidra til økt kapasitet og fleksibilitet i nettet.

Denne studien vil gi Mære landbruksskole og Trøndelag fylkeskommune en pekepinn på hvilke investeringer som kan være lønnsomme, og hvordan disse vil bidra til å redusere behovet for importert strøm og således være steg på veien til å realisere nullutslippsgården. Mæremiljøet er allerede en god innovasjonsarena for FoU-miljøer og ulike leverandører inn mot landbrukssektoren, og erfaringer som høstes her vil kunne bidra til økt bærekraft innen en viktig sektor.

English summary

Mære agricultural school is located in Steinkjer municipality in Trøndelag and is owned by Trøndelag county authority. This high school offers education in nature management and operates a school farm. Mære agricultural school has a goal of becoming a zero-emission farm, and important elements to achieve this goal are a reduction in energy use and local production of renewable energy. In this work, we have studied the energy system at Mære and assessed potential investments that could make the agricultural school more self-sufficient in electricity.

It is possible and profitable to increase the degree of self-sufficiency at Mære through energy efficiency and local production of electricity.

The categories of measures that have been assessed are energy efficiency measures, solar power production and batteries, as well as a biogas plant. This study shows that it is possible to increase the degree of self-sufficiency in electricity and at the same time reduce annual costs. The lowest total annual costs are achieved for the scenario where energy efficiency measures, new solar power production (246 MWh/year increase) and biogas plant are combined. This scenario reduces the need for electricity from the grid by 30 % and the peak load by 24 % compared to making no new investments. A significant cost reduction is also achieved with energy efficiency measures alone, reducing annual energy demand and peak load with 15 and 16 %, respectively. Investment in biogas plant or solar power production alone will reduce both the annual need for electricity from the grid and the peak load without an increase in total annual costs.

Reducing the peak load will influence the energy costs for Mære agricultural school. Reduced peak load also provides a socio-economic gain because it reduces the pressure on the power grid. The power grid is designed to handle the highest demand for power that can occur, and on a national basis, maximum power output has increased significantly in recent years. Reducing consumers' peak power demands can therefore contribute to improved capacity and flexibility in the power grid.

The results from this study can give Mære agricultural school and Trøndelag county authority advice on which investments will be profitable, and how these will contribute to reducing the need for purchased electricity, and thus be a step on the way to realizing the zero-emission goals. Mære agricultural school is already an innovation arena for R&D groups and various suppliers within the agricultural sector. Experiences gained in this study will contribute to increased sustainability within an important sector.

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
English summary.....	5
1 Introduksjon.....	7
2 Metode.....	7
2.1 Tekno-økonomisk evaluering.....	7
2.2 Samarbeid med Trøndelag fylkeskommune.....	8
3 Beskrivelse av case.....	8
3.1 Systemgrenser.....	8
3.2 Planleggingsperiodene.....	9
3.3 Periodene innad i året.....	9
3.4 Energibehov.....	10
3.4.1 Dagens strømforbruk.....	10
3.4.2 Strømforbruk for nye bygninger.....	13
3.5 Energiforsyning og lokal strømproduksjon.....	13
3.5.1 Dagens strømproduksjon.....	13
3.6 Energikostnader.....	14
4 Investeringsalternativer.....	16
4.1 ENØK-tiltak.....	16
4.2 Fremtidig solstrømproduksjon og batterier.....	17
4.3 Biogass.....	19
5 Resultater fra investeringsanalysen.....	20
5.1 ENØK-tiltak.....	20
5.2 Solstrøm og batteri.....	21
5.3 Biogass.....	22
5.4 Komplette analyse som inkluderer alle investeringsalternativene.....	23
6 Energibalanser.....	26
7 Oppsummering.....	29
Referanser.....	31
Vedlegg.....	32

1 Introduksjon

Mære landbruksskole ligger i Steinkjer kommune i Trøndelag og er eid av Trøndelag fylkeskommune. Det er en videregående skole som tilbyr utdanning innen naturbruk, og samtidig driftes et skolegårdsbruk med melkekyr, kjøttfe, sau, gris, tomatproduksjon, korn, potet og grasproduksjon. I tillegg har skolen et omfattende kursprogram for gårdbrukere. Grønt kompetansesenter er en felles utviklingsenhet ved Mære landbruksskole og Skjetlein videregående skole. Senteret har blant annet ansvar for arbeidet med FoU ved skolene, herunder arbeidet i FME ZEN og Nullutslippsgården¹.

Mære landbruksskole er et av pilotområdene i ZEN, og her har bygninger og energibruk hovedfokus. Hvordan Mære landbruksskole kan oppnå sitt mål om å bli en nullutslippsgård, er beskrevet i ZEN memoet «Nullutslippsgården i ZEN» [Skaar et al, 2022], og viktige elementer er reduksjon i energibruk og egenproduksjon av fornybar energi. I denne studien ser vi på energisystemet på Mære og vurderer potensielle investeringer som kan gjøre landbruksskolen mer selvforsynt med strøm.

2 Metode

2.1 Tekno-økonomisk evaluering

Modellering og analyse av energisystemet på Mære landbruksskole er blitt gjort ved hjelp av verktøyet Integrate (tidligere eTransport) [Bakken et al, 2007]. Modellen utvikles og brukes innenfor FME ZEN og flere andre prosjekter². En kort beskrivelse av programvaren er gitt på Integrate webside² og gjengitt her.

Integrate er et programvaresystem for optimalisering av integrerte energisystemer. Det kan benyttes til å optimalisere utviklingen av energisystem, hensyntatt prognoser for energibehov og ulike teknologiske muligheter for energiforsyning, konvertering mellom energibærere, distribusjon, lagring, tiltak på sluttbrukersiden, og restriksjoner på CO₂-utslipp.

Løsningsmetodikken er en kombinasjon av lineær programmering (LP) og dynamisk programmering (DP/SDP). Sluttresultatet fra modellen er den mest kostnadseffektive utbyggingsplanen, samt driften av systemet time for time i ulike sesonger. Integrate kan brukes til å studere lokale energisystem, for eksempel et borettslag eller en bydel.

Nøkkelegenskapene til Integrate:

- Visuell representasjon av hele energisystemet gjennom et grafisk grensesnitt i Microsoft Visio
- Beregner optimal utbyggingsplan, f.eks. neste 50 år
- Driftsoptimalisering med timesoppløsning
- Hensyntar at ulike energibærere både konkurrerer og kan være komplementære

Integrate-modellen kan optimalisere mellom ulike investeringsalternativer, og når en eventuelt skal investere. I denne studien er det definert flere ulike investeringsalternativer, men eventuelle investeringer må gjennomføres i ett bestemt år.

Integratemodellen for denne studien er vist i vedlegg

¹ www.nullutslippsgarden.no

² <https://www.sintef.no/programvare/integrate>

2.2 Samarbeid med Trøndelag fylkeskommune

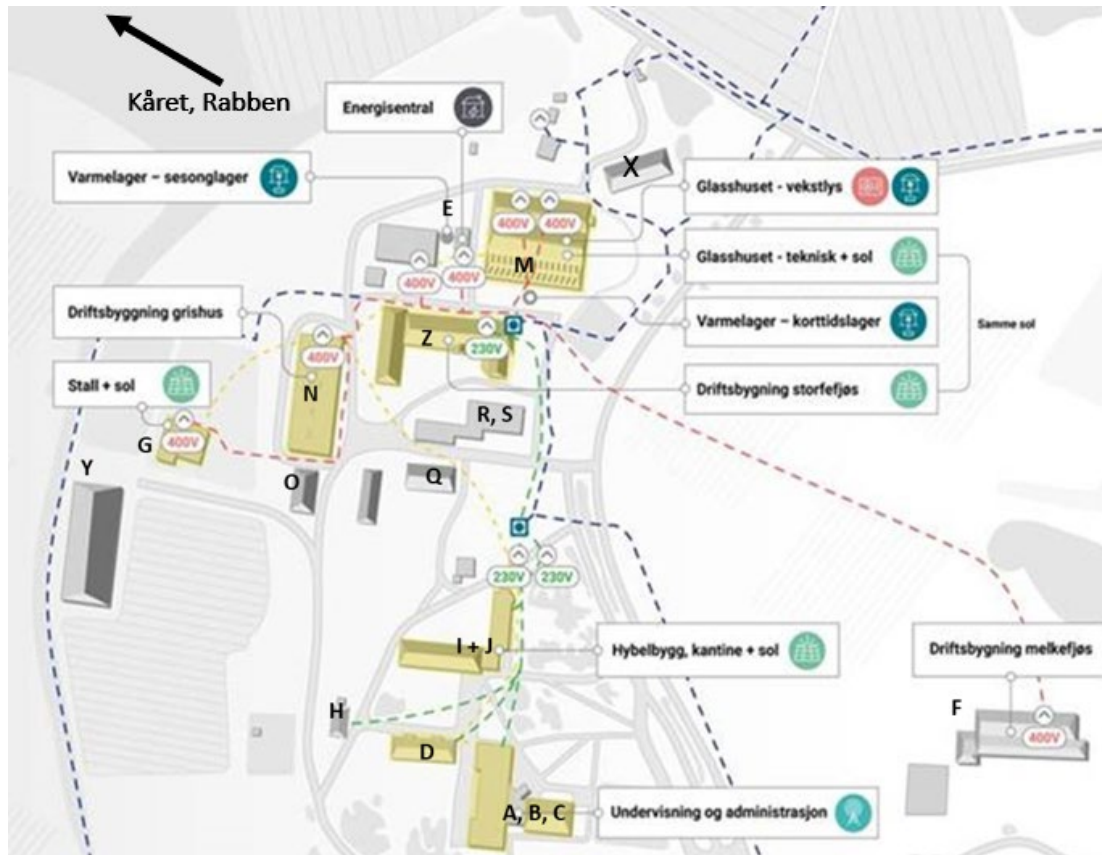
Problemstillingen er definert i et samarbeid mellom Trøndelag fylkeskommune og SINTEF Energi. Alle inngangsdata til modellen er basert på informasjon fra og personlig kommunikasjon med Trøndelag fylkeskommune, om ikke annet er beskrevet.

3 Beskrivelse av case

3.1 Systemgrenser

Mære landbruksskole består av mange bygninger med ulike funksjoner. En oversikt over bygningene og deres plassering er skissert i Figur 1. Energisystemet på Mære omfatter to strømnnett (230 V og 400 V) og et nærvarmenett. Nærvarmenettet har allerede høy selvforsyningsgrad gjennom bruk av lokal overskuddsvarme med varmepumper, med supplement fra elkjeler. Ettersom det i tillegg var begrenset med data tilgjengelig for varmenettet, ble det i denne analysen valgt å fokusere på strømnettene og tiltak for økt selvforsyningsgrad i forhold til strøm, og nærvarmenettet er ikke inkludert i modellen. De elektriske lastene til nærvarmenettet (varmepumper, elkjeler og pumper i varmesentralen) er likevel inkludert i analysen, og noen av de analyserte tiltakene er rettet mot reduksjon i varmebehov, eller redusert bruk av strøm til oppvarming.

Det er per i dag lokal strømproduksjon med solcellepaneler i tre forskjellige anlegg: skolen/hybelhuset, ammekufjøset og stallen. Strømmen som blir produsert her, brukes direkte i henholdsvis skolebygningen, teknisk anlegg i veksthuset og i stallen. Eventuelt overskudd blir solgt.



Figur 1 Oversikt over bygningene på Mære landbruksskole (Skisse fra NTE)

Tabell 1 Bygningene på Mære landbruksskole

Bygg	Beskrivelse	Bygg	Beskrivelse
A, B, C	Skole, undervisning og adm.	O	Sauefjøs
D, H	Kontor og museum	Q	Garasje
E	Energisentral	R, S	Verksted, smie
F	Melkefjøs	X	Potetlager
G	Stall	Y	Ridehall
I, J	Hybelhus, kantine	Z	Ammekufjøs
M	Veksthus		Kåret og rabben
N	Grisefjøs		

3.2 Planleggingsperiodene

Analysen ble gjennomført for en periode på 18 år, fra 01.01.23 til 31.12.40. Mære landbruksskole har et mål om å bli nullutslippsgård innen 2030. For å kunne realisere dette, antar man at nødvendige investeringer gjøres innen 2028. På bakgrunn av dette ble perioden delt i to investeringsperioder:

- Periode 1: 2023 - 2027
- Periode 2: 2028 - 2040

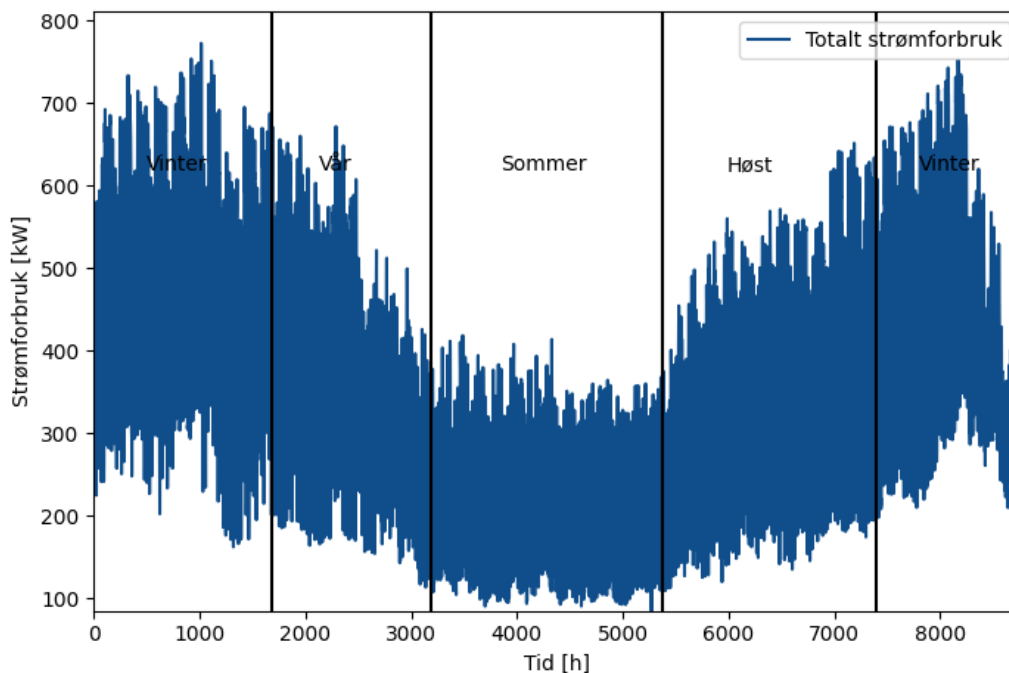
Det ble videre forutsatt at eventuelle investeringer måtte bli gjennomført i starten av periode 2 (2028).

