



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Plan for langsigtet udvikling af energiforsyningen på Livø

Sorknæs, Peter

Publication date:
2019

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Sorknæs, P. (2019). *Plan for langsigtet udvikling af energiforsyningen på Livø.*

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Plan for langsigtet udvikling af energiforsyningen på Livø



AALBORG UNIVERSITET

Plan for langsigtet udvikling af energiforsyningen på Livø

September, 2019

Aalborg Universitet, Institut for Planlægning

Peter Sorknæs

Arbejdet præsenteret i denne rapport er et resultat af projektet "Livø – Videre implementering af energiforsyning på Livø", som har modtaget finansiering af ForskVE (2012-1-12003).

Indholdsfortegnelse

1	Opgørelse af eksisterende og tidligere energiforbrug	2
2	Livøs el- og fjernvarmesystem efter projektets afslutning.....	5
2.1	Simuleringsmetode.....	5
2.2	Simuleringsresultater	7
3	Fremtidige scenarier for Livøs energisystem.....	11
3.1	Muligheder for energisystemet på Livø	12
3.1.1	Biomasseressourcer.....	12
3.1.2	Fluktuerende energikilder	12
3.1.3	Energibesparende tiltag.....	13
3.1.4	Nye lager- og konverterings-teknologier.....	14
3.2	VE scenarier for Livø.....	17
3.2.1	Basisscenariet for 80% VE.....	17
3.2.2	Effekter af andre tiltag i basisscenariet	18
3.2.3	Tidsmæssig integration af tiltag	20
3.2.4	Diskussion for overgang til 100% VE på Livø	20
4	Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater	23
4.1	Øget brug af solceller i eksisterende energisystemet	23
4.2	Dieselgeneratorers grundlasts effekt på energisystemet	24
4.3	Omstilling af Livø II (lastskib)	26
4.4	Omstilling af køretøjer, maskiner og diverse	27
5	Referencer	22

1 Opgørelse af tidligere og eksisterende energiforbrug

Denne rapport er resultatet af arbejdet i WP4 af projektet "Livø - Videre implementering af energi forsyningsløsninger", hvor målet er at give input til den langsigtede udvikling af energiforsyningen på Livø, hvor der sigtes efter et energisystem baseret på lokale vedvarende energiresourcer.

Dette kapitel samler op på tidligere opgørelse af energiforbruget på Livø. Opgørelsen tager udgangspunkt i COWI's opgørelse fra 2011 [1], som opgjorde energiforbruget på Livø baseret på et gennemsnit for perioden 2008-2010. Ligeledes præsenteres i dette kapitel en opgørelse for energiforbrug i 2018 på Livø, som viser energiforbruget, hvor kun nogle af de nye teknologier, som er blevet implementeret i løbet af projektet "Livø - Videre implementering af energi forsyningsløsninger", er fuldt implementeret.

Tabel 1 viser brændselsforbruget til produktion af energi på Livø iht. opgørelsen fra 2011 [1]. Vedvarende energi andelen (VE-andelen) i opgørelsen er på ca. 14%, hvor al den vedvarende energi kommer fra brug af træ. VE-andelen er opgjort efter Energistyrelsens metode.

[MWh]	Die- sel/olie	Træ	Flaske- gas	Total
Generatorer	685			685
Fjernvarmekedler	76	145		221
Livø II (lastskib)	135			135
Avlsgården	81		1	82
Gartnerbolig		14		14
Skipperhuset	1	21		22
Feriecenter				0
Køretøjer, maskiner og diverse	131			131
Total	1.109	180	1	1.290

Tabel 1 – 2011 opgørelse af brændselsforbrug til energibehov [1]

Siden opgørelsen fra 2011 er der lavet løbende ændringer af energisystemet på Livø, værende:

- Nye diesel generatorer
- Nyt fjernvarmesystem med lavere nettab
- Flere bygninger tilkoblet fjernvarmesystemet
- 25 kW hustandsvindmølle
- 33 kW solceller
- 68 kW elkedel i fjernvarmesystemet
- Akkumuleringstank på 30m³ i fjernvarmesystemet
- 40 kWh batteri
- To luft-til-vand varmepumper i fjernvarmesystemet
- En overordnet styring af det nye energisystem

Disse teknologier er præsenteret nærmere i kapitel 2. Den seneste hele opgørelsesperiode er 2018, og Tabel 2 viser brændselsforbruget til produktion af energi på Livø i 2018.

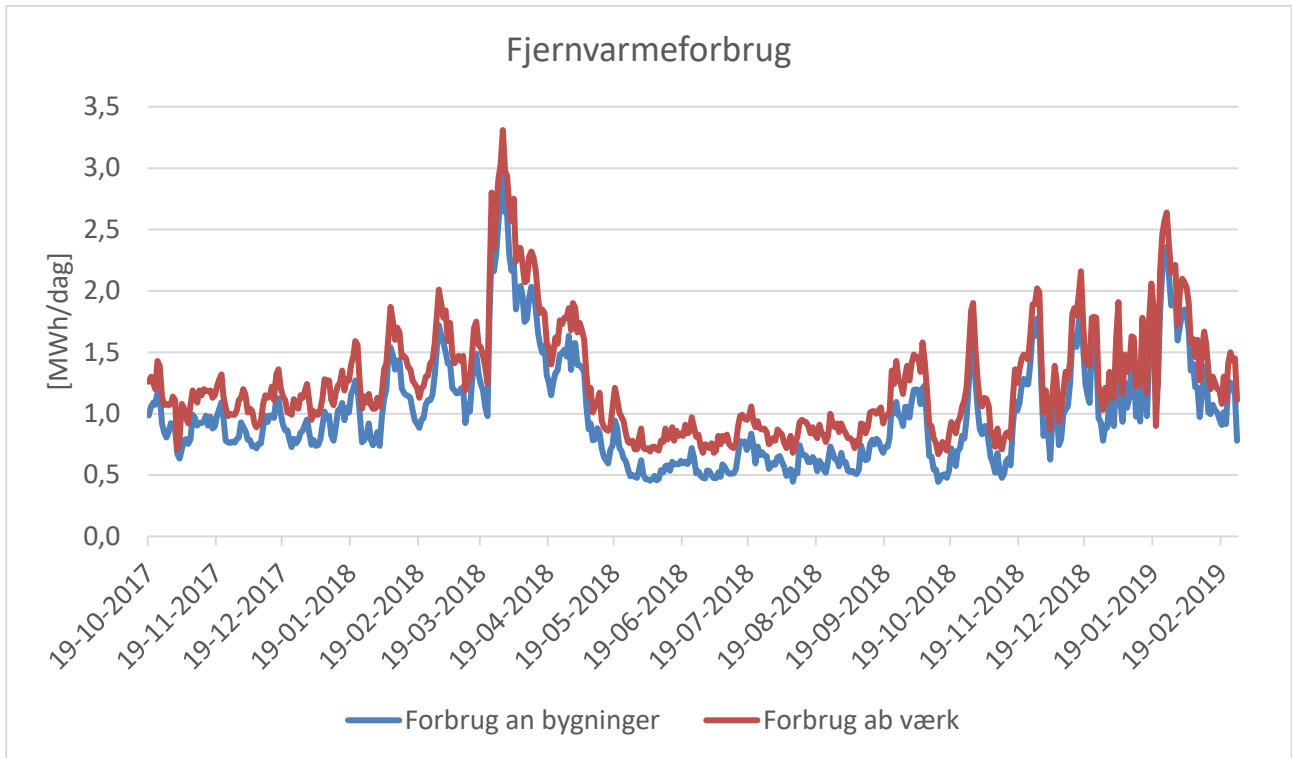
[MWh]	Diesel/olie	Træ	Flaskegas	Total
Generatorer	547			547
Fjernvarmekedler	287	279		565
Livø II (lastskib)	149			149
Avlsgården		2	0,3	3
Gartnerbolig		4	0,3	4
Skipperhuset	0,5	21	0,3	22
Feriecenter			11	11
Køretøjer, maskiner og diverse	94			94
Total	1.077	306	11	1.394

Tabel 2 - 2018 opgørelse af brændselsforbrug til energibehov. Data fra Naturstyrelsen.

Varmepumperne er først blevet installeret i 2019, og er derved ikke med i 2018 opgørelsen. Ud over det i Tabel 2 viste brændselsforbrug blev der i 2018 også produceret ca. 15 MWh el på solceller og vindmølle. Solcellerne blev løbende indfaset i Livøs energisystem, og deres produktion i 2018 er således betydeligt lavere end deres forventede produktion, når de er fuldt indfaset i energisystemet. Vindmøllen blev ligeledes også først installeret i sommeren 2018, og i resten af 2018 har produktionen herfra været begrænset for at løbende kunne indfase denne i styringen af energisystemet på Livø, hvorved vindmøllens produktion også er lavere end det forventes ved fuld implementering. Derudover skal det bemærkes, at der i perioden fra 31. oktober til 31. december i 2018 har været et unormalt højt forbrug af el og fjernvarme, da der i perioden er sket en ombygning af havnen på Livø, hvorved der har været flere overnattende på Livø, samt mere maskinelt i brug på øen. Ved normalt forbrug forventes det, at dieselbehovet til generatorerne ville have været ca. 460 MWh¹. I 2018 lå VE-andelen inkl. vind og sol på ca. 23-24%, afhængigt af om der korrigeres for det unormalt høje energiforbrug.

Dette øgede energiforbrug i slutningen af 2018 kan også ses på Figur 1, som viser de målte daglige fjernvarmeforbrug an bygning og ab værk for perioden fra 19. oktober 2017 til 26. februar 2019. Forskellen mellem disse to repræsenterer varmetabet i det nye fjernvarmenet, hvilket i den viste periode har været ca. 20% set ift. ab værk fjernvarmeforbruget. Her ses det, at fjernvarmeforbruget i vinteren 2018-2019 generelt har været højere end den tilsvarende periode i vinteren 2017-2018 og med større udsving.

¹ Estimat fra Naturstyrelsen



Figur 1 – Målt dagligt fjernvarmeforbrug an bygninger og ab værk for perioden 19. oktober 2017 til 26. februar 2019

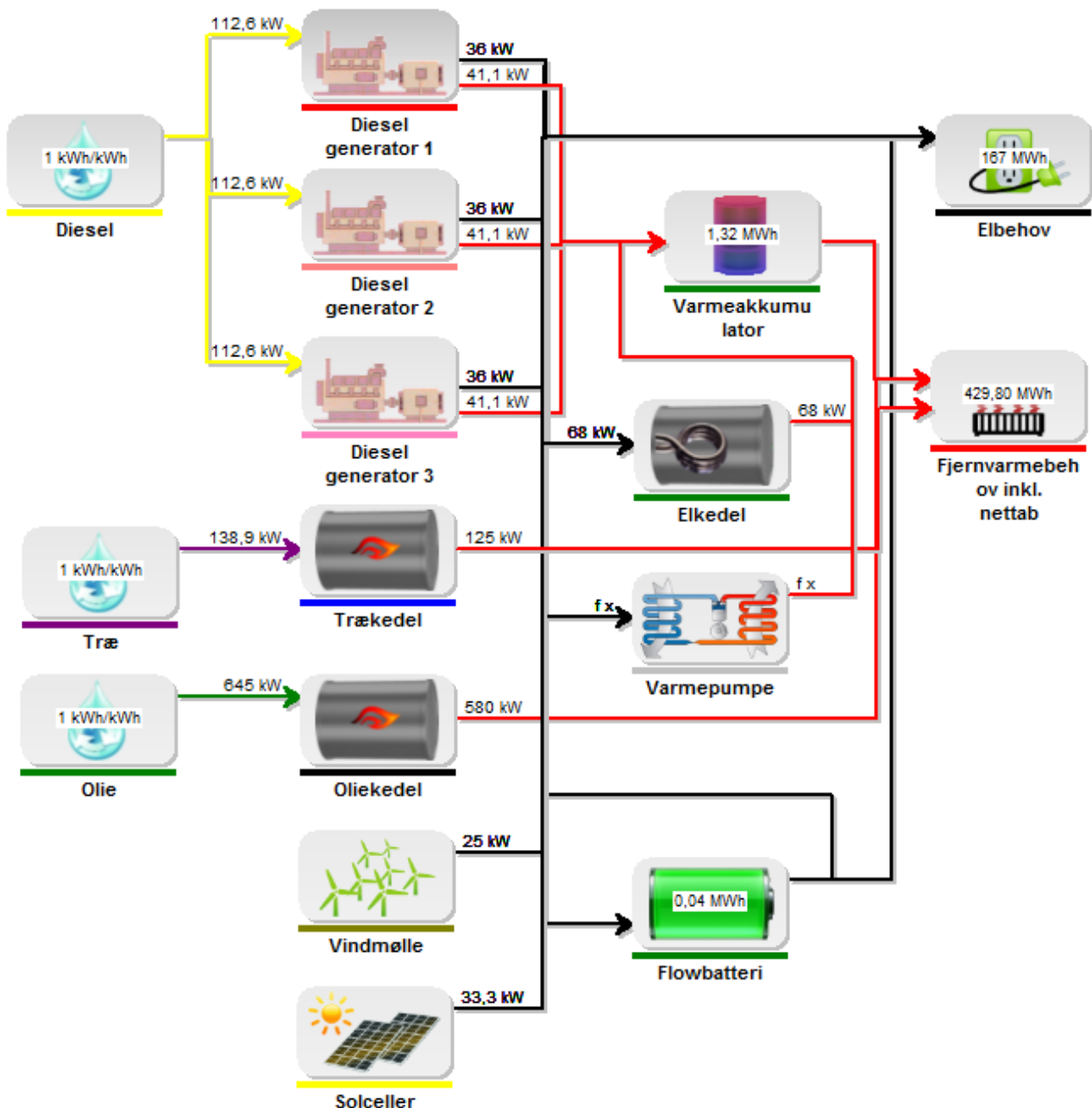
Pt. er der i alt 15 målepunkter for fjernvarmeforbruget an bygninger på Livø. Fjernvarmeforbruget måles som det samlede varmeforbrug ved hvert målepunkt, og der er således ingen opgørelse over, hvor meget der bruges til rumvarme, og hvor meget der bruges til varmt brugsvand.