3.3 Periodene innad i året

Året ble igjen delt opp i fem ulike sesonger/perioder, og inndelingen ble valgt hovedsakelig basert på det totale strømforbruket på Mære landbruksskole (2021), vist i Figur 2. Tabell 2 viser de valgte sesongene og deres varighet.

Tidligere har driftsoptimaliseringen i Integrate typisk blitt gjort over 24 timer, mens det i denne studien ble valgt å optimalisere over representative uker (168 timer). Forskjeller i energibehov mellom ukedager og helg blir da mer tydelig, noe som vil kunne påvirke utfallet av investerings-optimaliseringen, for eksempel med tanke på bruk av batterier.

Topplastuken for vinteren ble satt til den uken med det høyeste totale strømforbruket (timesverdi). Her vil ukesprofilen være de aktuelle 168 timesverdiene for denne uken. For de resterende sesongene ble ukesprofilen beregnet som time-for-time gjennomsnitt av alle ukene i den respektive sesongen. Dette betyr at for eksempel for vårprofilen beregnes verdien for en spesifikk time (av 168) som middelverdien for denne spesifikke timen i de respektive 9 vårukene. De tilgjengelige forbruks- og produksjonsdataene var hovedsakelig fra 2021, som begynte på en fredag, og de representative ukene begynner derfor også med fredag. Figur 5 viser ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «vekstlys og varmpumpe».



Figur 2 Totalt strømforbruk (2021), samt inndeling av året i sesonger.

Tabell 2 Representative sesonger for modellen i Integrate.

	Startdato	Sluttdato	Unntatt	Varighet (antall uker)
Vinter	05.11.	11.03.	12.02.-18.02.	17
Vår	12.03.	13.05.		9
Sommer	14.05.	12.08.		13
Høst	13.08.	04.11.		12
Peak vinter	12.02.	18.02.		1
Totalt				52

3.4 Energibehov

3.4.1 Dagens strømforbruk

På Mære er det to el-nett (230 V og 400 V) med henholdsvis fem og syv forbrukspunkter (Tabell 3). Dagens strømforbruk er i modellen i hovedsak basert på data for 2021 der timesverdier er tilgjengelige for hvert av disse punktene. Noen unntak er beskrevet nedenfor.

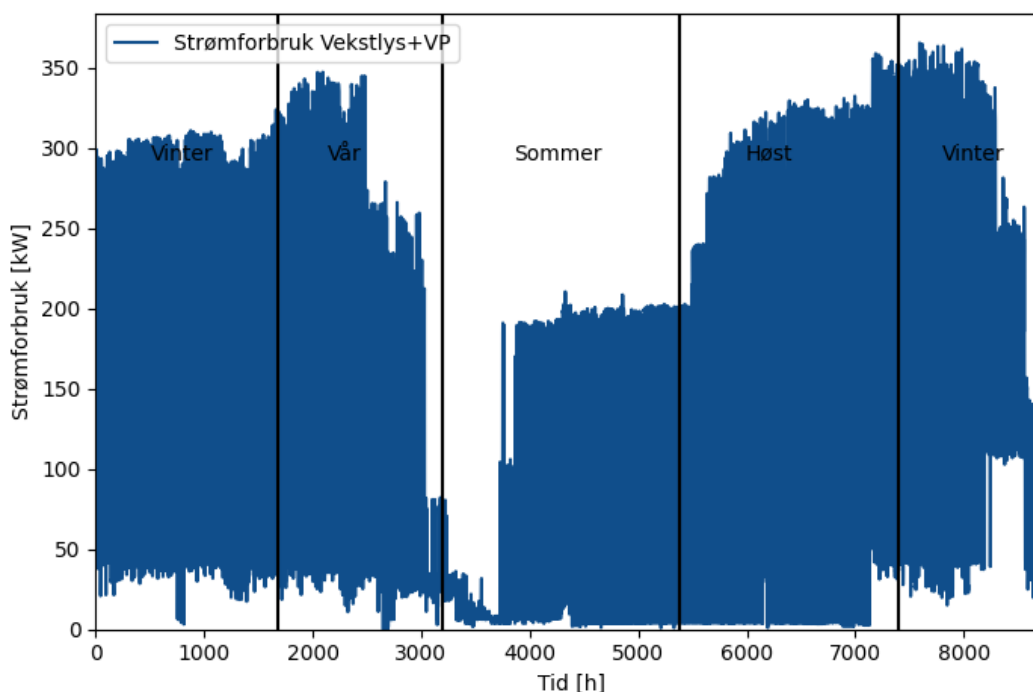
Redskapsboden ble bygget i starten av 2021, og forbruksdataene for første del av 2021 var derfor ikke representative for et normalt år. Data fra 2021 og 2022 har derfor blitt kombinert for å gi et mer realistisk forbruk.

Det var ikke 2021-data tilgjengelig for forbrukspunktet Kjel ABC, og 2020-data ble derfor brukt. For at datasettet for Kjel ABC skulle begynne med en fredag, ble de to første dagene fjernet.

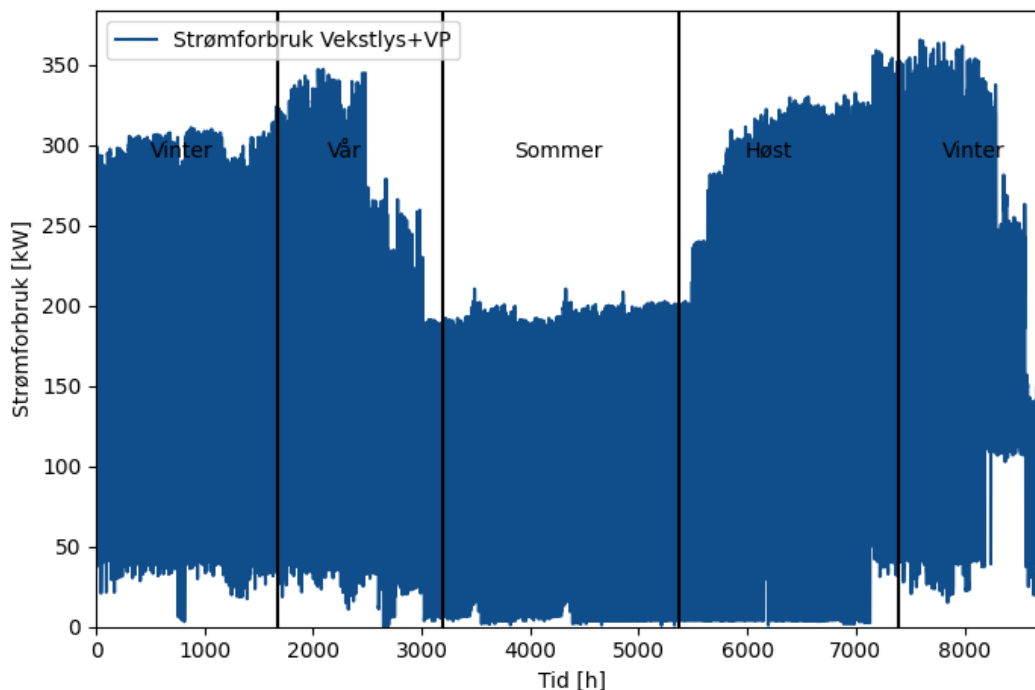
Tabell 3 Målt strømforbruk i 2021 for de ulike forbrukspunktene i strømmettet på Mære

Dagens 230 V-målere	Strømforbruk [kWh/år]	Dagens 400 V-målere	Strømforbruk [kWh/år]
Ammekufjøs	80 998	Energisentral	397 522
Kjel ABC	1 864	Grisekjøl	74 570
Kåret og Rabben sør	30 998	Melkekjøl	203 667
Potetlager	2 452	Redskapsbod	41 607
Skole - netto	731 204	Stall (netto)	39 970
		Veksthus, teknisk anlegg (netto)	164 347
		Vekstlys og varmepumpe	1 363 624
Totalt 230 V	847 515	Totalt 400 V	2 285 306

I 2021 var strømforbruket for vekstlys og varmepumpe veldig lavt i fem uker i starten av sommeren pga. produksjonsstans, se Figur 3. Produksjonsstans skjer ikke i samme periode hvert år, og det ble derfor valgt å implementere normal sommerdrift i denne perioden ved å anta samme forbruk som i de fem neste sommerukene, se Figur 4. På denne måten legges normal sommerdrift til grunn for dimensjonering av lokal strømproduksjon og energilagring.



Figur 3 Opprinnelig strømforbruk for vekstlys og varmepumpe i 2021 med produksjonsstans i fem sommeruker (Totalt 1364 MWh/år).



Figur 4 Strømforbruk for vekstlys og varmepumpe, med antatt normal drift hele sommeren (Totalt 1406 MWh/år).

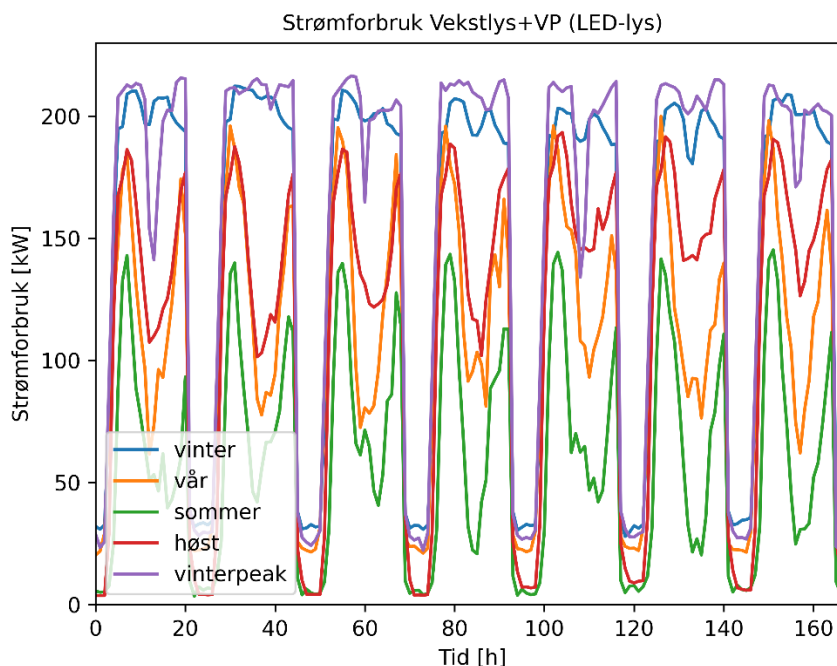
I 2023 er det blitt installert LED-lys i veksthuset, noe som antas å gi en reduksjon i strømbehovet på 440 MWh/år. Forventet fordeling av energibesparelsen på de ulike sesongene er vist i Tabell 4. Merk at vinteren er 4 mnd. og våren er 2 mnd., mens sommer og høst er 3 mnd. hver. I modellen antas dette ENØK-tiltaket implementert ved starten av periode 1. Andre planlagte energisparingstiltak er beskrevet i Tabell 7.

Tabell 4 Estimert energibesparelse ved installasjon av LED-lys.

Lastepunkt	Tiltak	Energibesparelse [MWh]	Fordeling energibesparelse [%]			
			Vinter	Vår	Sommer	Høst
Vekstlys og VP	LED-lys	440	45	15	10	30

Strømforbruksdataene for skole, veksthus teknisk anlegg og stall var nettoverdier: de inkluderte ikke direkte bruk av produsert solstrøm fra henholdsvis skolebygningen, ammekufjøset og stallen. Bruttoverdier ble beregnet ved å legge til solstrømproduksjonen og trekke fra solgt strøm.

For hvert av forbrukspunktene ble det beregnet gjennomsnittlige ukesprofiler for strømforbruket i hver sesong, slik som beskrevet i seksjon 3.3. Disse er beregnet som time-for-time gjennomsnitt av alle ukene i den respektive sesongen. Figur 5 viser ukesprofilene for forbrukspunktet «veksthus og varmepumpe». Ukesprofiler for de andre forbrukspunktene er vist i vedlegg.



Figur 5 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «vekstlys og varmepumpe»

3.4.2 Strømforbruk for nye bygninger

I løpet av de neste årene er det planlagt to nye bygninger på Mære landbruksskole, auditorium og sauefjøs, som forventes å ha et totalt årlig strømbehov på hhv. 35 MWh og 10 MWh. Auditoriet forventes å ha et lignende forbruksmønster som «Skole brutto». Årsprofilen for strømforbruket ble derfor beregnet ved å multiplisere forbruket til «Skole brutto» med en faktor som ga et totalt behov på 35 MWh. Sauefjøset forventes å ha et forbruksmønster som ligner på ammekufjøset, bortsett fra kortvarig høyt forbruk knyttet til høytøking om sommeren. Etter å ha fjernet denne sommertoppen, ble årsprofilen for det nye sauefjøset beregnet ved å multiplisere forbruket i ammekufjøset med en faktor som ga et totalt behov på 10 MWh. Auditoriet er i modellen koplet til 230V-nettet, mens sauefjøset er koplet til 400V-nettet. I modellen antas de to nye bygningene å være implementert i periode 2.

3.5 Energiforsyning og lokal strømproduksjon

3.5.1 Dagens strømproduksjon

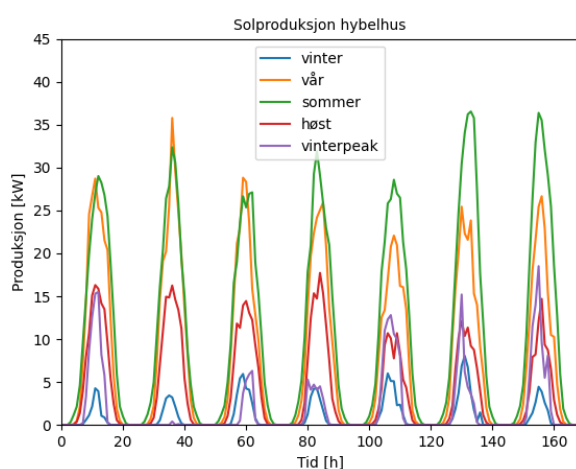
Mære landbruksskole har lokal strømproduksjon med solcellepaneler i tre forskjellige anlegg: skolen/hybelhuset, ammekufjøset og stallen. Strømmen som blir produsert her, brukes direkte i henholdsvis skolebygningen, teknisk anlegg i veksthuset og i stallen. Eventuelt overskudd blir solgt til strømmettet.

Det var ikke tilgjengelige timesverdier for solstrømproduksjon på stallen, men den totale årsproduksjonen for 2021 var kjent. Årsprofilen ble estimert ved å multiplisere profilen for solgt strøm fra stallen med en faktor som ga riktig totalproduksjon. Total solstrømproduksjon i 2021 for de tre anleggene på Mære er gitt i Tabell 5.

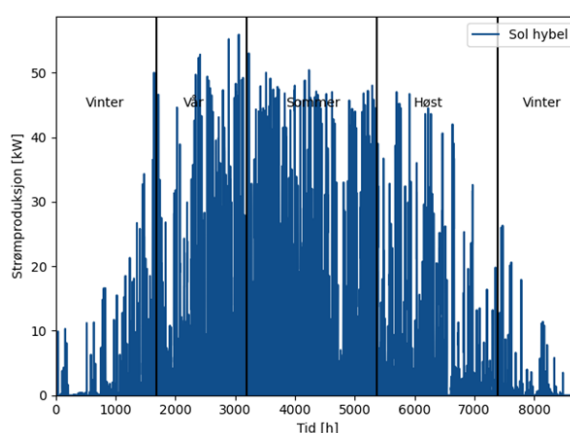
Tabell 5 Solstrømproduksjon i 2021

	Produksjon [MWh/år]
Skole/hybelhus (230 V)	47,622
Ammekufjøs (400 V)	23,495
Stall (400 V)	28,018
Totalt	99,135

For hvert av de tre produksjonsanleggene ble det beregnet gjennomsnittlige ukesprofiler for strømproduksjonen i hver sesong. Ukesprofilene for solstrømproduksjon på skole/hybelhus er vist i Figur 6, mens årsprofilen er vist i Figur 7. Profilene for stallen og ammekufjøset er vist i vedlegg.



Figur 6 Ukesprofiler for solstrømproduksjon på skole/hybelhus



Figur 7 Årsprofil for solstrømproduksjon på skole/hybelhus

3.6 Energikostnader

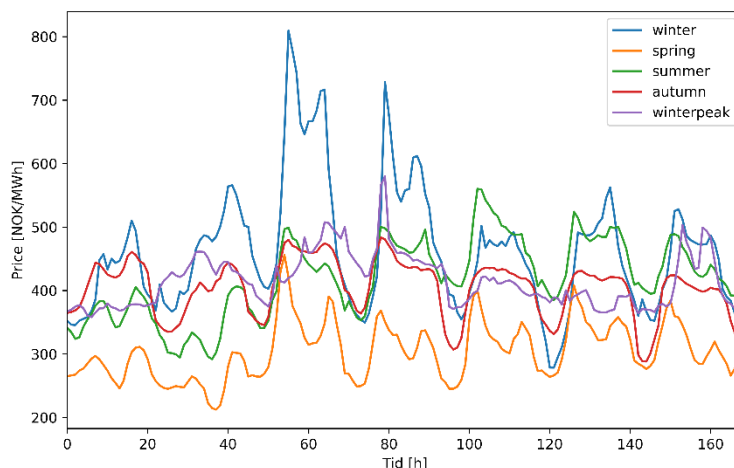
Strømprisen i Integrate består av følgende elementer:

- Spotpris på strøm i NOK/MWh
- Energiledd i NOK/MWh
- Effektledd i NOK /MWh/h

I tillegg settes det en begrensning for maksimalt uttak og en straff (overusage tariff) for eventuell overskridelse av denne begrensningen.

For spotprisen ble det benyttet Nord Pools timesdata for spotpris for 2021 (ENTSO-E, 2021) til å generere en referanseprofil for startåret som ble brukt for første periode (2023-2027). Denne profilen ble skalert for periode 2 basert på data fra NVEs langsiktige kraftmarkedsanalyse [Birkeland et al 2021] der det er etablert ulike scenarier. I basis-scenariet øker spotprisen med 3 % fra 2021 til 2040, mens den i høyt scenario øker med 30 %.

Basert på dette har vi beregnet gjennomsnittlig pris time for time over en uke for hver av sesongene for hver av periodene, ukesprofiler for første periode er vist i Figur 8. I analysen er vinterpris brukt også for vinterpeak-uka. I alle sesongene kan man se at det er en pristopp på morgenen og på ettermiddagen.



Figur 8 Time for time profil for spotprisen for de ulike sesongene i første periode

Mære landbruksskole betaler nettleie etter NTE sin tariff NL60T/NL60R for bedriftskunder med årlig forbruk over 100 000 kWh. Denne tariffen gjelder for begge de to strømmettene og har et fastledd på 4 875 kr/år og et energiledd på 6.2 øre/kWh. I tillegg kommer effektleddet som har ulike nivå etter maksimal uttatt effekt og som varierer mellom sommer (mai-okt) og vinter (nov-april). Effektleddet avregnes etterskuddsvis per måned etter uttatt energimengde og høyeste registrerte effekt i en 60 min. periode i måneden.

Tabell 6 Fast-, effekt- og energiledd i tariffen NL60T/NL60R (Tensio, 2023)

Fastledd kr/år	Effektledd			Energiledd øre/kWh
	Max behov kW	Tariff vinter kr/kW/mnd	Tariff sommer kr/kW/mnd	
4 875	0 - 99	107	22	6,2
4 875	100 - 399	89	21	6,2
4 875	over 400	80	17	6,2

For dagens strømforbruk som beskrevet i kap. 3.4, var maksimalbehovet for 400V-nettet mellom 100 og 399 kW for alle sesongene, bortsett fra for vinterpeak-uka som var høyere enn 400 kW. For 230V-nettet var maksimalbehovet for sommeren lavere enn 100kW og for de andre sesongene mellom 100 og 399 kW. Dette ble lagt til grunn for beregning av effektledd i modellen.

Gjeldende plusskunder tariff for salg av strøm gir samme spotpris som for forbruk. For nettleie ved salg av strøm blir det beregnet et negativt energiledd ved hjelp av en marginaltapssats som er 6 % for vinter og 4 % for sommer. I modellen er dette hensyntatt ved at spotprisen for salg er satt til spotprisen for kjøp multiplisert med hhv. 1.06 og 1.04 for vinter og sommer. Maksimal eksport er satt til 100 kW for hvert av de to nettene fordi det er en begrensning på 100 kW innmatet effekt til strømmettet for plusskunder. Om solstrømproduksjonen medfører innmating av mer enn 100 kW per kunde, kan kunden ikke være plusskunde, og kostnadene for eksport øker.

4 Investeringsalternativer

Dette kapitlet beskriver de fem investeringsalternativene som ble evaluert i denne studien:

1. ENØK-tiltak på 230 V-nettet
2. ENØK-tiltak på 400 V-nettet
3. Solstrømproduksjon og/eller Batteri på «fornuftig nivå»
4. Solstrømproduksjon og Batteri på «ekstremt nivå»
5. Biogassanlegg

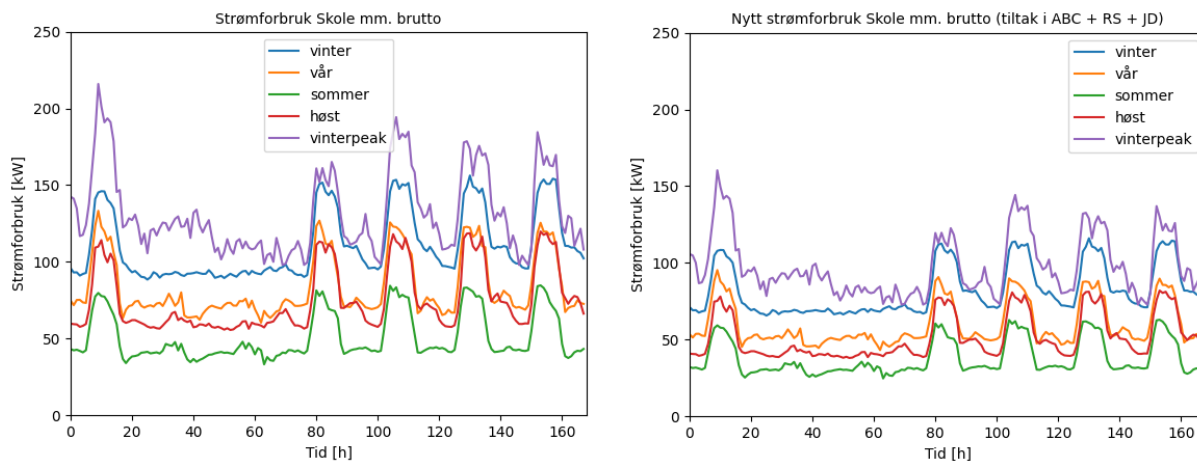
4.1 ENØK-tiltak

Tabell 7 viser energisparingstiltakene som skal evalueres til ulike forbrukspunkt i denne analysen, sammen med antatt energibesparelse og investeringskostnad. Energibesparelsen er presentert som el-konsekvens for alle tiltakene, altså hvor mye tiltaket vil bidra til å redusere strømforbruket. Tabellen viser også den antatte fordelingen av energibesparelsen mellom sesongene, oppgitt i prosent av total besparelse. Merk at vinteren er 4 mnd. og våren er 2 mnd., mens sommer og høst er 3 mnd. hver.

For hvert av forbrukspunktene ble det laget nye reduserte ukesprofiler for strømforbruket. Profilen for strømforbruk ble skalert ned for hver sesong for å oppnå ønsket besparelse for sesongen, oppgitt i Tabell 7. Vinterpeak-uka ble i dette steget inkludert i resten av vinteren. For lastepunkter med flere energisparingstiltak, ble energibesparelsen for alle tiltakene inkludert samtidig. Til slutt ble ukesprofiler laget for hver sesong på samme måte som tidligere. Figur 9 viser ukesprofiler for lastepunktet «skole mm.» med dagens strømbehov og nytt strømbehov dersom ENØK-tiltakene implementeres.

Tabell 7: Potensielle energisparingstiltak.

Forbruks- punkt	Tiltak	Energi- besparelse [MWh/år]	Investerings- kostnad [kNOK]	Fordeling energibesparelse [%]			
				Vinter	Vår	Sommer	Høst
Veksthus	Isolere/styre anleggshall	50	500	75	10	0	15
Energisentral	Bytte elkjeler med biovarme/VP	70	0	75	10	0	15
Energisentral	Balansert ventilasjon i grise fjøset	40	400	50	17	10	23
Melkefjøs	VP i stedet for elkolbe	40	100	40	17	20	23
Redskapsbod	Styring av varme på vaskeplass	16	50	54	31	0	15
Totalt 400 V-nett		216	1 050				
Skole mm.	Enøk i bygg A, B, C	50	100	45	22	0	33
Skole mm.	Allerede utførte tiltak i bygg R og S	50	0	64	16	7	13
Skole mm.	Generelle enøktiltak styring i bygg J, D, mm.	100	100	33	17	25	25
Totalt 230 V-nett		200	200				

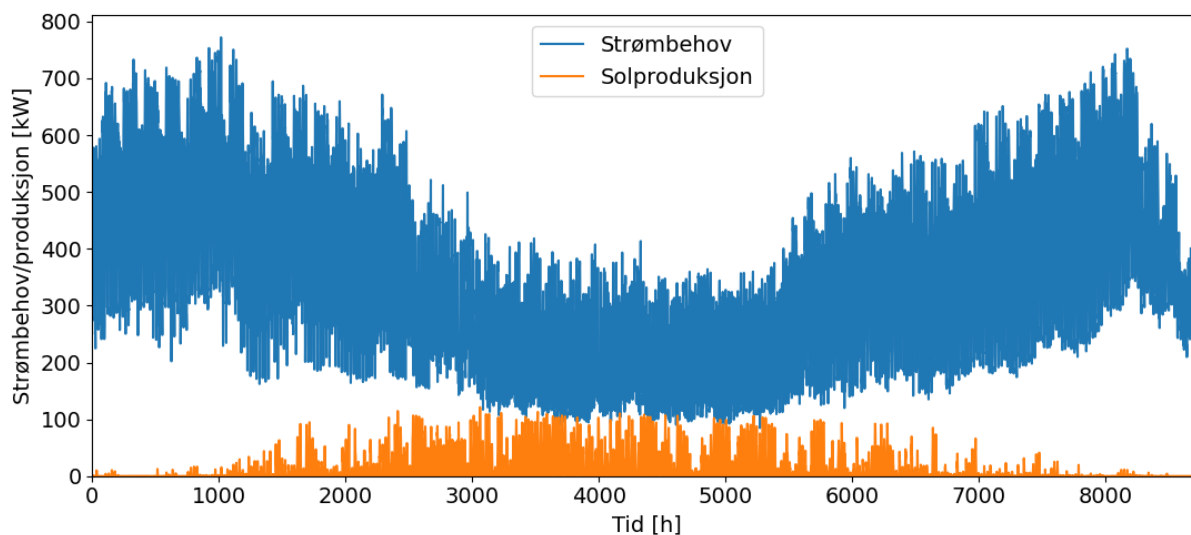


Figur 9 Ukesprofiler for strømbehov for skole mm.
Venstre: Dagens behov. Høyre: Nytt strømbehov med ENØK-tiltak (230V) implementert.