2 Livøs el- og fjernvarmesystem efter projektets afslutning

I dette kapitel beskrives Livøs energisystem, som det forventes at se ud efter afslutning af projektet "Livø - Videre implementering af energi forsyningsløsninger". Fokus er her på el- og fjernvarmesystemerne, da disse energisektorer er blevet ændret som følge af projektet. Eftersom det herved ikke er muligt at bruge målte data, vil vurderingerne af energisystemet efter projektets afslutning ske på basis af simuleringer af en mulig fremtidig drift af el- og fjernvarmesystemet på Livø.

2.1 Simuleringsmetode

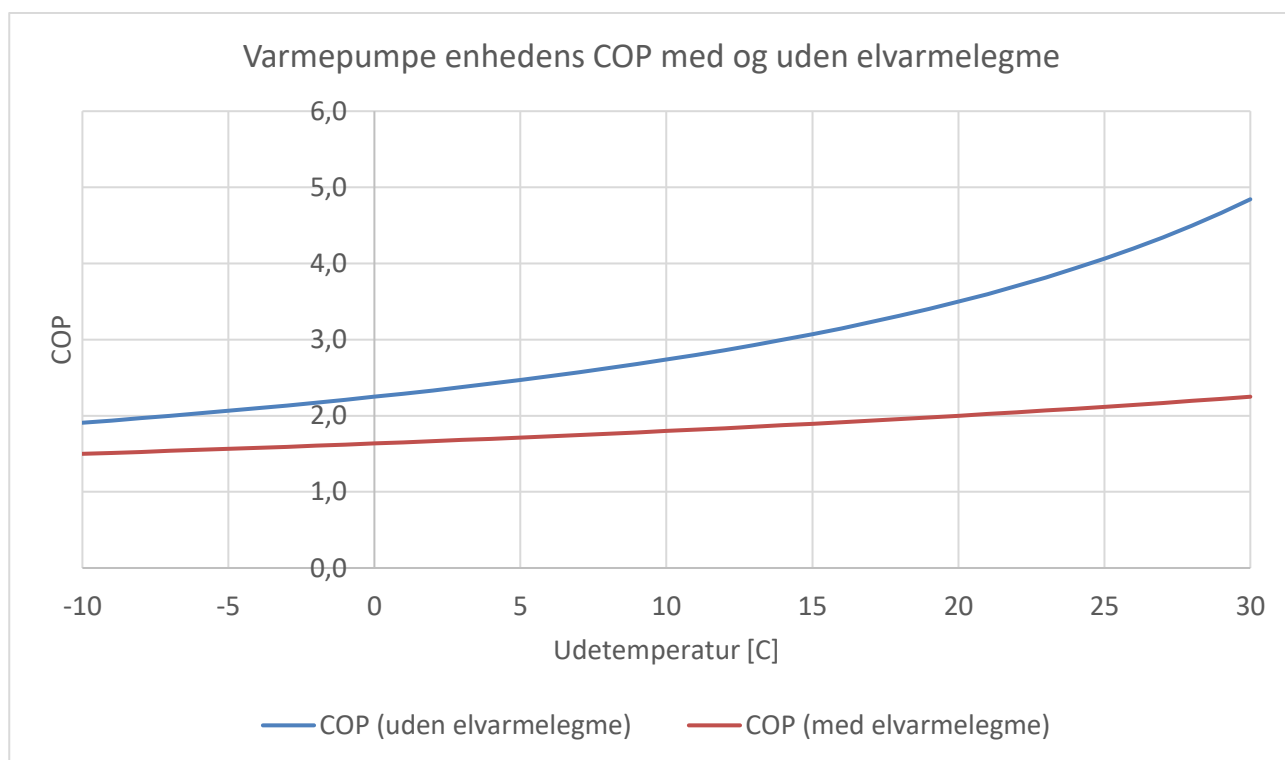
Figur 2 viser energiteknologierne i el- og fjernvarmesystemet, som det forventes efter projektets afslutning.



Figur 2 – El- og fjernvarmeteknologier på Livø efter indeværendes projekts afslutning

Brændselsforbrug til el- og fjernvarmeproduktion er baseret på simuleringer i værktøjet energyPRO [2]. I energyPRO simuleres driften af el- og fjernvarmesystemerne for hver time i løbet af et 1 år, hvor det sikres, at alle energibehov bliver mødt i hver time af året. Grundet en exceptionel varm og solrig sommer i 2018 samt det unormalt høje energiforbrug i slutningen af 2018 grundet ombygning af Livø havn, så er det valgt til simuleringerne at tage udgangspunkt i fjernvarmeforbruget fra perioden 10/4 2017 - 10/4 2018, så simuleringerne ikke påvirkes af disse anormale hændelser.

Trækedlen antages at have en mindstelast på 5% og en mindste driftstid på 8 timer, for at tilnærme den nuværende driftsmetode af trækedlen, hvor trækedlen startes manuelt. Ligeledes har trækedlen et separat varmelager på 8 m³, som kun kan bruges af trækedlen. Flowbatteriet antages at have en op- og afladningskapacitet på 5 kW med en op- og afladningsvirkningsgrad på 85%, hvorved den samlede cyklus-effektivitet er på ca. 72,3%. Dieselgeneratorerne har en mindstelast på 11 kW_e, hvor elvirkningsgraden er ca. 27%. Varmepumpe enheden er to luft-til-vand varmepumper på hver 16 kW varme. Der er i skrivende stund ikke driftserfaringer med disse, det forventes dog, at disse kan levere varme ved en temperatur på ca. 56-57°C, hvilket ikke er nok til direkte leverance i fjernvarmenettet, hvorved produktionen herfra skal boostes til ca. 65°C via et elvarmelegme med en forventet virkningsgrad på næsten 100% og en forventet maks. kapacitet på 20 kW. Brugen af elvarmelegmet har således en direkte indvirkning på den mulige samlede Coefficient of Performance (COP) af Varmepumpe enheden, da Varmepumpe enheden ikke kan bruges i det nuværende fjernvarmesystem uden elvarmelegmet. Den samlede forventede COP for driften af Varmepumpe enheden ift. lufttemperaturen på Livø, både med og uden brug af elvarmelegmet, kan ses på Figur 3.

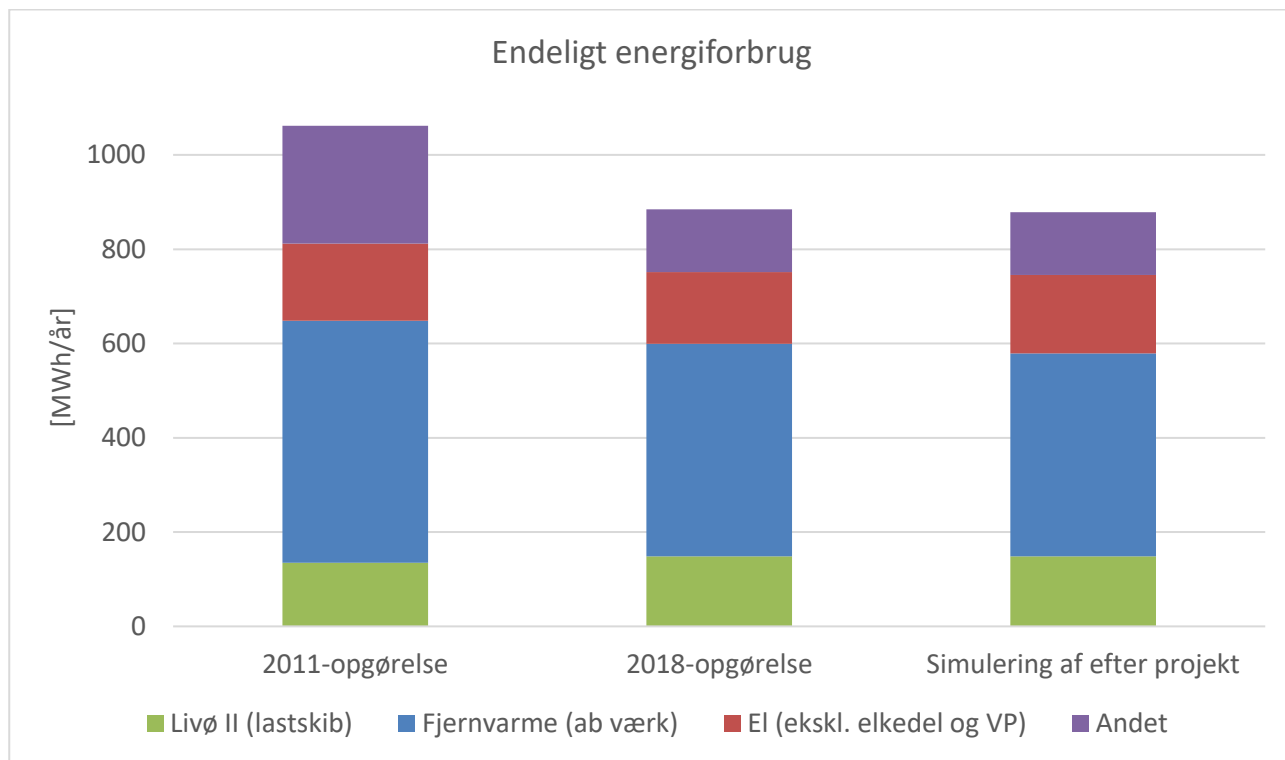


Figur 3 – Forventet COP for Varmepumpe enheden med og uden brug af elvarmelegmet ift. udetemperatur på Livø

Til at simulere driften af energisystemet på Livø benyttes en strategi hvor det først sikres, at der i hver time er mindst én dieselgenerator i drift ved dens mindste last på 11 kW_e. Herefter bliver el fra solceller og vindmølle brugt, hvis der er produktion på disse. I tilfælde af overproduktion af el på disse enheder ift. det normale elforbrug, så bruges den overskydende el til Varmepumpe enheden og elkedlen, i den nævnte rækkefølge. Varmen fra Varmepumpe enheden og elkedlen bruges først til levering af fjernvarme i driftstimen, men gemmes i varmelagret til senere brug om nødvendigt. Derved begrænses brugen af elkedlen, og delvist Varmepumpe enheden, både af fjernvarmebehovet inkl. lagermuligheder, samt hvor stor en del af den overskydende el disse enheder vil kunne aftage i en given time. Er der fortsat overskydende el vil flowbatteriet blive benyttet, og er der ikke plads heri eller tilstrækkelig opladningskapacitet til batteriet, så reduceres produktionen på vindmøllen og solcellerne. Herefter mødes det resterende elforbrug først af gemt strøm på flowbatteriet og herefter af den resterende dieselgenerator kapacitet. Herefter leveres det resterende varmebehov først af trækedlen, og herefter Varmepumpe enheden drevet af ekstra elproduktion fra dieselgeneratorerne. Er der fortsat behov for varmeproduktion leveres dette af oliekedlen.