I modellen defineres ENØK-tiltakene som to separate investeringer, én knyttet til hvert strømnett: ENØK 230 V og ENØK 400 V.

4.2 Fremtidig solstrømproduksjon og batterier

I 2021 var total solstrømproduksjon på 99 MWh, og selvforsyningsgraden var 3 %. Som vist i Figur 10 er det mye rom for økt produksjon av solstrøm for å øke selvforsyningsgraden uten at eksport av strøm på sommeren øker.



Figur 10 Strømbehov og solstrømproduksjon i 2021

I denne analysen antas et nytt solcelleanlegg for hvert av de to nettene, og det er definert ulike nivåer av ny solstrømproduksjon. Trøndelag fylkeskommune ønsket at ny total solstrømproduksjon skulle dekke en betydelig andel av energibehovet om sommeren (etter energioppgradering) samtidig som eksporten ikke skulle overstige 100 kW i mer enn 20 timer per år for å hensynta eksportgrensen til dagens plusskundeordning (se seksjon 3.6). Med dette som utgangspunkt, ble det definert følgende scenarier for kombinasjon av ny solstrømproduksjon (i tillegg til eksisterende) og batteri (fornuftig nivå):

- 230 V: Sol: 95 eller 114 MWh/år; Batteri: 100, 200 eller 400 kWh
- 400 V: Sol: 114 eller 132 MWh/år; Batteri: 100, 300 eller 400 kWh

I tillegg ble det definert et ekstrem-case:

- 230 V: Sol: 208 MWh/år; Batteri: 500 kWh
- 400 V: Sol: 208 MWh/år; Batteri: 500 kWh

For de nye solstrømproduksjonsanleggene ble det ikke tatt hensyn til hvilke arealer som er tilgjengelige for eventuelle nye anlegg. Det ble antatt at et gjennomsnitt av årsprofilene for strømproduksjon på stallen og hybelhuset vil være representativt for fremtidig produksjon. Denne produksjonsprofilen ble skalert for å gi de definerte nivåene for årsproduksjon før ukesprofilene ble generert.

Investeringskostnaden for ny solstrømproduksjon er basert på tilgjengelige tall fra “Danish energy agency” for “Rooftop PV Commercial & Industrial” [2021]. Der oppgis en kostnad på 0,57 MEUR/MW_{peak} i 2030, og det er en reduksjon i kostnadene med tiden. Trøndelag fylkeskommune har tidligere estimert kW_{peak} for et mulig nytt anlegg montert på stallen. Denne var 35.7 kW_p for en prosjektert produksjon på 31 600 kWh/år, og samme forhold ble brukt for å estimere kW_{peak} for alternativene for ny solstrømproduksjon i denne studien.

Som batteriteknologi antas det brukte litium-bilbatterier, med lading/utladning fra 20/90 % og en oppladningstid på 4 timer. For de brukte litium-bilbatteriene er det antatt en investeringskostnad som er i tråd med kostnadene for anlegget på Tiller videregående skole, på 6,44 kNOK/kWh lagringskapasitet. Det kan være mulig å få offentlig støtte til slike anlegg per i dag, men dette er ikke tatt inn i analysen.

De ulike investeringsalternativene inkludert investeringskostnad er oppsummert i Tabell 8.

Tabell 8 De ulike investeringsalternativene for ny solstrømproduksjon og batterier

			230V	400V	Investeringskostnad [kNOK]
Fornuftig	Sol liten	MWh/år	95	114	1 340
	Sol medium	MWh/år	114	132	1 583
	Batteri liten	kWh	100	100	1 289
	Batteri medium	kWh	200	300	3 222
	Batteri stor	kWh	400	400	5 156
Ekstrem	Sol ekstrem	MWh/år	208	208	2 679
	Batteri ekstrem	kWh	500	500	6 444

4.3 Biogass

Trøndelag fylkeskommune har vurdert ulike løsninger for biogassanlegg. I denne studien er det forutsatt et biogassanlegg som leverer varme til varmenettet, noe som vil medføre at behovet for elektrisitet til oppvarming reduseres. Det antas at anlegget vil gå på halv last i sommerperioden og full last resten av året. Det antas videre at dette vil redusere strømbehovet med følgende nivå.

Total reduksjon av strømbehov:	202 MWh/år
Sommerperioden: Halv last	15,8 kWel
Resten av året: Full last	31,6 kWel

Det er antatt en investeringskostnad på 5 MNOK for anlegget. Med biogassanlegget kan Mære landbruksskole håndtere egen husdyrgjødsel, noe som gir inntekt. For de aktuelle gjødselmengdene er det estimert en årlig inntekt på 250 kNOK/år.

5 Resultater fra investeringsanalysen

I dette kapittelet presenteres først resultater for de ulike tiltakene som er definert: ENØK-tiltak, solstrøm og/eller batteri samt biogass. Deretter presenteres den mest lønnsomme kombinasjonen av investeringsalternativene. Det er gjort analyser for to scenarier for strømprisutvikling som beskrevet i kap 3.6, disse omtales i dette arbeidet som lav og høy strømprisutvikling.

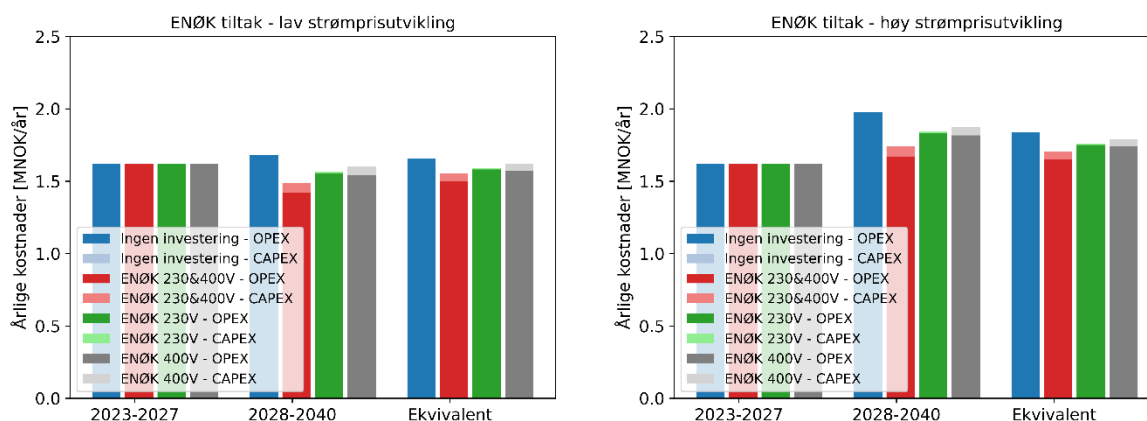
Resultater som presenteres for de ulike scenariene er årlige driftskostnader (OPEX) for hver av periodene 2023-27 og 2028-40, og investeringskostnadene (CAPEX) som påløper fra år 2028. I tillegg er annuitetsverdiene vist. Annuiteten er en neddiskontert årlig verdi som er beregnet slik at dersom denne påløper hvert år i planleggingsperioden, vil det gi en nåverdi som gjelder for caset. Jo lavere annuitet, desto lavere er nåverdien av alle kostnadene i planleggingsperioden. Annuitetsverdien for CAPEX hensyntar restverdi av investeringene ved slutten av planleggingsperioden. I figurer og den videre teksten er annuiteten omtalt som ekvivalent årlig kostnad.

De to nye bygningene (sauetjøs og auditorium) medfører at det totale strømbehovet på Mære landbruksskole vil øke. Dette ligger inne som en forutsetning i alle analysene, og medfører økning i driftskostnadene fra periode én til periode to.

Det antas en nedbetalingstid på 30 år for alle investeringer, bortsett fra for batteri der det antas 15 år. Det ble brukt en diskonteringsrente på 5 % i analysen. Eventuelle investeringer gjennomføres i år 2028.

5.1 ENØK-tiltak

Figur 11 viser årlige kostnader ved investering i ENØK-tiltak ved lav og høy strømprisutvikling. Ifølge analysene er ENØK-tiltakene (definert i Tabell 7) lønnsomme investeringer både ved lav og høy strømprisutvikling. Driftskostnadene reduseres betydelig fordi strømbehovet reduseres, samtidig som investeringskostnaden er relativt liten, spesielt for tiltakene på 230 V-nettet. Investering i ENØK-tiltakene på begge strømmnettene gir en estimert besparelse i ekvivalente årlige kostnadene på hhv. 104 og 132 kNOK/år ved lav og høy strømprisutvikling. ENØK-tiltakene på 230 V og 400 V-nettene er lønnsomme investeringer enkeltvis, men det gir høyest kostnadsreduksjon å realisere begge. Dette gjelder for både lav og høy strømprisutvikling.

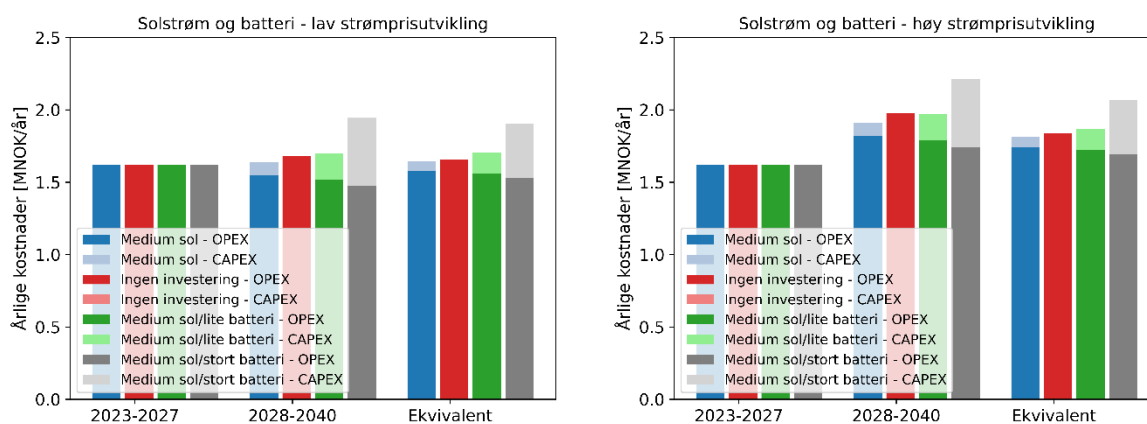


Figur 11 Årlige kostnader ved investering i ENØK-tiltak (OPEX: operating expenses, CAPEX: capital expenditures).

5.2 Solstrøm og batteri

I analysen tillates kombinasjon av de ulike investeringene for «fornuftig» solstrømproduksjon og «fornuftig» batteristørrelse (Tabell 8), men det kan bare investeres i én batteristørrelse og i ett solstrømproduksjonsnivå. I tillegg behandles «ekstrem solstrømproduksjon & ekstremt batteri» som en investeringspakke, og denne kan ikke kombineres med de andre sol/batteriløsningene.

Årlige kostnader for noen utvalgte alternativer er vist i Figur 12. I Tabell 9 og Tabell 10 er investeringsalternativene rangert etter ekvivalent årlig kostnad. Lav og høy strømprisutvikling gir ulike driftskostnader og dermed totalkostnader, men samme rangering. Med de gitte betingelsene, gir investering i medium solstrømproduksjon laveste ekvivalente kostnader, med liten solstrømproduksjon omtrent på samme nivå. For både lav og høy strømprisutvikling gir disse to alternativene ekvivalente årlige kostnader som er litt lavere enn om man ikke gjør investeringer, hvilket betyr at man kan øke lokal strømproduksjon uten å øke kostnadene.



Figur 12 Årlige kostnader ved investering i ulike batteri- og solstrømalternativer

Tabell 9 Årlige kostnader for ulike solstrøm/batteri alternativer. Lav strømprisutvikling. (Farge på tekst samsvarer med farge på stolper for aktuell case i Figur 12.)

Rank	Investeringsalternativ	Ekvivalente årlige kostnader [kNOK/år]		
		OPEX	CAPEX	Total
1	<i>Sol medium</i>	1577	70	1647
2	Sol liten	1589	59	1648
3	<i>Ingen investering</i>	1656	0	1656
4	<i>Sol medium, Batteri liten</i>	1557	145	1702
5	Sol liten, Batteri liten	1568	135	1703
6	Batteri liten	1636	76	1712
7	Sol medium, Batteri medium,	1540	259	1799
8	Sol liten, Batteri medium	1551	249	1800
9	Batteri medium	1619	190	1809
10	<i>Sol medium, Batteri stor</i>	1530	373	1903

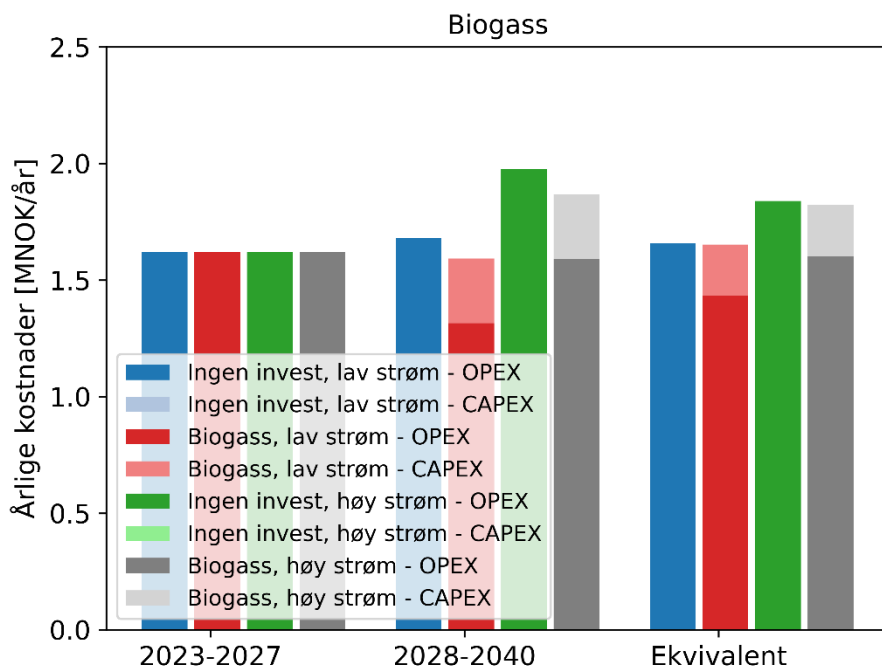
Tabell 10 Årlige kostnader for ulike solstrøm/batteri alternativer. Høy strømprisutvikling. (Farge på tekst samsvarer med farge på stolper for aktuell case.)

Rank	Investeringsalternativ	Ekvivalente årlige kostnader [kNOK/år]		
		OPEX	CAPEX	Total
<i>1</i>	<i>Sol medium</i>	<i>1743</i>	<i>70</i>	<i>1813</i>
2	Sol liten	1758	59	1817
<i>3</i>	<i>Ingen investering</i>	<i>1839</i>	<i>0</i>	<i>1839</i>
<i>4</i>	<i>Sol medium, Batteri liten</i>	<i>1722</i>	<i>145</i>	<i>1868</i>
5	Sol liten, Batteri liten	1737	135	1872
6	Batteri liten	1818	76	1894
7	Sol medium, Batteri medium,	1705	259	1964
8	Sol liten, Batteri medium	1719	249	1968
9	Batteri medium	1800	190	1990
<i>10</i>	<i>Sol medium, Batteri stor</i>	<i>1695</i>	<i>373</i>	<i>2068</i>

Den mest gunstige løsningen som inkluderer batteri, er lite batteri i kombinasjon med medium solstrøm (jmf rank 4). Utnyttelsen av batteri til lagring reduserer driftskostnadene noe, men økningen i kapitalkostnader er høyere, og årlige ekvivalente kostnader for denne løsningen er høyere enn uten investeringer. Analysen viser at ved å øke kapasiteten til stort batteri fortsetter den samme trenden, og kostnadene blir 230 og 247 kNOK/år høyere enn om man ikke gjør investeringer for hhv lav og høy strømprisutvikling (jmf rank 10). For ekstrem solstrømproduksjon og ekstremt batteri blir kostnadene enda høyere.

5.3 Biogass

Investering i biogassanlegg vil redusere driftskostnadene betydelig gjennom redusert el-behov og inntekten på 250 kNOK/år for å håndtere egen husdyrgjødsel (se seksjon 4.3). Som vist i Figur 13, er imidlertid kapitalkostnadene knyttet til investeringen i samme størrelsesorden som reduserte driftskostnader. Analysen predikerer ekvivalente årlige kostnader på omtrent samme nivå som uten investering, med en årlig reduksjon på hhv. 4 og 17 kNOK for lav og høy strømprisutvikling.

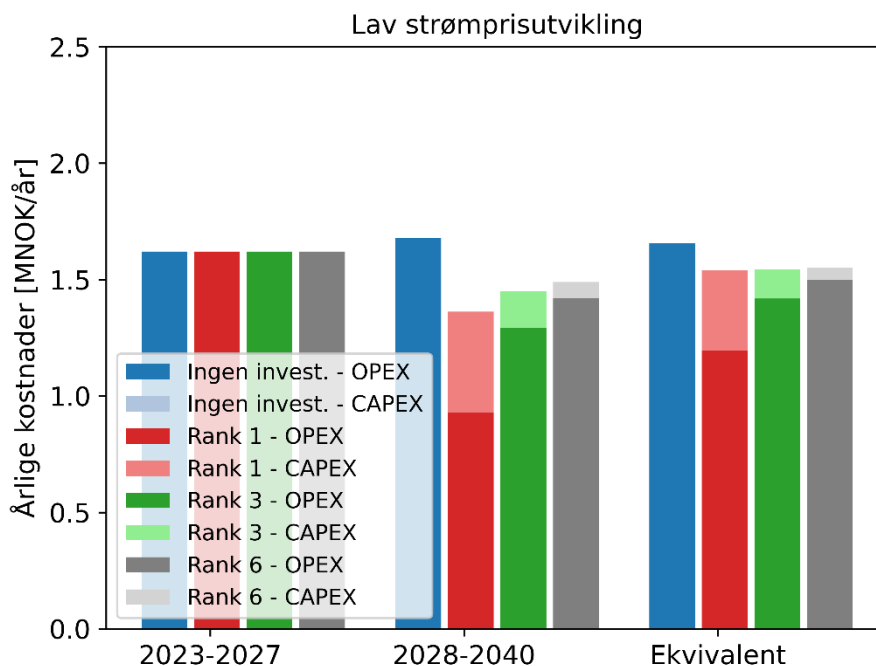


Figur 13 Årlige kostnader ved investering i biogassanlegg

5.4 Komplette analyse som inkluderer alle investeringsalternativene

Det er kjørt en analyse som inkluderer alle investeringsalternativene. I analysen tillates kombinasjon av de ulike investeringene, bortsett fra at det bare kan investeres i én batteristørrelse og ett solstrømproduksjonsnivå og at «ekstrem solstrømproduksjon & ekstremt batteri» behandles som en investeringspakke, på lik linje med analysen i seksjon 5.2. Eventuelle investeringer gjennomføres i år 2028.

Figur 14 viser kostnader for noen av de mest lønnsomme investeringsalternativene om man forutsetter lav strømprisutvikling. De mest lønnsomme alternativene rangert etter ekvivalent kostnad er listet i Tabell 11, og det er relativt liten forskjell på ekvivalente kostnader for de ti beste alternativene (~40 kNOK/år). Størst kostnadsbesparelse oppnås ved å investere i ENØK-tiltak på begge nettene, sammen med medium solstrømproduksjon og biogass (Rank 1). Kostnadene for dette alternativet er representert ved de røde søylene i Figur 14. Ifølge analysen reduseres ekvivalente kostnadene med 117 kNOK/år i forhold til ingen investering og med 13 kNOK/år i forhold til ENØK 230 & 400 V som er den mest lønnsomme enkeltinvesteringen. Om man erstatter medium med liten solstrømproduksjon, er ekvivalente kostnader omtrent like (Rank 2). Om man utelater Biogass (Rank 3), reduseres kapitalkostnadene, men høyere driftskostnader knyttet til energiforbruk gjør at ekvivalente kostnader litt høyere (4 kNOK/år). Blant de 10 mest lønnsomme alternativene er det ingen som inkluderer batteri.



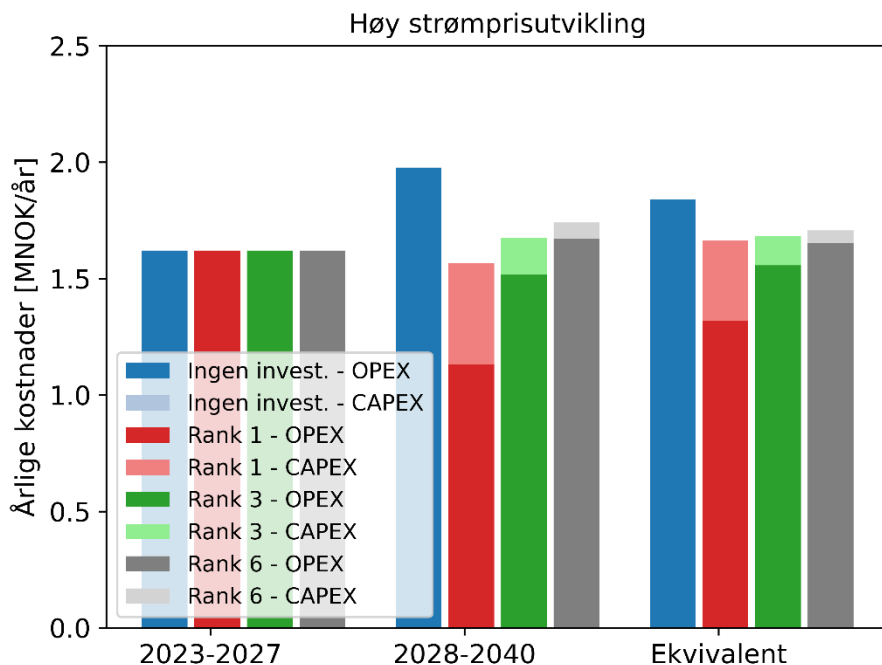
Figur 14 Årlige kostnader for noen av de mest lønnsomme alternativene forutsatt lav strømprisutvikling sammenlignet med ingen investering. De ulike «Rank» er beskrevet i Tabell 11.

Tabell 11 Investeringsalternativer rangert etter ekvivalent årlig kostnad, forutsatt lav strømprisutvikling. (Farge på tekst samsvarer med farge på stolper for aktuell case i Figur 14.)

Rank	Investeringsalternativ	Ekvivalente årlige kostnader [kNOK/år]		
		OPEX	CAPEX	Total
1	<i>ENØK 230 & 400V, Sol medium, Biogass</i>	<i>1194</i>	<i>345</i>	<i>1539</i>
2	ENØK 230 & 400V, Sol liten, Biogass	1205	335	1540
3	<i>ENØK 230 & 400V, Sol medium</i>	<i>1418</i>	<i>125</i>	<i>1543</i>
4	ENØK 230 & 400V, Sol liten	1430	114	1544
5	ENØK 230 & 400V, Biogass	1273	275	1548
6	<i>ENØK 230 & 400V</i>	<i>1497</i>	<i>55</i>	<i>1552</i>
7	ENØK 230, Sol medium, Biogass	1277	299	1576
8	ENØK 230, Sol liten, Biogass	1289	288	1577
9	ENØK 230, Sol medium	1502	78	1580
10	ENØK 230, Sol liten	1513	68	1581
	Ingen investering	1656	0	1656

Om man forutsetter høy strømprisutvikling, er det de samme 8 alternativene som gir størst kostnadsbesparelse (Tabell 12), men alternativene lite batteri i kombinasjon med ENØK-tiltak og hhv medium og liten solstrømproduksjon kommer mer gunstig ut enn for lav strømprisutvikling og er Rank 9 og 10. Resultatene er vist i Figur 15 og Tabell 12. Også her er det relativt liten forskjell på ekvivalente årlige kostnader for de ti beste alternativene (~60 kNOK/år), og alle disse ti har lavere kostnader enn om man ikke gjør noen investering.

Ekvivalente årlige kostnader for Rank 1 reduseres med nærmere 175 kNOK/år i forhold til ingen investering og med 42 kNOK i forhold til ENØK 230 & 400 V som er den mest lønnsomme enkeltinvesteringen.



Figur 15 Årlige kostnader for noen av de mest lønnsomme alternativene forutsatt høy strømprisutvikling sammenlignet med ingen investering. De ulike «Rank» er beskrevet i Tabell 12

Tabell 12 Investeringsalternativer rangert etter ekvivalent årlig kostnad, forutsatt høy strømprisutvikling. (Farge på tekst samsvarer med farge på stolper for i Figur 15.)

Rank	Investeringsalternativ	Ekvivalente årlige kostnader [kNOK/år]		
		OPEX	CAPEX	Total
1	ENØK 230 & 400V, Sol medium, Biogass	1319	345	1664
2	ENØK 230 & 400V, Sol liten, Biogass	1333	335	1668
3	ENØK 230 & 400V, Sol medium	1556	125	1681
4	ENØK 230 & 400V, Sol liten	1571	114	1685
5	ENØK 230 & 400V, Biogass	1414	275	1689
6	ENØK 230 & 400V	1651	55	1706
7	ENØK 230, Sol medium, Biogass	1417	299	1716
8	ENØK 230, Sol liten, Biogass	1432	288	1720
9	ENØK 230 & 400V, Sol medium, Batteri liten, Biogass	1300	421	1721
10	ENØK 230 & 400V, Sol liten, Batteri liten, Biogass	1314	410	1724
	Ingen investering	1839	0	1839

6 Energibalanser

Resultater for årlig strømproduksjon og -behov for ulike scenarier er vist i Tabell 13 og Tabell 14. I den første perioden dekkes strømbehovet hovedsakelig med strøm kjøpt fra nettet; total solstrømproduksjon er på 99 MWh. Det er ikke salg av strøm.

I løpet av de neste årene er det planlagt to nye bygninger på Mære landbruksskole, auditorium og sauefjøs. Strømbehovet i andre periode er derfor øket med 45 MWh/år før man gjennomfører noen av investeringsalternativene definert i denne analysen, og selvforsyningsgraden av strøm er 3,6 %. Om man investerer i det planlagte biogassanlegget, vil dette levere varme til varmenettet noe som vil medføre at behovet for elektrisk oppvarming reduseres med 202 MWh/år. ENØK-tiltak på 230 V- og 400 V-nettet vil redusere behovet for strøm med 415 MWh/år.

Et medium solstrømanlegg vil øke lokal strømproduksjon med 246 MWh/år og gi en selvforsyningsgrad på 12 %. Dette bidrar i hovedsak til redusert behov for strøm fra nettet, men en liten andel blir solgt. Kombinasjon med lite batteri reduserer behovet for kjøpt strøm svært lite, samtidig som solgt strøm går ned pga. tap i batteriet. Å øke batteristørrelsen forsterker denne effekten, og kommer også ugunstig ut. Det største solstrømanlegget (ekstrem) øker lokal strømproduksjon med 416 MWh/år. I kombinasjon med ekstremt batteri, bidrar dette til å redusere behovet for kjøpt strøm med 342 MWh, solgt strøm er på 51 MWh/år, mens størrelsen på tapet i batteriet er omtrent halvparten av dette.