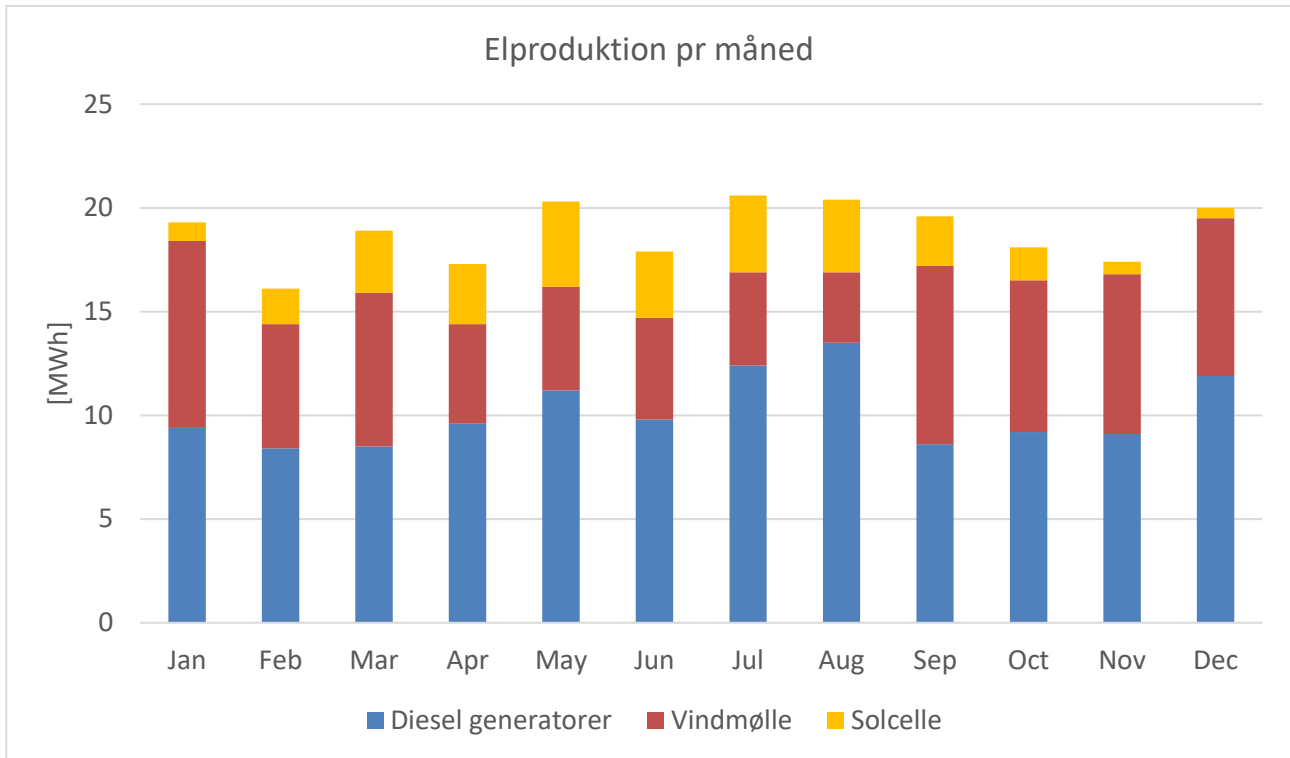
2.2 Simuleringsresultater

Figur 4 viser de endelige energiforbrug på Livø for de to historiske opgørelser samt for simuleringen af energisystemet efter projektets afslutning. Elforbruget på Figur 4 er uden elforbruget til elkedel og Varmepumpe enheden. Medtages disse elforbrug øges elforbruget med ca. 59 MWh/år i "Simuleringen af efter projektet". Energiforbrug til Lastskib og Andet er opgjort efter deres brændselsforbrug. Fjernvarmeforbruget inkl. nettab var i 2018 ca. 450 MWh, hvor det grundet anden opgørelsesperiode i simuleringen er på ca. 430 MWh.



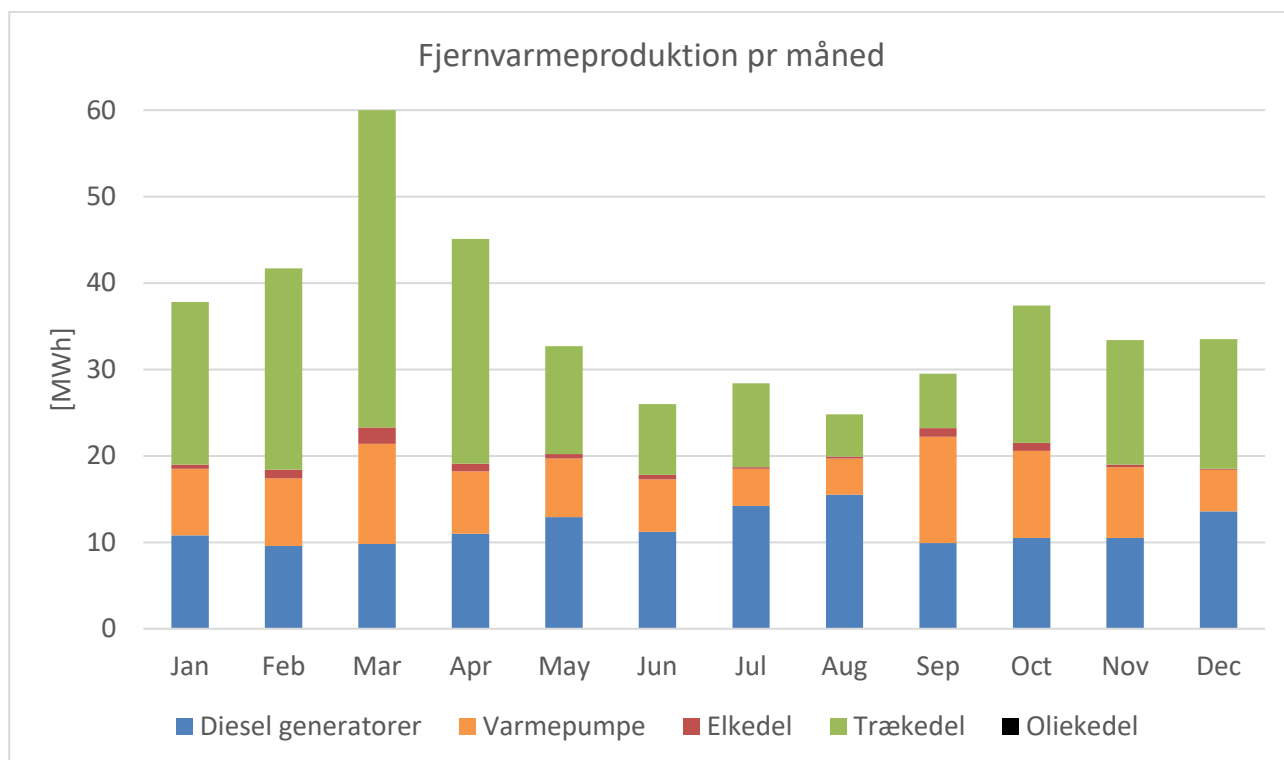
Figur 4 – Endelige energiforbrug på Livø i de to historiske opgørelser og det simulerede fremtidige scenarie

Figur 5 viser den månedlige elproduktion, som er fundet i simuleringerne.



Figur 5 – Simuleret månedlig elproduktion

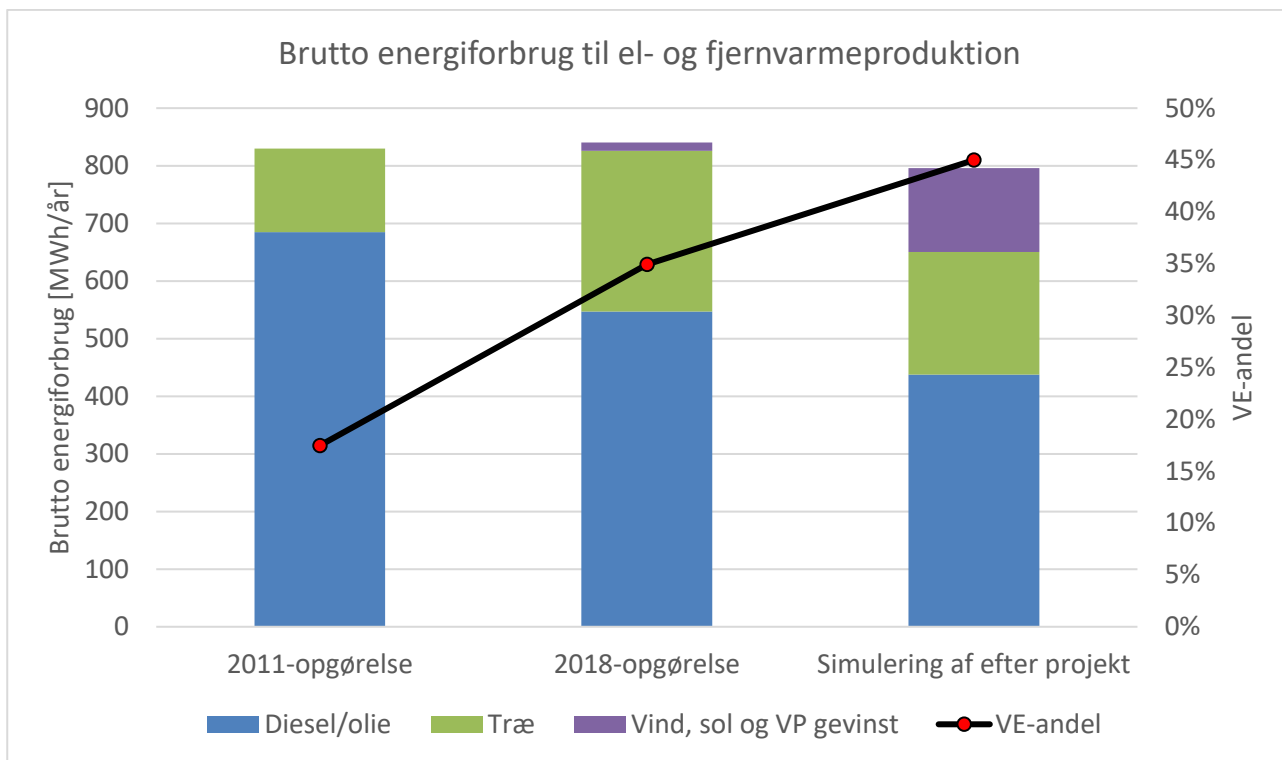
Det ses af Figur 5, at solcellerne især leverer el i sommerhalvåret, og vindmøllen især leverer el uden for sommerhalvåret. Dieselgeneratorerne producerer årligt 122 MWh el, hvoraf ca. 96 MWh el er ved den indlagte grundlast, således producerer dieselgeneratorerne hovedsageligt ved den fastlagte grundlast. Det ses ligeledes, at det månedlige elforbrug er forholdsvis stabilt igennem året. Dette skyldes dog, at Varmepumpe enheden og elkedlen trækker elforbruget op, især i månederne uden for sommerperioden. Dette kan ses på Figur 6, som viser den månedlige fjernvarmeproduktion som fundet i simuleringerne.



Figur 6 – Simuleret månedlig fjernvarmeproduktion

Som det ses af Figur 6, så bruges dieselgeneratorerne forholdsvis mere i sommerperioden, hvor elforbruget er højere, grundet at der her er flest turister på Livø. Varmepumpe enheden og elkedlen er især i drift uden for sommermånederne, hvor der er et relativt højere fjernvarmeforbrug. Trækedlen er mindst i drift i sommerperioden grundet det lavere varmegrundlag. Der forventes, at oliekedlen helt kan undgås ved brug af trækedlen, Varmepumpe enheden og elkedlen sammen med fjernvarmelagret. Simuleringen tager dog ikke højde for potentielle nedbrud af enheder i de kolde perioder, og der kan derved fortsat være et behov for at bruge oliekedlen som backup.

Figur 7 viser brutto energiforbruget til el- og fjernvarmeproduktion på Livø og den tilsvarende VE-andel i el- og fjernvarmeproduktionen for de to historiske opgørelser og det simulerede energisystem efter projektets afslutning.



Figur 7 – Brutto energiforbrug i de to historiske opgørelser og det simulerede fremtidige scenarie

Som det ses på Figur 7 findes det i simuleringen, at VE-andelen i el- og fjernvarmeproduktionen vil stige til omkring 45%, fra omkring 17% før projektet startede. Diesel/olie forbruget til el- og fjernvarmeproduktion forventes at falde med 247 MWh, svarende til en reduktion på 36% ift. 2011-opgørelsen. Hertil skal dog liggendes, at siden 2011-opgørelsen er bygningen "Avlsgården" gået fra at have egen varmforsyning baseret på olie til at være tilkoblet fjernvarmenettet, hvorved den besparede olie til individuel opvarmning skal medtages i opgørelsen. I 2011-opgørelsen bruges 81 MWh olie til individuel opvarmning af Avlsgården, hvorved diesel/olie forbruget reelt forventes at falde med 328 MWh efter indeværende projekts fulde implementering. Dette svarer til en reduktion i diesel/olie forbruget på ca. 43% ift. 2011-opgørelsen inkl. Avlsgårdens olieforbrug.

3 Fremtidige scenarier for Livøs energisystem

I dette kapitel beskrives forskellige fremtidige muligheder for at omstille Livøs energisystem til øgede mængder af vedvarende energi. Hvor kapitel 2 havde fokus på produktionen af el og fjernvarme, så vil dette kapitel omhandle alle energiforbrug på Livø. Målet med kapitlet er ikke at præsentere ét færdigt vedvarende energi scenarie for Livø, men er i stedet ment som et input til den løbende omstilling af Livøs energisystem. Det vurderes også i hvilken rækkefølge forskellige tiltag kan foretages for at opnå en VE-andel i det samlede energiforbrug på 80%, samt hvilke muligheder som potentielt vil kunne få VE-andelen yderligere op end 80%. Udgangspunktet for arbejdet er Livøs energisystem, som det forventes at se ud efter projektet "Livø - Videre implementering af energi forsyningsløsninger" afslutning, som blev præsenteret i kapitel 2. Scenariet fra kapitel 2 kaldes herefter Referencen. Tabel 3 viser brændselsforbruget i Referencen. Brændselsforbrug til generatorer og fjernvarmekedler er fra simuleringerne, og det resterende brændselsforbrug er fra 2018 opgørelsen.

[MWh]	Diesel/olie	Træ	Flaskegas	Total
Generatorer	438			438
Fjernvarmekedler	0	212		212
Livø II (lastskib)	149			149
Avlsgården		2	0,3	3
Gartnerbolig		4	0,3	4
Skipperhuset	0,5	21	0,3	22
Feriecenter			11	11
Køretøjer, maskiner og diverse	94			94
Total	681	240	11	932

Tabel 3 – Brændselsforbrug til alle energibehov på Livø efter projektets afslutning. Brændselsforbrug til Generatorer og Fjernvarmekedler er fra simuleringen af Livø's energisystem.

Det ses af Tabel 3, at det fortsat er dieselgeneratorerne, som forventes at forbruge mest diesel/olie på Livø. Generatorernes brug af diesel/olie svarer til ca. 64% af det samlede diesel/olie forbrug. Livø II (lastskib) er den enhed, som bruger næst mest diesel/olie, svarende til ca. 22% af det samlede diesel/olie forbrug. Ud over disse brændselsforbrug forventes vindmøllen at levere 76 MWh el om året og de 33,3 kW_e solceller forventes at levere 28 MWh el om året.