Tabell 13 Årlig energibalanse (strøm) for dagens situasjon, periode 2 uten nye investeringer, samt investering i biogass og ENØK-tiltak [MWh/år]

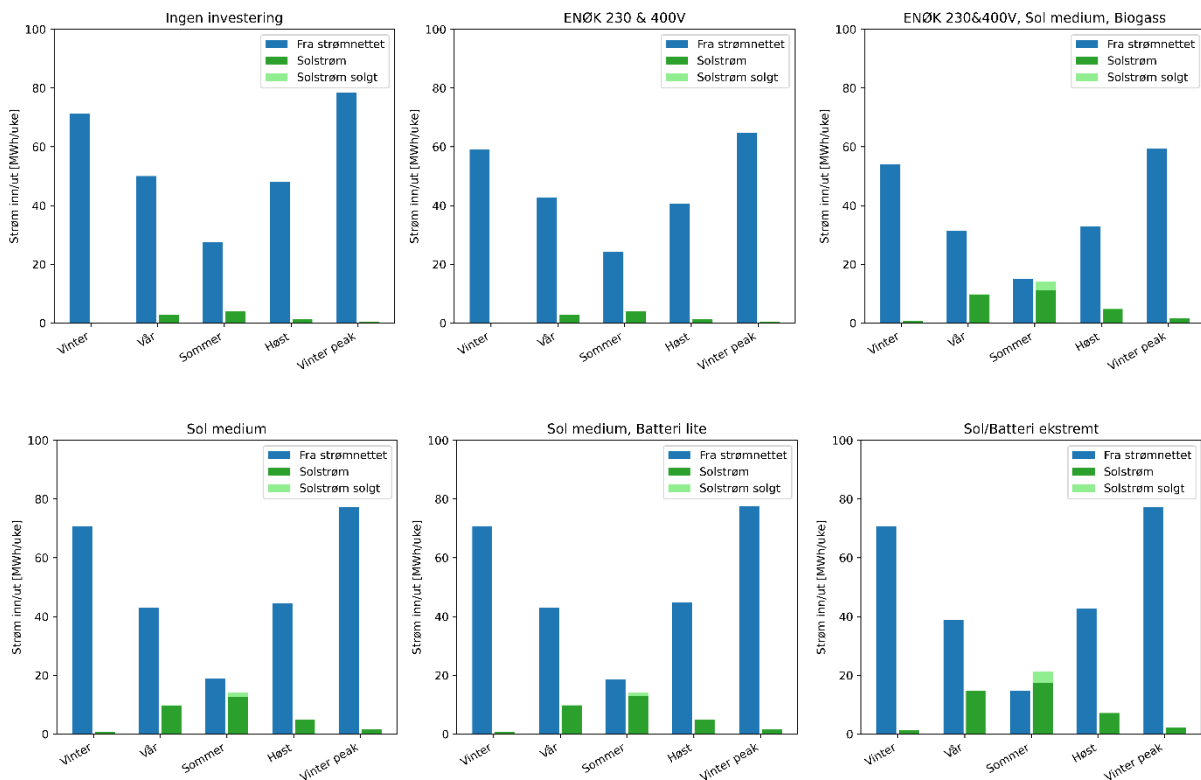
		2023-2027	2028-2040		
		Dagens	Uten investering	Biogass	ENØK x2
Behov	Bygninger	2727	2772	2570	2357
Produksjon	Fra strømnett	2628	2673	2471	2258
	Solstrøm	99	99	99	99
	Sum	2727	2772	2570	2357
Eksport		0	0	0	0

Tabell 14 Årlig energibalanse (strøm) for periode 2 (2028-2040) for noen av investeringsalternativene [MWh/år]

		Sol medium	Sol medium/ Batteri lite	Sol & batteri ekstrem	ENØKx2, Sol medium, biogass
Behov	Bygninger	2772	2772	2772	2155
Produksjon	Fra strømnett	2448	2447	2331	1849
	Solstrøm	345	345	515	345
	Sum	2793	2792	2846	2194
Tap	Batteri		6	23	
Eksport		21	14	51	39

For investeringsalternativet som gir størst reduksjon i ekvivalente årlige kostnader, bidrar ENØK-tiltakene og biogassanlegget til å redusere strømbehovet med totalt 617 MWh/år. Det produseres 345 MWh/år solstrøm hvorav det meste blir brukt på Mære og dermed reduserer behovet for kjøpt strøm ytterligere, 39 MWh/år blir solgt, og selvforsyningsgraden for hele året er 16 %. I sommerukene er solstrømproduksjonen omtrent 54 % av behovet, men noe går til salg. Det er høyere selvforsyningsgrad på 230V-nettet enn på 400V-nettet. På 230V-nettet er produksjonen i sommerukene på 79 % av behovet, mens det på 400V-nettet er 43 %.

Figur 16 viser behov for kjøpt strøm fra strømmettet, strøm fra egen solstrømproduksjon og solgt strøm per sesong for periode 2 uten investeringer sammenlignet med noen av investeringsalternativene. Man kan se hvordan ENØK-tiltak på 230 V- og 400 V-nettet vil redusere behovet for kjøpt strøm for de ulike sesongene. Nye solstrømanlegg vil gi høyest produksjon sommer og vår, og også litt salg om sommeren. Medium solstrømanlegg vil dekke en betydelig andel av strømbehovet om sommeren, mens ekstremt solstrømanlegg vil dekke mer enn 50 % av behovet om sommeren.



Figur 16 Strøm fra strømmettet, strøm fra egen solstrømproduksjon og salg av strøm per sesong for periode 2 uten investeringer sammenlignet med noen av scenariene.

Tabell 15 viser maksimal timesverdi for effekt som tas ut fra strømmettet, samt totalt årlig behov for strøm fra nettet for noen av scenariene. Før man har gjort noen av de nye investeringene, er maksimal timesverdi på 687 kWh/h. ENØK-tiltak på 230 V- og 400 V-nettet reduserer maksimal effekt med 113 kWh/h, mens biogassanlegg gir en reduksjon på 27 kWh/h. Lokal strømproduksjon i et medium solstrømanlegg reduserer maksimal effekt med 29 kWh/h, mens ekstrem sol/batteri kan gi en reduksjon på 149 kWh/h fordi batteriet bidrar til å jevne ut effekttoppene. Det mest lønnsomme

investeringsalternativet (ENØK 230 & 400V, Sol medium, Biogass) gir også større reduksjon enn enkelttiltakene både i årlig behov for kjøpt strøm og maksimal effekt. I forhold å ikke gjøre noen investeringer, er reduksjonen på hhv. 167 kWh/h (24 %) og 824 MWh/år (30 %).

Tabell 15 Behov for strøm fra nettet; Maksimal effekt fra strømmettet (timesverdi) og årlig energibehov

Scenarier	Maksimal effekt [kWh/h]	Årlig energibehov [MWh/år]
Ingen investering	687	2673
ENØK 230 & 400V	574	2258
Sol medium	658	2448
Sol/batteri ekstrem	538	2331
Biogass	660	2471
ENØK 230 & 400V, Sol medium, Biogass	520	1849

Å redusere effekttoppene vil ha innflytelse på energikostnadene for Mære landbruksskole (effektlegg). I tillegg vil det redusere belastningen på omkringliggende kraftnett. Kraftnettet må dimensjoneres etter den høyeste etterspørselen etter effekt som kan oppstå, og på landsbasis har maksimalt effektuttak økt betydelig de siste årene [Enova, 2022]. Reduksjon av effekttoppene hos forbrukerne kan derfor bidra til mer kapasitet og fleksibilitet på nettet.

7 Oppsummering

Denne rapporten viser en tekno-økonomisk analyse av det elektriske energisystemet på Mære landbruksskole gjennomført ved bruk av verktøyet Integrate. Studien har sett på fem mulige kategorier med investeringsalternativ og kombinasjoner av disse for å øke selvforsyningsgraden av strøm på Mære landbruksskole. Disse alternativene er:

1. ENØK-tiltak på 230 V-nettet
2. ENØK-tiltak på 400 V-nettet
3. Solstrømproduksjon og/eller Batteri på «fornuftig nivå»
4. Solstrømproduksjon og Batteri på «ekstremt nivå»
5. Biogassanlegg

Resultater fra tekno-økonomiske analyser som denne, er typisk sensitive for forutsetninger som er gjort, og input-data som er brukt. Det er viktig å bruke best tilgjengelige data, og ideelt sett bør usikre faktorer belyses med sensitiviteter. På grunn av begrensede ressurser, har man ikke kunnet inkludere dette i denne studien. Kvaliteten på inngangsdata vurderes som god da disse i all hovedsak er fremskaffet av problemeier. I tillegg er ulike forutsetninger diskutert med problemeier.

Utviklingen av strømprisen er vanskelig å forutse. Basert på data for strømprisutvikling fra NVEs langsiktige kraftmarkedsanalyse [Birkeland et al 2021], ble det i denne studien sett på to scenarier der spotprisen økte med hhv. 3 % (lav) og 30 % (høy) fra 2021 til 2040.

Hvis man evaluerer de fem kategoriene med tiltak hver for seg, er det ENØK-tiltakene som gir høyest besparelse i ekvivalente årlige kostnader med hhv. 104 og 132 kNOK/år ved lav og høy strømprisutvikling. Driftskostnadene reduseres betydelig fordi strømbehovet reduseres, samtidig som investeringskostnaden er relativt liten, spesielt for tiltakene på 230 V-nettet. Årlig energibehov reduseres med 415 MWh (15 %) og topplasten med ca. 110 kWh/h (16 %).

Når det gjelder solstrømproduksjon og batteri, er det investering i medium solstrømproduksjon (246 MWh/år ny produksjon, 250 % økning) som gir laveste ekvivalente kostnader, med 209 MWh/år ny solstrømproduksjon (211 % økning) omtrent på samme nivå. For både lav og høy strømprisutvikling gir disse to alternativene ekvivalente årlige kostnader som er litt lavere enn om man ikke gjør investeringer. Medium solstrømproduksjon reduserer behovet for strøm fra nettet med 225 MWh/år og topplasten med ca. 30 kWh/h.

For investering i biogassanlegg predikerer analysen ekvivalente årlige kostnader på omtrent samme nivå som uten investering. Driftskostnadene reduseres betydelig gjennom redusert strømbehov samt inntekt for å håndtere egen husdyrgjødsel, men kapitalkostnadene knyttet til investeringen er i samme størrelsesorden som reduksjonen i netto driftskostnader. Biogassanlegg reduserer behovet for strøm fra nettet med ca. 200 MWh/år og topplasten med ca. 27 kWh/h.

Laveste totale årskostnader oppnås for scenariet med ENØK-tiltak på begge strømnettene (230 & 400 V), medium solstrømproduksjon og biogassanlegg, med 7 % kostnadsreduksjon fra referanse-scenariet (uten investeringer) ved lav strømprisutvikling og 9,5 % reduksjon ved høy strømprisutvikling. Dette alternativet gir også større reduksjon enn enkelttiltakene både i årlig behov for kjøpt strøm og maksimal effekt. I forhold til å ikke gjøre noen investeringer, er reduksjonen på hhv. 824 MWh (30 %)

og 167 kWh/h (24 %). Selvforsyningsgraden av strøm for hele året er 16 %, med høyere selvforsyningsgrad på 230 V-nettet enn på 400 V-nettet. På 230 V-nettet er produksjonen i sommerukene 79 % av behovet, mens det på 400 V-nettet er 43 %; noe av dette går til salg.

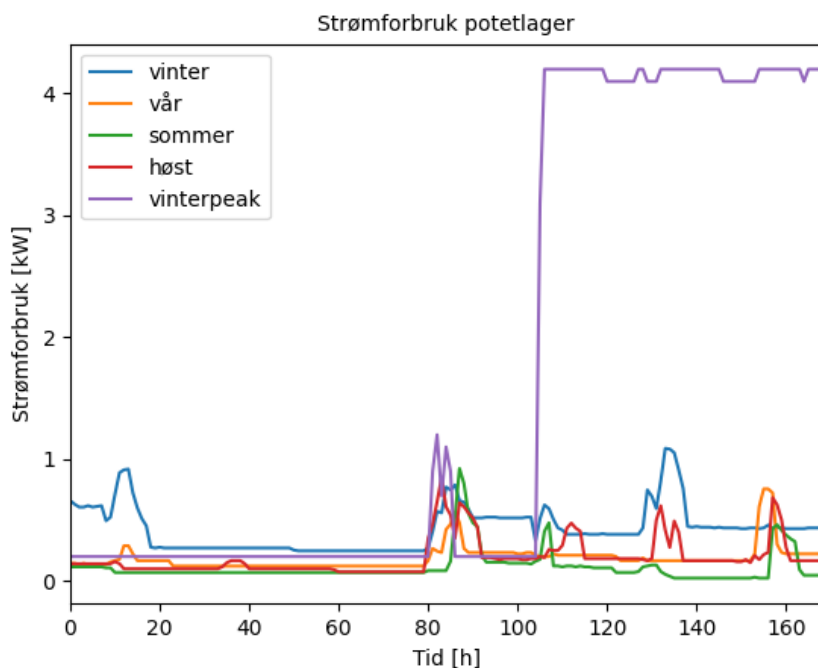
Redusert topplast på Mære landbruksskole gir også en samfunnsøkonomisk gevinst fordi det avlaster kraftnettet, både i forsyning inn til Mære og i omkringliggende kraftforsyning, og kan derfor bidra til mer kapasitet og fleksibilitet i nettet. Kraftnettet må dimensjoneres etter den høyeste etterspørselen som kan oppstå, og på landsbasis har maksimalt effektuttak økt betydelig de siste årene [Enova, 2022].