El- og fjernvarmesystemet simuleres i energibalance simuleringsværktøjet energyPRO. energyPRO simulerer driften af disse time for time over et års drift. De forskellige muligheder i Livøs energisystem måles alene på deres brutto energiforbrug og den tilsvarende VE-andel, hvor udelukkende vedvarende energiresourcer tilstede på Livø installeres. Således vurderes bl.a. økonomien ikke.

Til analyserne inddrages konklusioner og muligheder fra tidligere analyser omkring mulige teknologier på Livø. Ligeledes benyttes andre kilder såsom Energistyrelsens teknologikataloger [3] til at vurdere udviklingen af forskellige energiteknologier. Der er i analyserne også undersøgt den mulige effekt af forskellige teknologier, som pt. ikke er kommercielt tilgængelige på markedet, hvorfor flere af teknologierne der præsenteres i dette, er forbundet med usikkerheder. Der medtages kun teknologier, som vil kunne forventes at kunne blive tilgængelige på markedet i størrelser, som vil kunne implementeres på Livø, hvorved bl.a. teknologier som kun forventes at være relevant i stor skala ikke medtages.

Detaljerede energisystemanalyse resultater og diskussioner kan findes i Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater. Her præsenteres de forventede muligheder for energisystemet på Livø, inkl. lokale energiresourcer, og de overordnede konklusioner fra de detaljerede analyser. Først præsenteres de muligheder, som er undersøgt ift. Livø, og herefter præsenteres et 80% VE scenariet, hvor forskellige variationers effekt på systemet efterfølgende testes.

3.1 Muligheder for energisystemet på Livø

3.1.1 Biomasseressourcer

På Livø er der både skovbrug og landbrug, som potentielt vil kunne levere biomasse til energisystemet. Herudover er der en mindre mængde køkkenaffald, mm.

Skovbruget leverer allerede biomasse til energisystemet, især til brug i fjernvarmekedlen. En tidligere vurdering af skovbrugets biomasse potentiale fandt, at skovbruget potentielt kan levere op imod 790-890 MWh/år [1], hvilket er langt over det simulerede forbrug på 240 MWh/år.

Biomasse fra landbruget bruges pt. ikke i energisystemet, dog er der en del dybstrøelse fra landbruget, som potentielt vil kunne bruges til produktion af biogas, evt. sammen med køkkenaffald. En tidligere analyse [4] fandt, at biogaspotentialet fra dybstrøelsen er tidligere blev fundet til være 206 MWh/år, hvortil der skal bruges ca. 55 MWh el og 14-51 MWh varme om året, hvor biogasanlægget ville være jævnt i drift hele året. Denne analyse viste dog også nogle praktiske udfordringer forbundet med den undersøgte type biogasanlæg, f.eks. ift. at sprede den afgassede gylle, hvorved den mulige implementering af biogas på Livø er usikker. Her i analysen testes dog den mulige energisystem effekt af et biogasanlæg ved forskellige brug af biogassen. Iht. den tidligere analyse af biogasmulighederne antages det, at der etableres et 60 m³ gaslager ved biogasanlægget [4]. Biogasanlægget antages at være tilkoblet fjernvarmenettet, hvorved den nødvendige opvarmning kan leveres af fjernvarmenettet, hvorved flere varmekilder kan bruges.

3.1.2 Fluktuerende energikilder

Der er allerede installeret solceller og vindmølle på Livø. Det forventes, at der teknisk kunne etableres flere vindmøller på Livø. Dog har det ved søgning om tilladelse til opstilling af den nuværende vindmølle vist sig, at de planlægningsmæssige restriktioner, som er på Livø, gør det tvivlsomt, om der kan opstilles flere vindmøller på Livø. Derfor medtages flere vindmøller ikke i basis scenariet for 80% VE, men det testes, hvad effekten af flere vindmøller kan være for energisystemet på Livø.

Der forventes ikke at være en lignende planlægningsmæssig udfordring for etablering af flere solceller, hvorved solceller har en central rolle i analyserne for øget VE-andel på Livø, da solcellerne er en kendt vedvarende energiteknologi, som kan producere el til elnettet på Livø uden brug af brændsler. Dette er især vigtigt, da det i Tabel 3 blev vist, at dieselgeneratorerne er de største forbrugere af fossile brændsler på Livø, og dieselgeneratorerne bruges først og fremmest til at producere el. Den el solcellerne producerer kan ligeledes bruges til at producere fjernvarme via varmepumpe og elkedel. Grænsen for hvor mange solceller, der vil kunne etableres på Livø, kendes ikke, men forventes først og fremmest at være begrænset af potentielle planlægningsmæssige restriktioner. Dette antages bl.a. da en national GIS analyse af det tekniske solcellepotentiale på tagarealer for alle bygninger i Danmark fandt, at alle bygningerne på Livø har op imod 4.270 m² brugbare hustage til solceller inkl. det tagareal som allerede har solceller installeret, som analysen finder svarer til op imod 462 MWh el om året [5]. Denne analyse bygger dog kun på hustagenes hældning og retning ift. solind-

faldet, og derved medtager den ikke potentielle strukturelle begrænsninger af tagene eller planlægningsmæssige restriktioner, derved er dette ikke, hvad der umiddelbart kan implementeres på tagene på Livø, men opgørelsen sandsynliggør, at der er potentiale for langt mere end de eksisterende 215 m² solceller på tagene, især da jordmonterede solceller ikke er med i den nævnte opgørelse. Ligeledes sker der en udvikling af solceller, hvor deres synlighed reduceres, bl.a. ved integration i tag, og ligeledes vil solceller modsat vindmøller lettere kunne skjules i landskabet, uden at det påvirker deres produktion betydeligt. Det antages derved, at der ikke er en betydende øvre teknisk grænse for hvor mange solceller, der på længere sigt kan integreres på Livø.

Ud over solceller forventes det, at forskellige solvarmeteknologier kan integreres på Livø. Dog undersøges disse ikke i dette, da disse enheder kun vil kunne producere fjernvarme, og derved reelt kun erstatte varmeproduktionen fra fjernvarmekedler, og som det ses af Tabel 3, så vil brug af disse blot medføre en reduktion i brug af træ, og derved ikke have en effekt ift. at opnå en øget VE-andel.

Bølgekraft er tidligere fundet uegnet til Livø [6], og denne teknologi undersøges ikke nærmere i dette.

3.1.3 Energibesparende tiltag

Der undersøges effekterne af energibesparelser i det eksisterende elforbrug, varmemeforbrug i bygningerne og reduktion af nettabet i fjernvarmenettet ved reducerede temperaturer. Således ses der bort fra potentielle energibesparelser i transport, madlavning, mm., ud over de reduktioner som kan forekomme ved ændring af teknologi. Der findes ingen oversigt over alle mulige besparelsetiltag på Livø, og fokus her er således først og fremmest at klarlægge den potentielle effekt af de forskellige besparelser på energisystemet.

Varmebesparelser i bygninger

Varmebesparelser i bygningerne kan enten være i form af rumvarmebesparelser eller reduktioner i varmt brugsvand. Det vides ikke hvor stor en andel af det samlede fjernvarmeforbrug an bygning, der går til rumvarme, og hvor meget der går til varmt brugsvand. Da det forventes, at den største del af det varme brugsvand bruges af turisterne, forventes det, at der er bedst mulighed for at påvirke rumvarmebehovet, som kan opnås ved bl.a. at efterisolere ydervægge, installere nye vinduer, intelligent temperaturstyring, osv. Der er tidligere lavet en analyse af mulighederne for energireovering af Avlsgården [7], hvor der blev fundet, at Avlsgårdens energiforbrug kunne reduceres med 67%. Efter denne analyse er taget blevet udskiftet, og Avlsgården er blevet tilsluttet fjernvarmenettet, men der er fortsat et besparelspotentiale i Avlsgården. Der findes ikke liggende opgørelser for de andre bygninger, men det forventes, at der også er potentialer for rumvarmebesparelser i de andre bygninger på Livø. Dog forventes det, at potentialet i bygninger som ikke bruges hele året at være betydeligt lavere, da disse bygninger kun holdes frostfri uden for turistsæsonen. For at undersøge om mulighederne for varmebesparelser bør undersøges nærmere, testes det hvad 10%, 20% og 30% rumvarmebesparelse kan betyde for Livøs energisystem.

Reduktion af tab i fjernvarmenettet

Ud over fjernvarmeforbruget i bygningerne er der også et nettab i fjernvarmenettet, som forventes at kunne blive reduceret. Det nuværende fjernvarmenet har en fremløbstemperatur på ca. 65°C, hvilket allerede er relativt lavt. Dog sker der generelt en udvikling i fjernvarmesystemerne mod endnu lavere temperaturer, det såkaldte 4. generations fjernvarme [8], hvor fremløbstemperaturen er nede på ca. 55°C. En sådan reduktion vil både reducere nettabet i fjernvarmenettet, hvilket her antages at være ca. 3%-point, men også forøge

Varmepumpe enhedens COP, ved at behovet for at booste temperaturen med et elvarmelegeme fjernes. Effekten på Varmepumpe enhedens COP kan ses på Figur 3. Ved implementering af en lavere temperatur i fjernvarmenettet forventes det dog, at der vil skulle investeres i de enkelte bygningers varmesystemer, så disse er klar til en lavere temperatur. Dette skal gøres både for at sikre, at en lavere temperatur fortsat kan opvarme bygningerne tilstrækkeligt, men også sikre, at der ikke dannes Legionella i det varme brugsvand. Det er her ikke undersøgt hvilke tiltag, der potentielt vil skulle udføres.

Elbesparelser

Da det kan ses af Tabel 3, så er det især brugen af dieselgeneratorerne, som kan bibringe en reduktion af olieforbruget, hvorved det er relevant at undersøge hvad besparelser i det eksisterende elforbrug kan betyde for energisystemet på Livø. Reduktionen i elforbruget vil især ske ved indkøb af mere energieffektive teknologier og bedre styring af disses elforbrug. Det vides ikke, hvor meget elforbruget kan reduceres, hvorfor der testes forskellige niveauer effekt på energisystemet. Det antages simpelt, at en besparelse procentvis vil være lige stor i alle timer.

3.1.4 Nye lager- og konverterings-teknologier

For teknologier som allerede er installeret på Livø benyttes data for disse til simuleringerne.

Lagring af el og varme

Vindmøllen og solcellerne producerer ikke nødvendigvis iht. til elforbruget i energisystemet, og for at øge den potentielle udnyttelse af elproduktionen fra disse, så kan en forøgelse af forskellige lagringsmetoder til el være relevant. I disse analyser benyttes kun batterier til lagring af el. Derved ses bort fra f.eks. brint som også vil kunne lagre el. Der ses bl.a. bort fra brint, da cyklusvirkningsgraden på brint forventes at være betydeligt lavere end for et batteri, da et elektrolyseanlæg kan producere ca. 0,6 kWh brint ved brug af 1 kWh el, og for at få det tilbage til el, skal brinten konverteres igen, f.eks. i en brændselscelle med en ca. elvirkningsgrad på f.eks. 50%, hvorved cyklusvirkningsgraden for brint fra el til el er ca. 30% [9,10], og denne cyklusvirkningsgrad er ekskl. energiforbruget som opstår ved lagring af brint, som er i omegnen af 5-16% af den lagrede energimængde [11]. Dette skal ses ift. Batterier, hvor det allerede eksisterende batteri har en cyklusvirkningsgrad for el til el på 72,3%, og andre batteriteknologier, såsom litium-ion, forventes at kunne opnå en cyklusvirkningsgrad over 90% [12].

For lagring af varme tages udgangspunkt i det eksisterende fjernvarmelager på Livø.

Omstilling af Livø II (lastskib)

Som det ses af Tabel 3, så har Livø II (lastskib) det næststørste dieselforbrug på Livø, hvorfor det er vigtigt at se på mulighederne for omstilling af dette. Omstillingen kan enten ske ved en ombygning af det eksisterende lastskib eller ved investering af et nyt lastskib. I dette undersøges el og biogas som mulige løsninger. Som ved ellager ses der bort fra brint, grundet den lave virkningsgrad for produktion og lager af brint. Der vurderes ligeledes heller ikke om noget af brugen af lastskibet vil kunne erstattes af et andet mere brændselseffektivt fartøj.

Ift. eldrift vil der skulle investeres i et lastskib med en batteripakke, og lastskibet vil skulle lades op ved havnen på Livø. Der kendes ingen kommercielt tilgængelige lastskibe af Livø II's størrelse på eldrift, dog udvikles der

flere og flere båd- og skibs-typer til eldrift, hvor bl.a. større færger, lastskibe og bugserbåde er begyndt at blive elektrificeret [13,14,17], og det kan derved forventes, at en omlægning til et eldrevet lastskib kunne være en mulighed for Livø, når teknologien er moden og kommercielt tilgængelig. Den samlede effekt af en omlægning af Livø II (lastskib) til et ny eldrevet lastskib kendes ikke, men generelt har elmotorer dog en bedre virkningsgrad end forbrændingsmotorer, hvorfor det kan forventes, at en omstilling af Livø II til el vil medføre et mindre energiforbrug til lastskibet. Dog kendes ikke effekten af en potentiel øget vægt, som en batteripakke på lastskibet kan have for energiforbruget. Således laves der her en simpel antagelse om, hvad overgangen fra diesel forbrændingsmotor til elmotor med batterier vil betyde for lastskibets energiforbrug. Det antages simpelt, at den øgede virkningsgrad reducerer lastskibets energiforbrug med 50%, hvorved lastskibet går fra et årligt energiforbrug på 148,9 MWh til 74,4 MWh. Dog vil der ved opladningen af lastskibet forventes et energitab. Det antages, at virkningsgraden for opladningen af lastskibet er 90%, hvorved det resulterende elforbrug til opladning af lastskibet antages at være 82,7 MWh/år. Grundet manglen på data er dette dog forbundet med en betydelig usikkerhed, herfor testes også et scenarie, hvor elforbruget inkl. opladning til lastskibet i stedet er lig med det nuværende dieselforbrug. Ved overgang til el er det tidsmæssige aspekt for energiforbruget vigtigt, hvilket er diskuteret i Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater.

Det er også relevant at teste biogas, som en mulighed for brug til Livø II. Det antages, at lastskibets brændselsforbrug vil være det samme ved diesel. For at bruge biogas til lastskibet forventes det, at biogassen først vil skulle opgraderes. Det antages at være tilstrækkeligt med en vandskrubber, som har et elforbrug på ca. 0,04 kWh el pr. kWh biogas [10]. Grundet den konstante produktion af biogas og den store årlige variation i brugen af Livø II (lastskib), som vist i Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater, blev det fundet, at for at sikre biogas til lastskibet hele året, så vil der skulle etableres et gaslager på ca. 18,8 MWh, svarende til lagring af 1.710 Nm³ opgraderet biogas. Alternativt, hvis biogassen først lagres for derefter at blive opgraderet ved udtræk fra lagret, så vil lagret skulle kunne holde 2.936 Nm³ biogas. Dette gaslager skal især bruges til at gemme gassen fra sommerperioden, hvor lastskibet kun bruges lidt til vinterhalvåret, hvor lastskibet bruges betydeligt mere. Biogaspotentialer er 206 MWh/år og biogaslastskibets energiforbrug antages at være 148,9 MWh/år. Denne resterende mængde antages at bruges i en mindre biogasmotor til at bidrage til at dække biogasanlæggets energibehov. Den resterende biogasmængde forventes at kunne bruges til at producere 23 MWh el og 27 MWh fjernvarme.

Omstilling af Køretøjer, maskiner og diverse

Tabel 4 viser hvilke enheder som forbrugte mest diesel og olie i denne kategori i 2018.

[MWh]	Forbrug i 2018
Traktorer	64,9
Minilæsser	16,0
Varmekanon	0,9
Mejetærsker	7,9
Savværk	0,1
Diverse	3,5
Samlet	94

Tabel 4 - Diesel/olie forbrug til køretøjer, maskiner og diverse i 2018

Som det kan ses, så bruges den største mængde af diesel og olie til Køretøjer, maskiner og diverse til traktorerne på Livø. Ligges alle køretøjerne sammen benyttede disse 89 MWh i 2018, og de er derved den største

del af denne kategori. Det er derfor især interessant at undersøge mulighederne for omstilling af disse køretøjer væk fra diesel og olie. Fokus vil her være på traktorer og minilæsser, som står for langt den største del af energiforbruget, hvorved der ses på en omstilling af 81 MWh af dieselforbruget i kategorien. I dette undersøges el og biogas som mulige løsninger. Som ved ellager ses der bort fra brint, grundet den lave virkningsgrad for produktion og lager af brint. Der vurderes ligeledes heller ikke om brændstofforbruget vil kunne blive reduceret ved at bruge mindre køretøjer.

Elektriske minilæssere er allerede kommercielt tilgængelige, hvorimod kommercielt tilgængelige eldrevne traktorer er et forholdsvis nyt udviklingsområde, dog findes der prototyper på traktorer, som er rent eldrevne [15]. Igen som ved omstillingen af Livø II til el, vil der ved overgangen fra diesel/olie til el forventes et reduceret energiforbrug, grundet elmotorenes højere virkningsgrad, og effekten af den øgede vægt som en batteripakke vil have for energiforbruget, kendes ligeledes heller ikke. Forbedringen i virkningsgrad for traktorer underbygges af, at Dansk Energi i 2017 estimerede elektrificeringspotentialerne i Danmark, hvor de antog, at traktorer i landbruget ville kunne gå fra en virkningsgrad på 20% ved brug af fossile brændsler til 80% ved eldrevne traktorer [18]. Dog forholdt Dansk Energi sig ikke yderligere til denne gevinst, og for ikke at overvurdere effekten i denne analyse, så antages det igen simpelt, at den øgede virkningsgrad reducerer energiforbruget med 50%, hvorved energiforbruget for traktorer og minilæsser går fra 80,9 MWh/år til 40,5 MWh/år. Ligeledes antages virkningsgraden for opladning at være 90%, hvorved det resulterende elforbrug til opladning af traktorer og minilæsser antages at være 44,9 MWh/år. De 5 traktorer og minilæsseren antages at have en samlet batteripakke på 650 kWh, baseret på at eksisterende prototyper af eldrevne traktorer har en batterikapacitet på ca. 130 kWh, og en kommercielt tilgængelig minilæsser har en batterikapacitet på ca. 12 kWh. Ved overgang til el er det tidsmæssige aspekt for energiforbruget vigtigt. Dette er diskuteret og vist i Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater. Grundet manglen på data er dette dog forbundet med en vis usikkerhed, hvorfor der også testes et scenarie, hvor elforbruget til traktorer og minilæsser inkl. opladning i stedet er lig med det nuværende dieselforbrug.

Ved test af biogas til køretøjerne antages det, at traktorernes og minilæsserens brændselsforbrug vil være det samme ved diesel. Som ved lastskibet, forventes det, at biogassen først skal opgraderes. Det antages at være tilstrækkeligt med en vandskrubber, som har et elforbrug på ca. 0,04 kWh el pr. kWh biogas [10]. Grundet det forholdsvis konstante årlige forbrug til maskiner, som vist i Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater, blev det fundet, at den oprindeligt tiltænkte gaslagerkapacitet på 60 m³ er tilstrækkelig. Biogaspotentialer er 206 MWh/år og traktorernes og minilæsserens energiforbrug antages at være 81 MWh/år. Denne resterende biogasmængde bruges i en biogasmotor med en elvirkningsgrad på 41% og en varmevirkningsgrad på 47%.

Andre teknologier

Udover at undersøge muligheden for brug af biogas til et lastskib og køretøjer, så er det også oplagt at se på muligheden for at bruge biogassen i en biogasmotor til produktion af el og varme på Livø. Biogasmotoren antages at have en elvirkningsgrad på 41% og en varmevirkningsgrad på 47% [9]. Baseret på tidligere analyser antages biogasmotoren at have en elkapacitet på 25 kW [4].

Der findes forskellige mulige teknologier for udnyttelse af fast biomasse til elproduktion i mindre elsystemer. Det er f.eks. mindre dampturbiner, organisk rankine cycle anlæg og stirlingmotor [16]. Der er flere af disse anlægstyper, som pt. er kommercielt tilgængelige rundt omkring i verdenen, men det er også teknologier,

som der forventes yderligere udvikling inden for [16]. Udfordringen med enhederne er især deres lave elvirkningsgrad, som er nede i omegnen af 3-20%. Grundet den relativt store mængde træ som er tilgængelig på Livø, vil en sådan enhed dog være relevant at undersøge. Tidligere er sterlingmotorer overvejet som en mulig fremtidig teknologi på Livø, og sterlingmotorer forventes også at kunne opnå én af de højeste virkningsgrader af de potentielle teknologier, som benytter fast biomasse til elproduktion. Dog er sterlingmotorer stadig under udvikling, men med nogle demonstrationsmodeller tilgængelig [16]. I dette undersøges effekten af en teknologi til elproduktion ved brug af fast brændsel med en forventet elvirkningsgrad på 20% og en varmevirkningsgrad på 70%, hvorved teknologien reelt kan være en mindre damp turbine eller en stirlingmotor. De mindre damp turbiner er kommercielt tilgængelige, men disse er meget larmende og kræver meget vedligehold [16]. Der testes et anlæg, som har samme brændselskapacitet som den eksisterende trækedel, som vist på Figur 2. Dog vil der potentielt kunne etableres andre størrelser af sådanne enheder. Ligeledes antages det, at enheden kan delaste til 25% af fuldlast, og der ikke er en tidmæssig begrænsning på brugen af træ.

3.2 VE scenarier for Livø

Først præsenteres et basisscenarie for Livø's energisystem, hvor VE-andelen er på 80%. Efterfølgende vises den mulige effekt af andre tiltag. Til slut diskuteres hvilke tiltag som bør ses på for at gå til 100% VE.

3.2.1 Basisscenariet for 80% VE

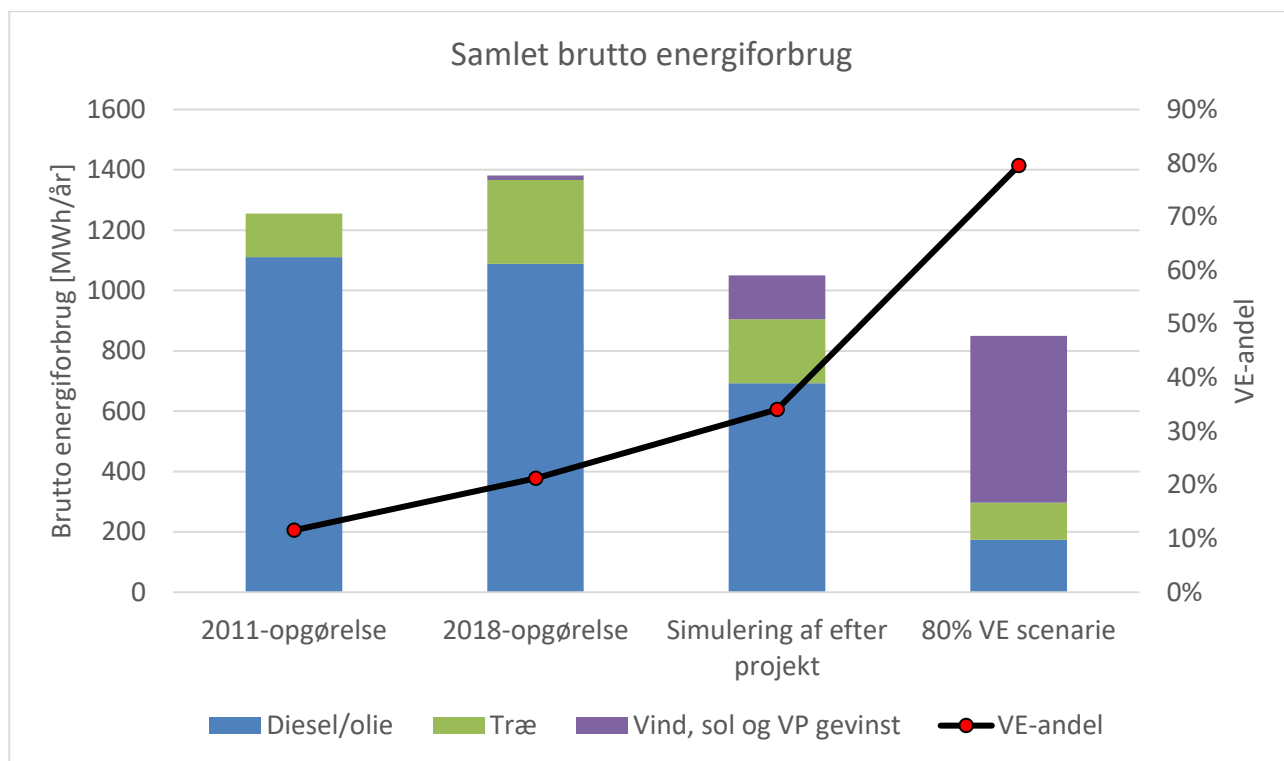
Ift. referencen er følgende tiltag lavet i basisscenariet (ikke prioriteret rækkefølge):

- Fjernelse af kravet om grundlast på dieselgeneratorerne
- Livø II (lastskib) er omlagt til el
- Traktorer og minilæsere er omlagt til el
- Fjernvarmenettets fremløbstemperatur er reduceret til 55°C
- Fordobling af varmepumpekapaciteten
- Solcellekapaciteten er løftet til 833 kW_e med samme produktionsprofil som eksisterende
- Der er installeret sammenlagt 1.350 kWh batterier med en cyklusvirkningsgrad på 90%

Grundet usikkerheder omkring energibesparelspotentialerne, så indeholder basisscenariet ikke nogen energibesparelser. Som det ses, er basisscenariet bygget op omkring en elektrificering af transporten på Livø og lastskibet, hvortil solceller og batterier bruges til at reducere brugen af dieselgeneratorerne, således at VE-andelen holdes på 80%. Solcellerne og batterierne i basisscenariet er en betydelig forøgelse af det pt. allerede installerede på Livø, hvor solcellekapaciteten i basisscenariet er 25 gange større end det allerede installeret, og batterikapaciteten er ca. 34 gange så stor som det eksisterende batteri. Her skal dog nævnes at den fysiske størrelse af disse, ikke nødvendigvis er tilsvarende disse forøgelser. F.eks. er den fysiske størrelse af batteripakken ikke nødvendigvis 34 gange så stor som det eksisterende batteri, da mere energitætte batterityper kan bruges i stedet for det eksisterende vanadium redox flow batteri, som f.eks. litium-ion som er op imod 24 gange så energitæt pr m³ [12]. Ligeledes kan en del af batteripakken i de eldrevne traktorer og minilæsere indgå i den samlede batteripakke, da det forventes, at ikke alle køretøjerne vil være i drift hele tiden, hvorved der forventes at være i omegnen af 300-500 kWh tilkøbt nettet til enhver tid. Ligeledes forventes det, at der løbende bliver udviklet mere effektive solcellepaneler og invertere [9], og den viste solcellekapacitet tager udgangspunkt i de pt. installerede panelers effektivitet. Herudover er det muligt til et vist punkt at nedjustere kapaciteten på enten solcellerne eller batterierne, ved samtidigt at opjustere mere på den anden af de to teknologier. Således vil det fortsat være muligt at opretholde en VE-andel på 80% med

kun 732,6 kW_e solceller, hvis batterikapaciteten løftes til 1.700 kWh, og ligeledes kan batterikapaciteten sænkes til 1.150 kWh hvis solcellekapaciteten løftes til 932,4 kW_e. Den præcise fordeling imellem disse vil afhænge af de teknisk muligheder og omkostningerne forbundet med disse enheder.