Referanser

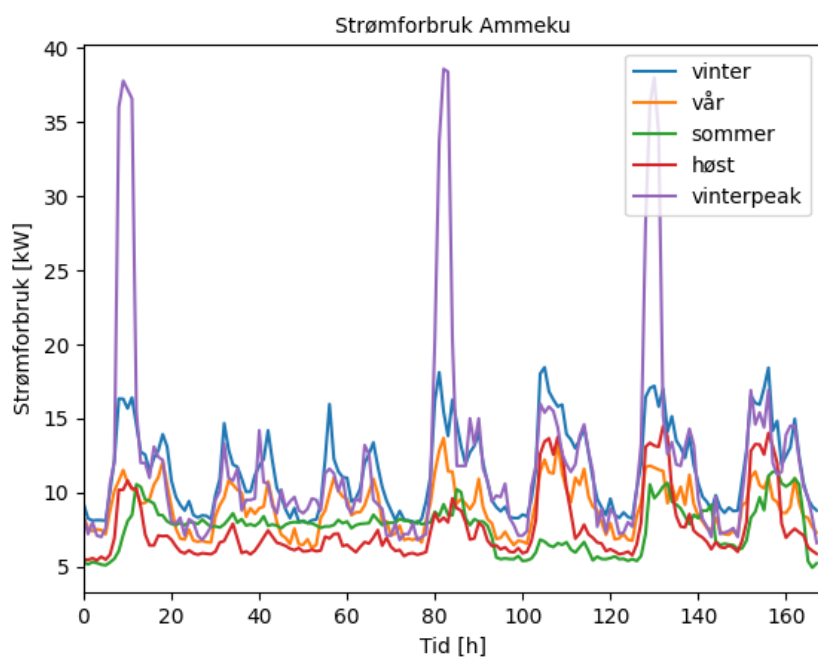
- Bakken B, Skjelbred H.I, & Wolfgang O (2007). eTransport: *Investment planning in energy supply systems with multiple energy carriers*. Energy, 32(9), 1676-1689.
- Birkelund, H., Arnesen, F., Hole, J., Spilde, D., Jelsness, Silje, Aulie, F. H., & Haukeli, I. E. (2021). *Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021 – 2040* (29/2021). Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>
- Danish Energy Agency. (2023). *Technology Data for Generation of Electricity and District Heating* <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-generation-electricity-and>
- ENOVA, *Årsrapport 2022 kap 3.7 Energisystemet status*, [Enova Årsrapport 2022 - Energisystemet status](#)
- ENTSO-E. (2021). *SFTP Guide*. https://transparency.entsoe.eu/content/static_content/Static%20content/knowledge%20base/SFTP-Transparency_Docs.html
- Skaar C, Mjønes T, Jystad T.H, Larsen G (2022), *Nullutslippsgården i ZEN. Systemgrenser for en nullutslippsgård i et nullutslippsområde. ZEN-pilot Mære*, ZEN memo No. 44
- Tensio (2023). *Nettleie og tilknytningsavtaler*. <https://tn.tensio.no/nettleie-og-tilknytningsavtaler>

Vedlegg

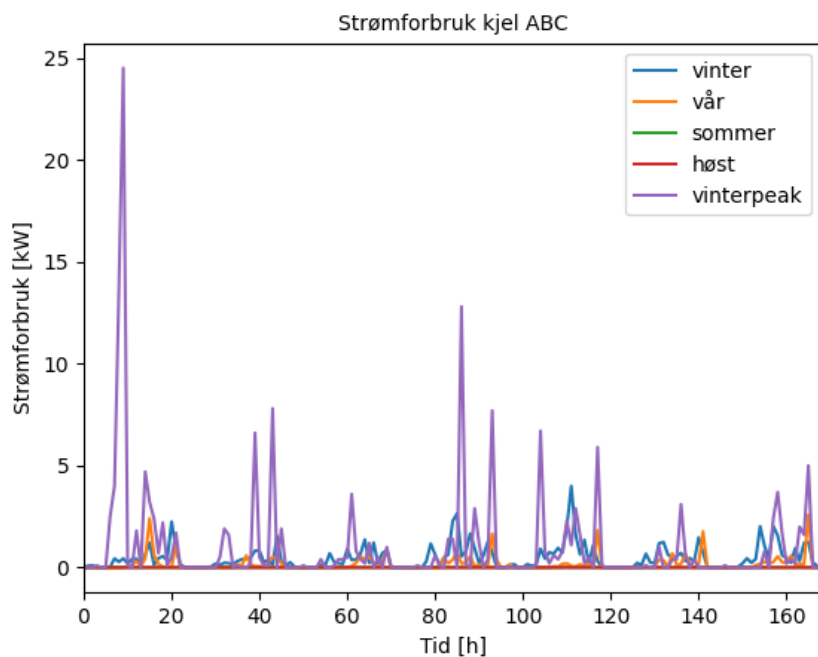
Vedlegg 1 Ukesprofiler for strømforbruk for periode 1



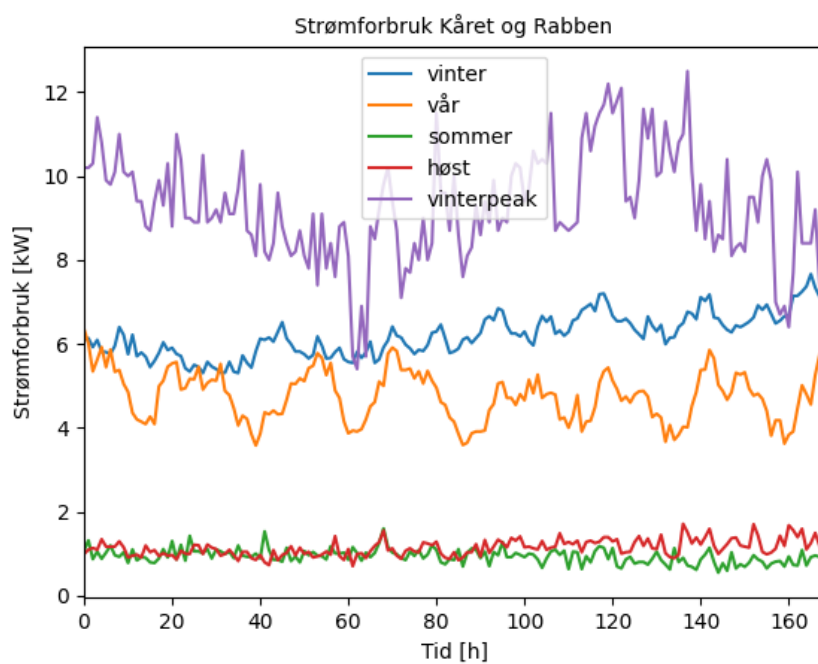
Figur 17 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «potetlager»



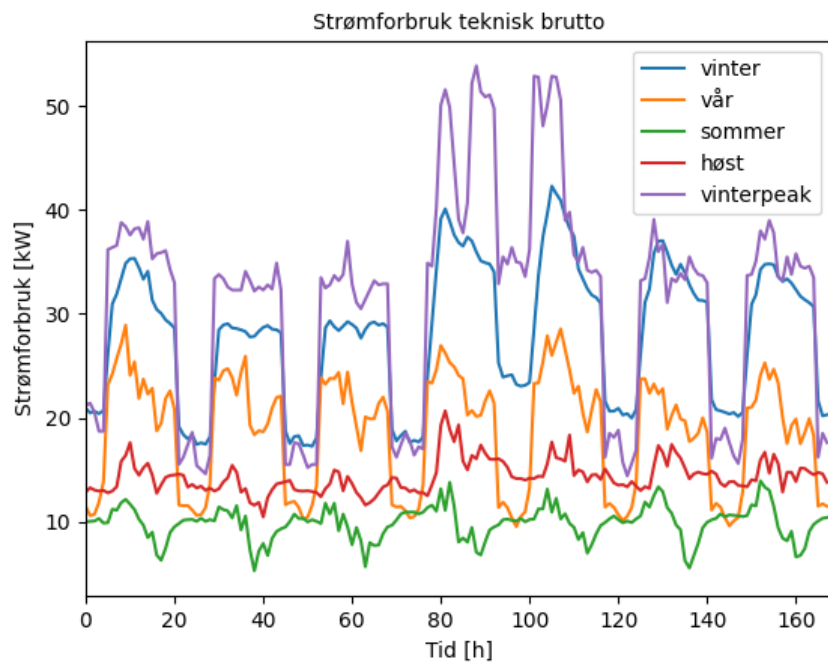
Figur 18 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «ammekufjøs»



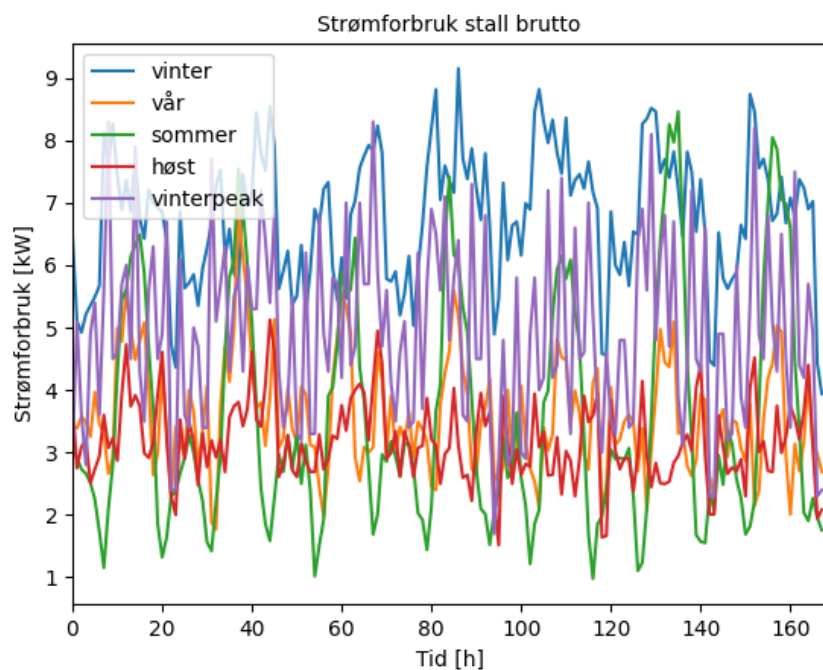
Figur 19 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «kjel ABC»



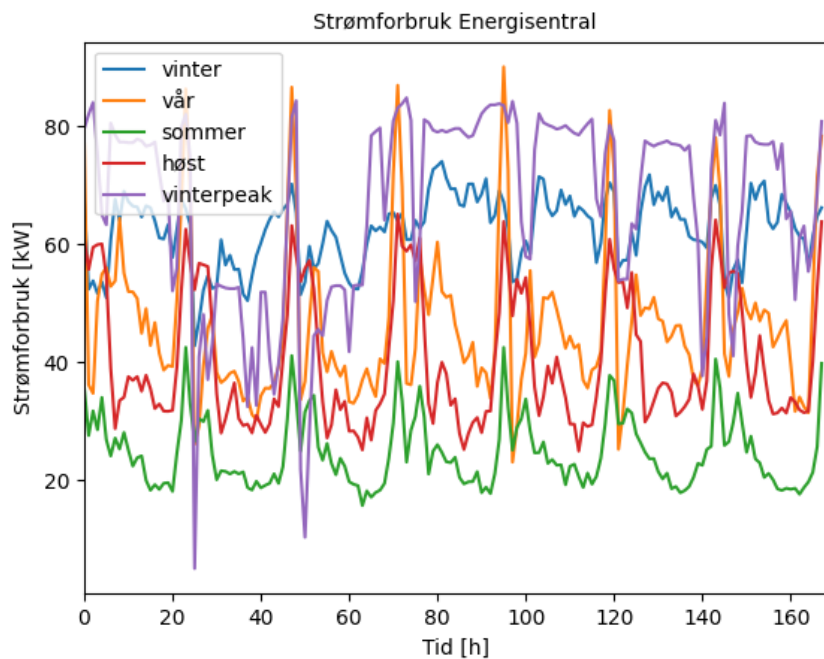
Figur 20 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «Kåret og Rabben»



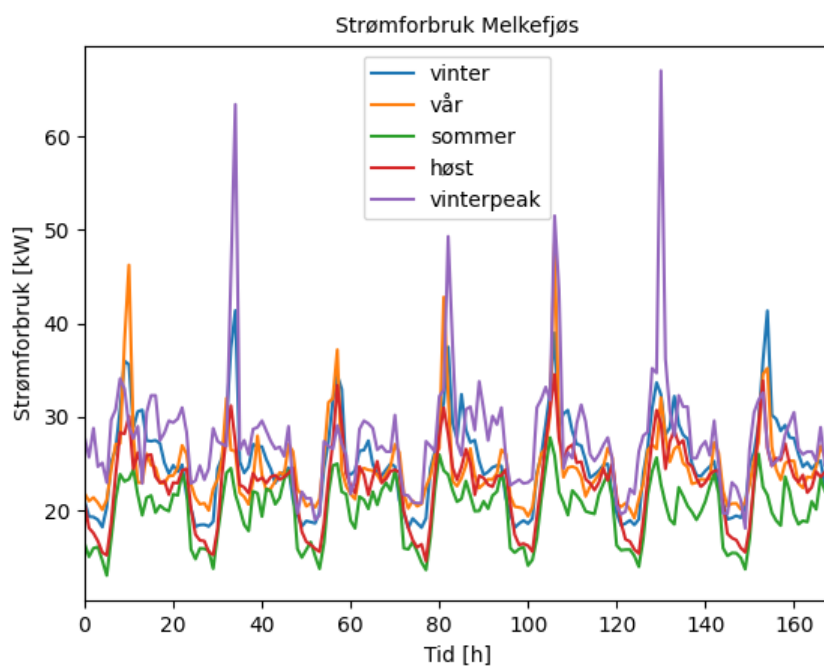
Figur 21 Ukesprofiler for brutto strømbehov for forbrukspunktet «veksthus teknisk»



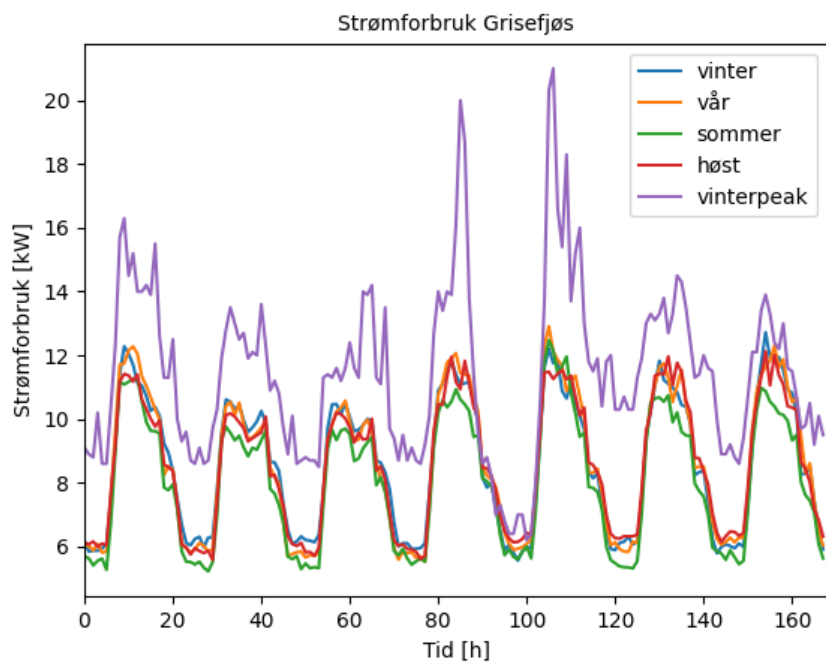
Figur 22 Ukesprofiler for brutto strømbehov for forbrukspunktet «stall»