Figur 8 viser det samlede brutto energiforbrug på Livø ved de to historiske opgørelser og de to simuleringer af fremtidige energisystemer.



Figur 8 – Samlet brutto energiforbrug på Livø ved de forskellige opgørelser og de to fremtidige simuleringer

Af fysiske brændsler bruges der i basis 80% VE scenariet, vist på Figur 8, 120 MWh/år træ, 163 MWh/år diesel/olie og 11 MWh/år flaskegas, svarende til ca. 97 rummeter træ, 16.360 liter diesel/olie og 825 kg flaskegas. Det resterende største forbrug af diesel er i dieselgeneratorerne, som bruger 150 MWh/år diesel.

3.2.2 Effekter af andre tiltag i basisscenariet

Basisscenariet skal ikke ses som den eneste mulighed for at opnå 80% VE på Livø, hvorfor det er testet, hvad forskellige variationer af basisscenariet kan betyde ift. reduktion af andre kapaciteter i energisystemet. Dette er gjort ved at implementere enkelte tiltag for sig, og justere på eksisterende kapaciteter i basisscenariet for at opretholde en VE-andel på 80%. Grundet de høje kapaciteter af solceller og batterier, justeres først og fremmest i disse kapaciteter. Tabel 5 viser de udvalgte ændringer og hvad deres introduktion f.eks. kan betyde for kapaciteten af solceller og batterier for at opretholde en samlet VE-andel på 80%. Effekterne af de individuelle ændringer kan ikke nødvendigvis ligges sammen.

Ændring af energisystemet	Mulige ændringer i andre dele af energisystemet		
	Solceller	Batterier	Andre relevante effekter
Fluktuerende energikilder			
1 mere 25 kW vindmølle	-333 kW _e	-250 kWh	
Energibesparende tiltag			
10% elbesparelser	-67 kW _e	-150 kWh	
20% elbesparelser	-133 kW _e	-225 kWh	
30% elbesparelser	-200 kW _e	-250 kWh	
10% varmebesparelser	+67 kW _e	-50 kWh	-25 MWh træ, -11 MWh diesel
10% elbesparelser og varmebesparelser	-	-50 kWh	-17 MWh træ, -16 MWh diesel
Ingen reduktion af tab i fjernvarmenettet	+67 kW _e	+0 kWh	
Nye teknologier til Livø			
Livø II (lastskib) på biogas	-433 kW _e	-550 kWh	
Livø II (lastskib) - højt elforbrug	+400 kW _e	+1,1 MWh	
Livø II (lastskib) - højt elforbrug + 1 mere 25 KW vindmølle	+133 kW _e	+50 kWh	
Traktorer og minilæser på biogas	-500 kW _e	-550 kWh	
Traktorer og minilæser elforbrug på 81 MWh	+167 kW _e	+350 kWh	
Biogas kraftvarmemotor	-200 kW _e	-350 kWh	
Kraftvarme baseret på fast biomasse	-533 kW _e	-950 kWh	+288 MWh træ
Batterier med 72,3% cyklusvirkningsgrad	+100 kW _e	-0 kWh	
Ingen ekstra varmepumpe	+33 kW _e	-0 kWh	

Tabel 5 – Oversigt over mulige ændringer af basisscenariet for 80% VE og mulige tilhørende effekter på sparede kapaciteter andet steds i energisystemet.

Det ses af Tabel 5, at især kraftvarme baseret på afbrænding af fast biomasse, 1 mere vindmølle og brug af biogas til transport kan reducere behovet for solceller og batterier betydeligt. Biogas er især interessant til brug til transport på Livø sammen med en biogasmotor til el- og fjernvarmeproduktion. Ligeledes kan reduktioner i det eksisterende elforbrug give besparelser på solcelle- og batteri-kapaciteterne.

Det ses også af Tabel 5, at varmebesparelser i bygningerne ikke bidrager til en øget VE-andel i systemet. Dette skyldes, at varmebesparelser i bygningerne først og fremmest reducerer brugen af trækedlen, hvorved der godt nok også er en mindre besparelse i dieselforbruget, men denne opvejes af den større reduktion i forbruget af træ. En 10% varmebesparelse reducerer brutto energiforbruget med 41 MWh ift. udgangspunktet. Der er derved ikke fundet behov for at introducere rumvarmebesparelser i det eksisterende byggeri for at kunne opnå en VE-andel på 80%, men der kan dog være andre forhold, såsom bedre indeklima, reduktion af træforbruget til opvarmning, mindre potentiel brug af oliekedel i ekstremt kolde perioder og tiltag som er nødvendige for at kunne reducere temperaturen i fjernvarmenettet, som kan tale for fortsat at overveje varmesparende tiltag i bygningerne.

Udover de i Tabel 5 viste ændringer er der også blevet testet en fordobling af det eksisterende fjernvarmelager og en fordobling af eksisterende elkedel. Disse ændringer havde dog ingen synlig effekt på resultatet af simuleringerne, hvorved de ikke er nødvendige for at opnå 80% VE. Dog kan hensyn til den daglige drift begrunde deres inklusion i et fremtidigt energisystem på Livø.

3.2.3 Tidsmæssig integration af tiltag

Ud fra Tabel 5 og resultaterne i Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater kan tiltagene kategoriseres ift. hvornår det vil forventes fordelagtigt at integrere disse. Tiltagene opdeles i kortsigtet, mellemsigtet og langsigtet, samt tiltag som bør gøres løbende. Der sættes ikke konkret tidsperiode på, da mange af tiltagene vil afhænge af den teknologiske udvikling i det omliggende samfund, hvor teknologier som er mere spekulative, sættes som langsigtede tiltag.

Løbende tiltag:

- Arbejd med at identificere og implementere besparelser på det eksisterende elforbrug.
- Ved udskiftning af traktorer, minilæser og andet maskineri på Livø som pt. benytter diesel/olie bør det undersøges, om der er et kommercielt tilgængeligt alternativ drevet på el, som kan benyttes.
- Når bygninger renoveres, så bør deres varmesystem også opgraderes, så de kan klare sig med lavere temperaturer i fjernvarmenettet.

Kortsigtet:

- Identificer de teknologiske muligheder for at nedbringe behovet for at drive dieselgeneratorerne i hver time. På kort sigt kunne dette være en mindre generator, som vil kunne gå længere ned i kapacitet evt. i samspil med et svinghjul. På sigt kunne det være biogas motor eller fast biomasse til kraftvarmeproduktion, eller brug af hurtigt reagerende batterier og andre ellagrings-teknologier.

Mellemsigtet:

- Implementer solceller i takt med, at behovet for at drive dieselgeneratorerne i hver time reduceres og elforbruget til transport stiger. Solcellerne kan med fordel installeres på hustage, når disse skal renoveres. Højt effektive batterier bør implementeres sammen med solcellerne.
- Afgør om mere vindkraft kan indgå i energisystemet på Livø, da dette kan reducere behovet for solceller og batterier, da der med vind produceres el på andre tidspunkter end med sol.

Langsigtet:

- Når teknologien er kommercielt tilgængelig, bør det undersøges om lastskibet kan overgå til eldrift eller om et nyt eldrevet lastskib kan anskaffes. Dette er forudsat, at det eldrevne lastskib medfører en betydelig reduktion i energiforbruget til lastskibet.
- Når alle bygninger kan nøjes med en lavere fremløbstemperatur, bør fremløbstemperaturen i fjernvarmenettet sænkes. Dette reducerer både nettabet, men øger også virkningsgraden af varmepumperne.
- Fordobling af varmepumpekapaciteten til at styrke sammenspillet mellem el og fjernvarmen.

3.2.4 Diskussion for overgang til 100% VE på Livø

For at overgå til 100% VE bør fokus fortsat være på elforsyningen på Livø, da dieselgeneratorerne ved 80% VE må forventes fortsat at være den største forbruger af fossile brændsler. Solceller og batterier kan her være en del af løsningen, men det forventes ikke realistisk helt at fjerne dieselgeneratorernes produktion ved brug kun af solceller og batterier, hvorved andre teknologier, såsom vindmøller muligvis i samspil med fastbrændselskraftvarme eller potentielt biogaskraftvarme vil kunne være en mulighed for helt at undgå

dieselgeneratorerne, især i sammenhæng med generelle elbesparelser. Alternativt kan dieselgeneratorerne overgå til biodiesel generatorer, hvor biodieslen dog sandsynligvis vil skulle importeres fra fastlandet, da det er usikkert, om det vil være rentabelt at have et mindre anlæg på Livø, som vil kunne producere den relativt lille mængde biodiesel af en kvalitet, som er tiltrækkelig høj, til at den vil være relevant for udnyttelse i generatorer på Livø.

Ud over elforsyningen er der også fortsat nogle mindre energiforbrug, som skal overgå til vedvarende kilder. Det resterende dieselforbrug på Livø går til mejetærsker, varmekanon, savværk og diverse. Disse enheder bør også overgå til anden energiforbrug, hvilket f.eks. kunne være eldrift hvor muligt. Det må forventes, at der ligesom ved traktorer kan ske en udvikling inden for eldrevne mejetærskere.

Flaskegas bruges især til madlavning på Livø, og her kunne det undersøges om elnettet på Livø vil kunne håndtere at ovne, mm. overgik til el. Alternativt kunne der i stedet for naturgas købes flaskegas, som er baseret på biogas fra fastlandet.

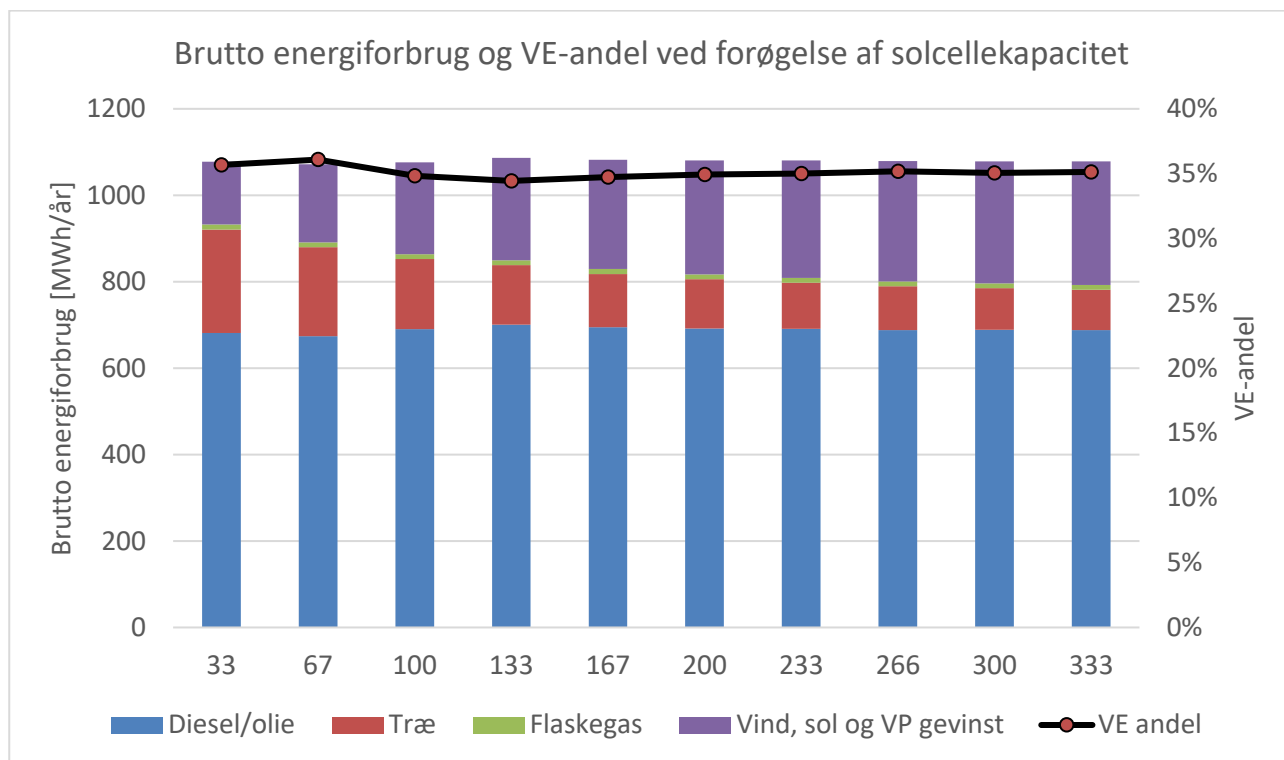
4 Referencer

- [1] COWI. Rådgivning i forbindelse med forprojektering omhandlende energianalyse og-forsyning på Livø - Fase 2: Kortlægning af energi-og stofstrømme. 2011.
- [2] EMD International A/S. energyPRO n.d. <https://www.emd.dk/energypro/> (accessed July 2, 2019).
- [3] Energistyrelsen. Teknologikataloger n.d. <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger> (accessed July 5, 2019).
- [4] COWI. Livø – Første Implementering af Energiforsyningsløsninger - Aktivitet 1 - Detailstudie i Relation til Biogasanlæg. Aarhus: 2012.
- [5] Möller B, Nielsen S, Sperling K. Photovoltaic potential in Denmark 2019. http://maps.plan.aau.dk/maps/DK_PV.php (accessed July 5, 2019).
- [6] COWI. Rådgivning i forbindelse med forprojektering omhandlende energianalyse og -forsyning på Livø - Fase 1 - Idékatalog. Kongens Lyngby: 2011.
- [7] COWI. Livø – Første Implementering af Energiforsyningsløsninger - Aktivitet 4 - Energirenovering af Stuehus. Kongens Lyngby: 2013.
- [8] Lund H, Østergaard PA, Chang M, Werner S, Svendsen S, Sorknæs P, et al. The status of 4th generation district heating: Research and results. *Energy* 2018;164:147–59. doi:10.1016/J.ENERGY.2018.08.206.
- [9] Energinet, Energistyrelsen. Technology Data for Energy Plants for Electricity and District heating generation. København: 2019.
- [10] Energistyrelsen, Energinet. Technology Data for Renewable Fuels. København: 2019.
- [11] DTU Energy. Technology Data for Hydrogen Technologies. 2016.
- [12] Energistyrelsen. Technology Data for Energy storage. København: 2019.
- [13] E-ferry n.d. <http://e-ferryproject.eu/> (accessed July 2, 2019).
- [14] Radio New Zealand. World first: Ports of Auckland to add electric tugboat to its fleet | RNZ News. Radio New Zeal 2019. <https://www.rnz.co.nz/news/national/395942/world-first-ports-of-auckland-to-add-electric-tugboat-to-its-fleet> (accessed August 6, 2019).
- [15] John Deere. SIMA awards for innovation 2017. <https://www.deere.co.uk/en/our-company/news-and-media/press-releases/2017/feb/sima-awards-for-innovation.html> (accessed July 4, 2019).
- [16] Padinger R, Aigenbauer S, Schmidl C. Best practise report on decentralized biomass fired CHP plants and status of biomass fired small-and micro scale CHP technologies. 2019.
- [17] Smil V. Electric Container Ships Are Stuck on the Horizon. *IEEE Spectr* 2019. <https://spectrum.ieee.org/transportation/marine/electric-container-ships-are-stuck-on-the-horizon> (accessed July 2, 2019).
- [18] Stryg M, Capion K. Elektrificeringspotentialer og bidrag til klimamål. 2017.

5 Bilag – Detaljerede energisystemanalyse resultater

5.1 Øget brug af solceller i eksisterende energisystemet

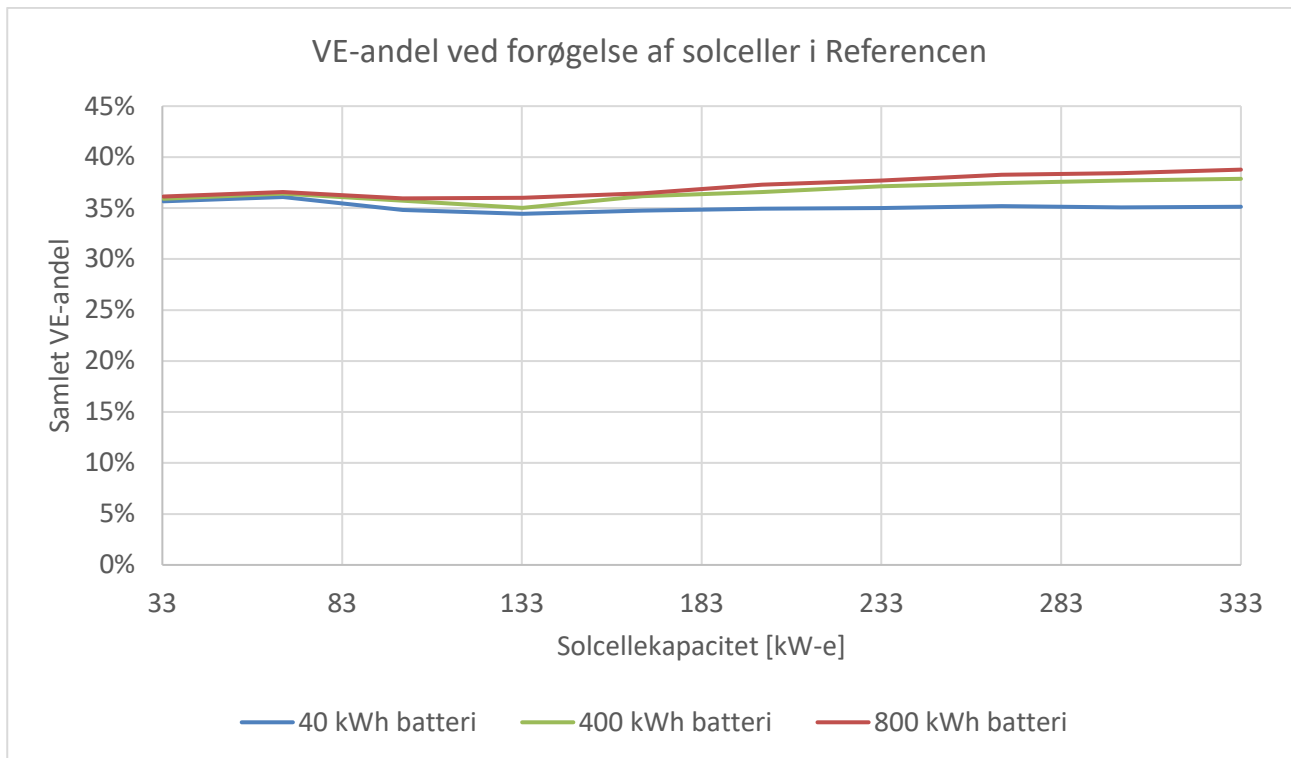
Det testes hvilken effekt en forøgelse af solcellekapaciteten fra de eksisterende 33,3 kW_e vil have på Reference systemet. Dette vises på Figur 9.



Figur 9 – Brutto energiforbrug og VE-andel ved forøgelse af solcellekapaciteten i Referencen

Som det ses af Figur 9, så resulterer en øget kapacitet af solceller i en stort set uændret VE-andel. Dette er fordi, at det især er mængden af træ til trækedlen i fjernvarmesystemet, som via Varmepumpe enheden og elkedlen, erstattes af solcellernes elproduktion. Ligeledes erstattes vindmøllens elproduktion for at gøre plads til den øgede mængde el fra solcellerne i energisystemet.

Forøgelsen vist i Figur 9 er baseret på en fortsat 40 kWh batteripakke, hvor kapaciteten til og fra dog antages øget med mængden af solceller. Figur 10 viser VE-andelen med forøgelse af solcellekapaciteten ved tre forskellige batteri kapaciteter.

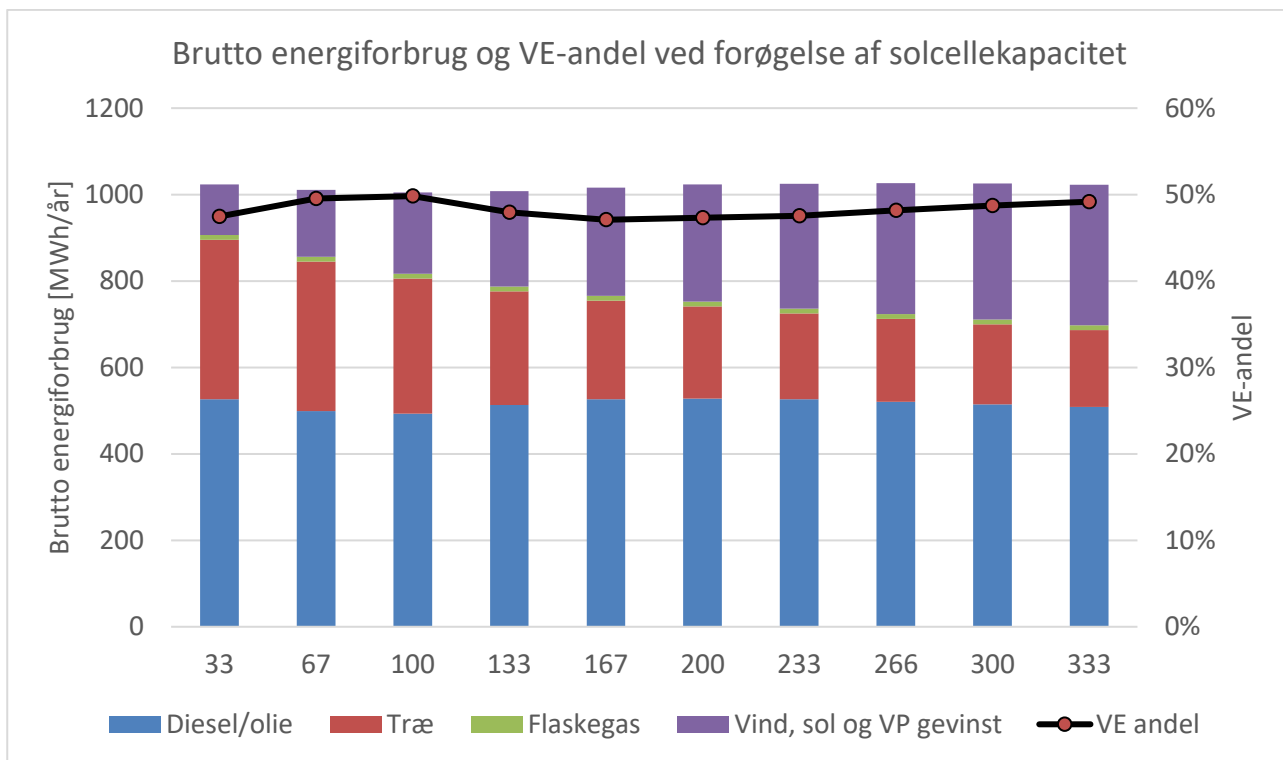


Figur 10 – VE-andel ved forøgelse af solcellekapaciteten ved forskellige batteristørrelser i Referencen

Det ses af Figur 10, at selv med betydelig forøgelse af batterikapaciteten så øges VE-andelen ikke betydeligt ved forøgelse af solcellekapaciteten. Dette skyldes først og fremmest, at strømmen fra solcellerne ikke kan erstatte den påkrævede grundlast på dieselgeneratorerne i simuleringerne, hvorved det kun er perioder, hvor dieselgeneratorerne lastes op, at solcellerne kan reducere brugen af dieselgeneratorerne.

5.2 Dieselgeneratorers grundlasts effekt på energisystemet

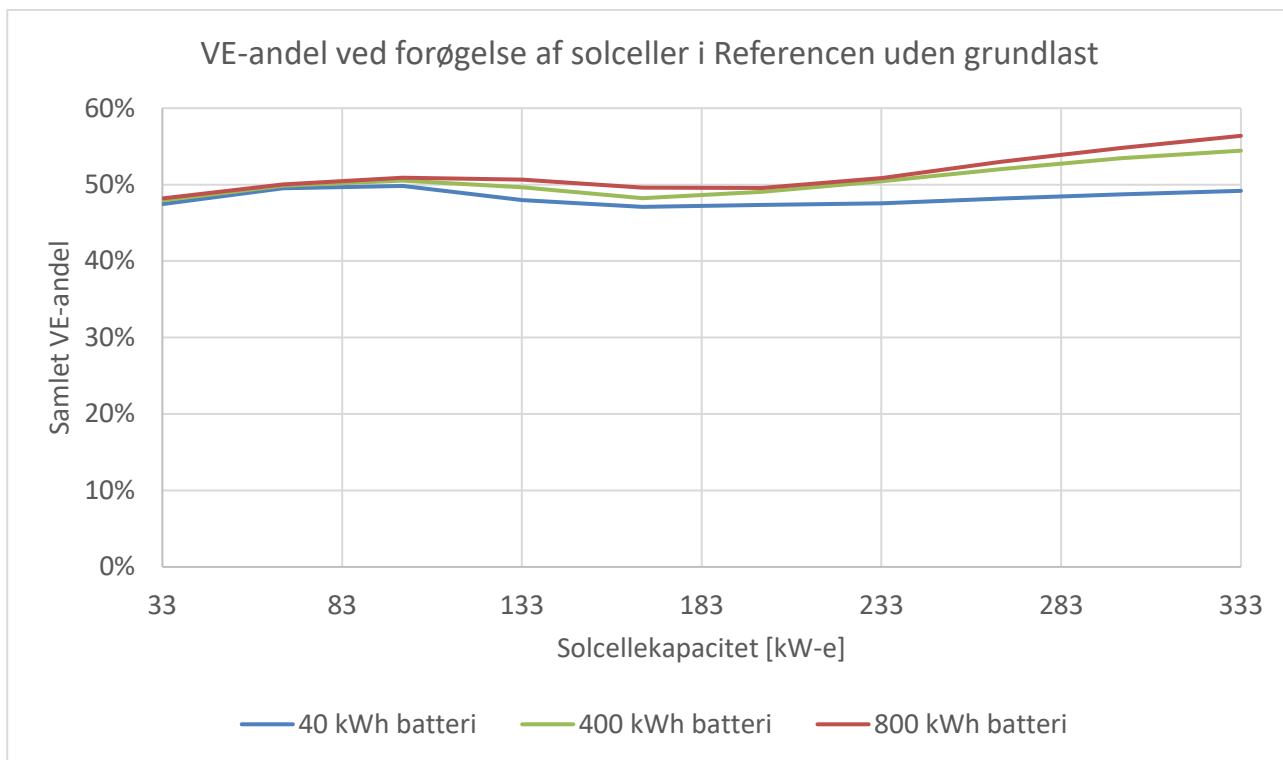
Som beskrevet tidligere, så er grundlasten på dieselgeneratorerne det største forbrug af fossile brændsler i Referencen. Grundlasten er nødvendig for at sikre, at dieselgeneratorerne kan balancere elnettet på Livø. Dog kunne andre teknologier, såsom hurtigt reagerende batterier, svinghjul, mm., muligvis reducere eller helt fjerne dette behov, eller fremtidige generatorer kunne muligvis klare endnu lavere laster. Derfor er det relevant at teste, hvad effekten ville være for energisystemet, hvis denne grundlast ikke længere ville være nødvendigt for at sikre elnettets stabilitet. Der laves heri ikke en vurdering af hvilke komponenter og styring, som vil være nødvendig for en sådan omlægning, men det undersøges hvor vigtigt en sådan potentiel ændring ville være for omstillingen til øget VE-andel på Livø. Derfor fjernes grundlast kravet fra Referencen modellen, og der laves samme analyse som vist på Figur 9. Figur 11 viser således brutto energiforbruget og den resulterende VE-andel ved forskellige kapaciteter af solceller på Livø, hvor kravet om grundlast på dieselgeneratorerne fjernes.