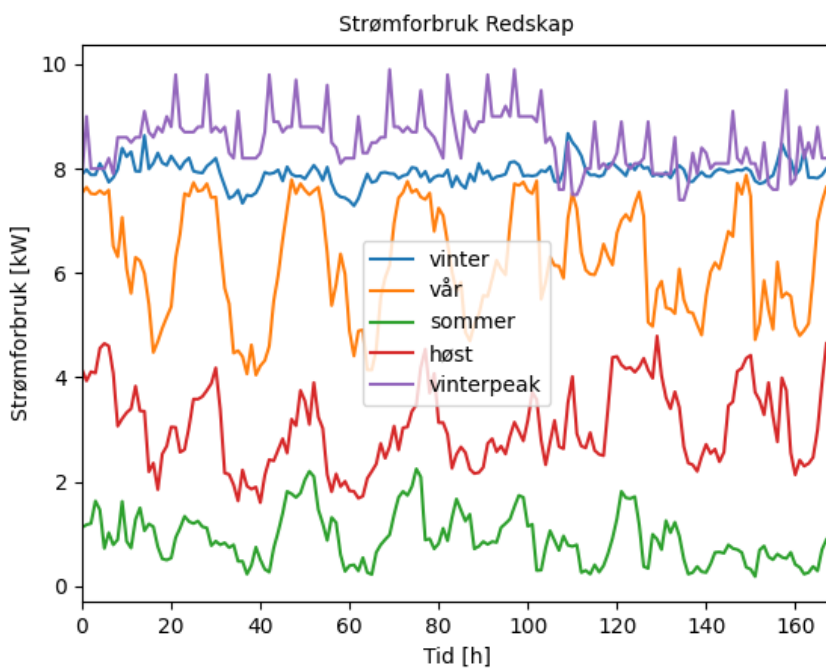
Figur 23 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «energisentral»



Figur 24 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «melkefjøs»

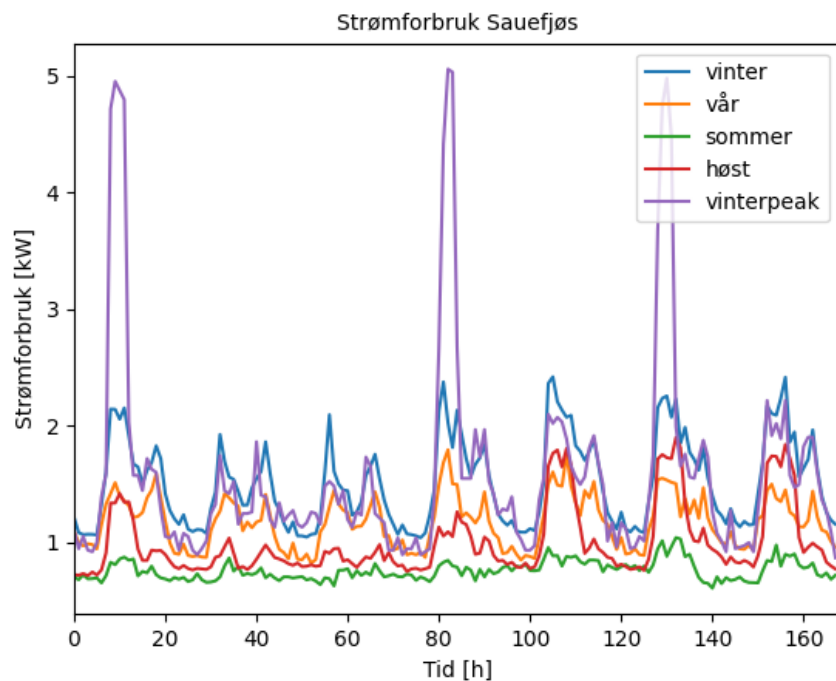


Figur 25 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «grisefjøs»

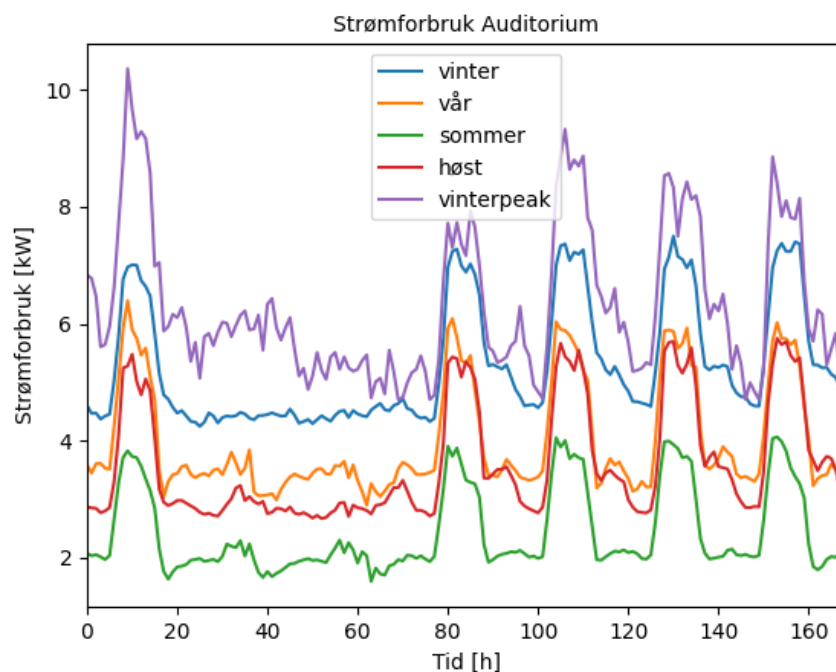


Figur 26 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «redskapsbod»

Vedlegg 2 Ukesprofiler for strømforbruk for nye bygninger (Periode 2)

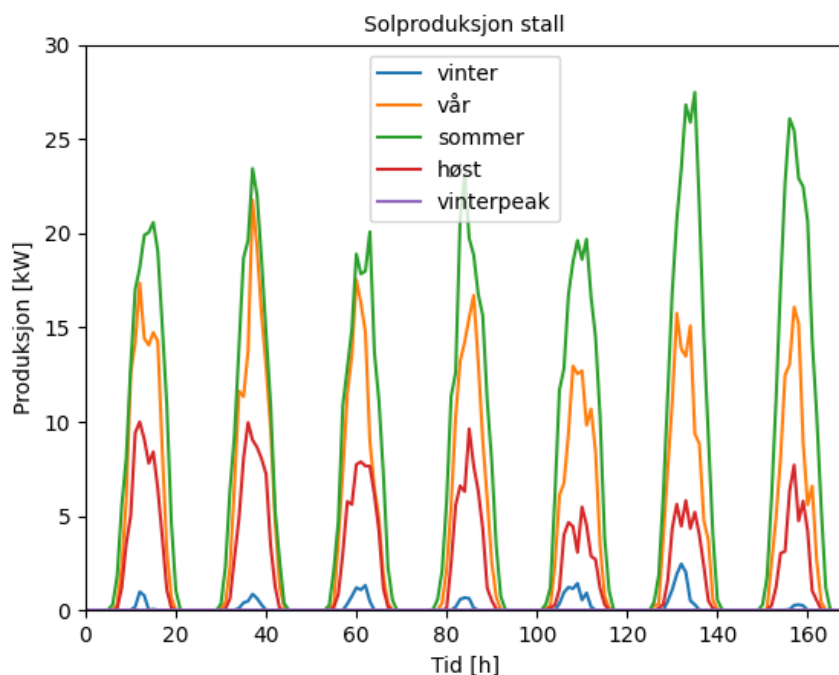


Figur 27 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «sauefjøs»

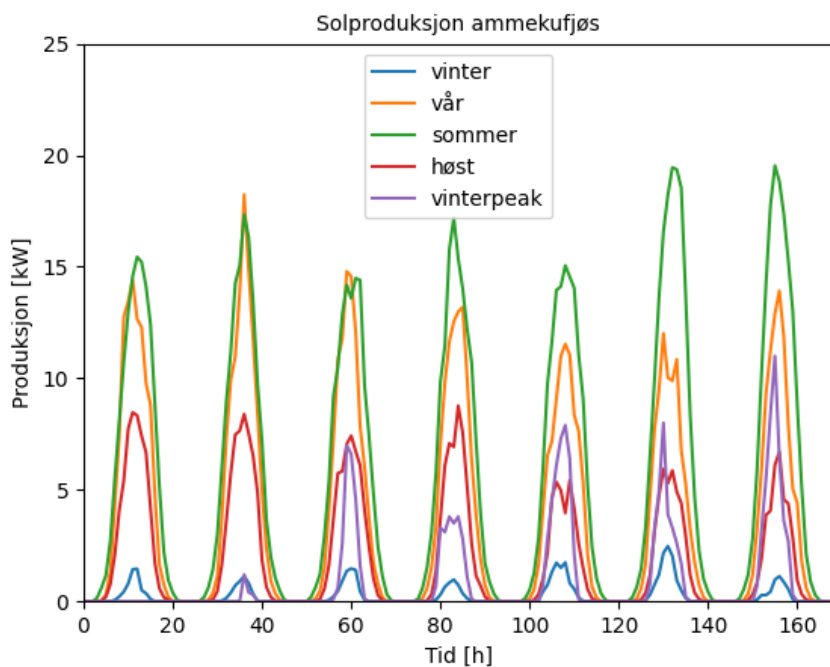


Figur 28 Ukesprofiler for strømbehov for forbrukspunktet «auditorium»

Vedlegg 3 Ukesprofiler for solstrømproduksjon for periode 1

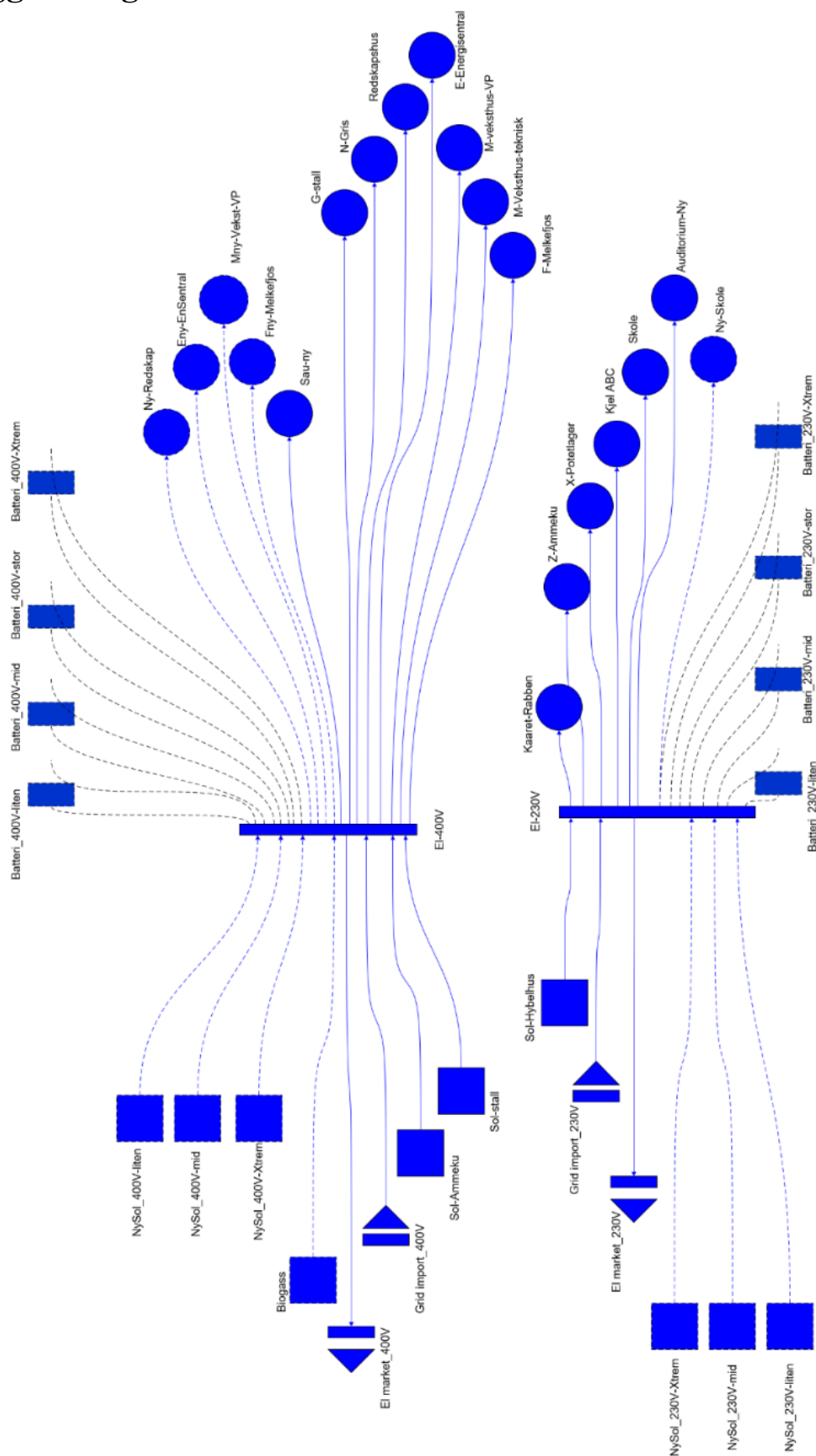


Figur 29 Ukesprofiler for solstrømproduksjon på «stall»



Figur 30 Ukesprofiler for solstrømproduksjon på «ammekufjøs»

Vedlegg 4 Integratemodellen



Figur 31 Grafisk presentasjon av modellen i Integrate



VISION:

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

Z E N

Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>