Figur 11 - Brutto energiforbrug og VE-andel ved forøgelse af solcellekapaciteten i Referencen uden grundlast kravet

Som det ses i Figur 11, så blot at fjerne behovet for en mindstelast på dieselgeneratorerne i hver time øger VE-andelen i Referencen fra 36% til 47%. Denne forøgelse skyldes først og fremmest en øget brug af trækedel, som går fra at forbruge 212 GWh til at forbruge 342 GWh. Den øgede brug af trækedlen skyldes, at dieselgeneratorerne leverer mindre direkte overskudsvarme fra elproduktionen, men også at der kommer mindre overskydende el ind i systemet, hvorved Varmepumpe enheden og elkedlen drives mindre, hvilket erstattes af trækedlen. Det vil dog være muligt at erstatte en stor del af trækedlens drift ved at drive Varmepumpe enheden med dieselgeneratorerne i stedet for trækedlen, men denne løsning vil resultere i en lavere VE-andel. Det ses ligeledes af Figur 11, at ved en øget solcellekapacitet så reduceres brugen af trækedlen, hvilket især skyldes en øget brug af Varmepumpe enheden og elkedlen til fjernvarmeproduktion.

Figur 12 viser den resulterende VE-andel ved forskellige solcellekapaciteter og batterikapaciteter, i scenariet hvor grundlast kravet for dieselgeneratorerne er fjernet fra Referencen.



Figur 12 - VE-andel ved forøgelse af solcellekapaciteten ved forskellige batteristørrelser i Referencen uden grundlast kravet

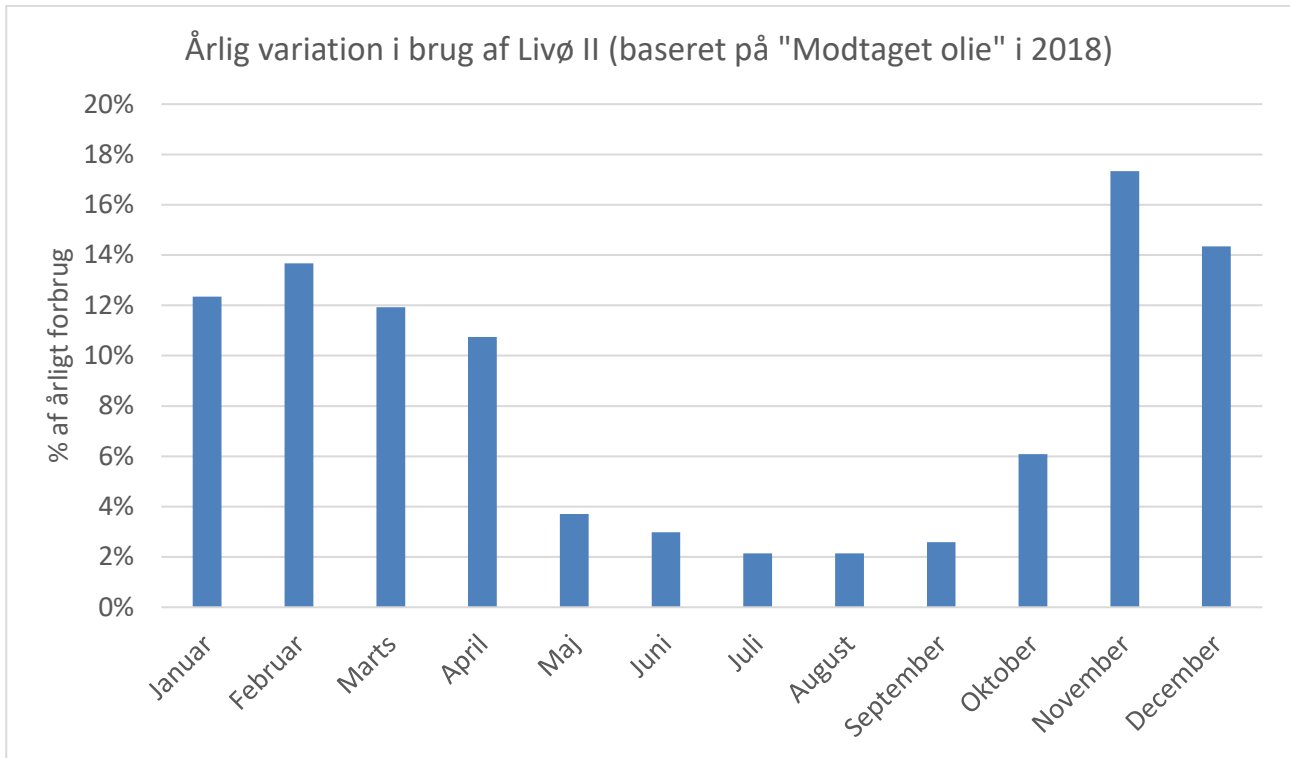
Som det ses af Figur 12, så kan en øget batterikapacitet yderligere øge VE-andelen, så den samlede VE-andel i energisystemet med forøgelse af solceller og batterikapaciteten kan resultere i en samlet VE-andel på Livø på 56%, som trækkes op af el- og fjernvarmesystemet, som i dette tilfælde vil have en VE-andel på 75%.

Det kan således konkluderes, at et vigtigt skridt for omstillingen til øget VE-andel på Livø bl.a. kan gøres ved investeringer og tiltag, som gør, at elnettets stabilitet kan sikres uden, at mindst én dieselgenerator er i drift i hver time. Alternativt bør denne grundlast leveres af en elproducerende enhed, som drives af et brændsel, som er baseret på vedvarende energi, såsom biogas eller fast biobrændsel.

Ligeledes kan det konkluderes, at selv med en tidobling af eksisterende solcellekapacitet, så kan målet om 80% VE-andel ikke nås uden andre tiltag.

5.3 Omstilling af Livø II (lastskib)

Ved overgangen fra brændselsforbrug til el eller biogas bliver det vigtigt at kvalificere, hvornår der er et energibehov til Livø II. Der findes ingen detaljerede opgørelser herfor, hvorfor der tages udgangspunkt i opgørelsen for hvornår dieseltanken til Livø II på land modtager diesel. Ud fra antagelsen at lagret først fyldes, når det er næsten tomt, kan der findes en årlig variation for brugen af Livø II. Resultatet heraf vises på Figur 13.



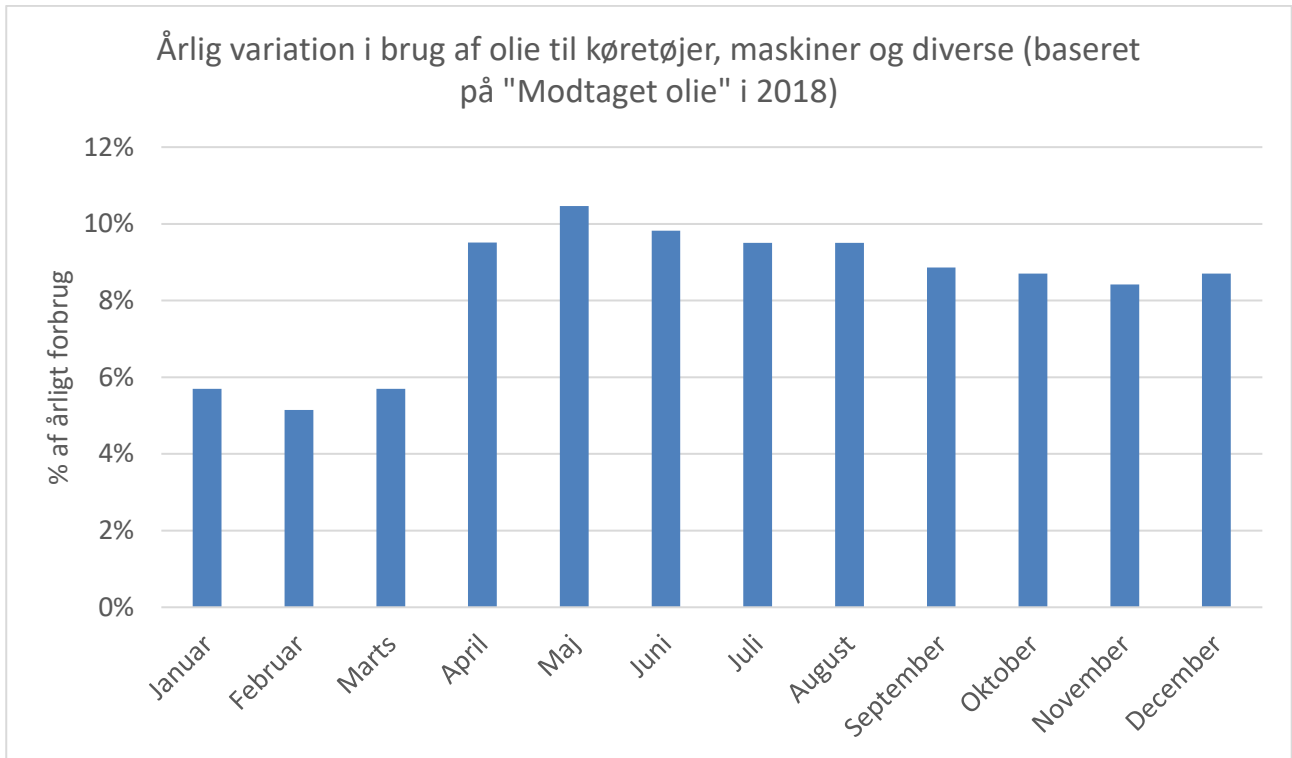
Figur 13 – Antaget årlig variation i brug af Livø II baseret på olie leveret til Livø II's tank på land i 2018

Som det ses på Figur 13, så vurderes det, at Livø II især bruges i vintermånederne, hvilket passer overens med at passagerfærgerne er aktive i sommerhalvåret, og det må forventes, at driften af denne reducerer behovet for at bruge Livø II, hvilket passer godt overens med den fundne årlige variation. Passagerfærgerne indgår ikke i disse analyser.

Det vil naturligt afhænge af det daglige behov hvornår og hvor meget Livø II benyttes, men grundet manglende data herpå, så antages det simpelt i simuleringerne, at Livø II benyttes i perioderne 7:00-9:00, 11:00-12:00 samt 15:00-17:00, hvorved der lastskibets batteripakke aflades i disse perioder, og Livø II ikke er tilgængelig for opladning i disse perioder. Ved brug af den årlige variation og en antagelse om at Livø II ikke er tilgængelig for opladning i 5 timer hver dag, og at lastskibet forbruger energi jævnt, når den ikke er tilsluttet, så findes en årlig peak for ladning af Livø II på 25,1 kW_e, hvilket sker i november.

5.4 Omstilling af køretøjer, maskiner og diverse

Som ved omstilling af Livø II til el eller biogas er det vigtigt at forholde sig til den tidsmæssige brug af energi. De faktiske forbrugsprofiler kendes ikke, hvorved der igen bruges fyldningen af de tilhørende dieseltanke til at fordele forbruget over året, hvilket vises på Figur 14.



Figur 14 - Antaget årlig variation i energiforbrug baseret på diesel og olie leveret til tanke der bruges til køretøjer, maskiner og diverse i 2018

Det vil naturligt afhænge af det daglige behov hvornår og hvor meget de forskellige traktorer og minilæseren benyttes, men det antages, at ikke alle traktorerne og minilæseren er i brug hele tiden, men der findes ikke detaljerede data herpå. Det antages simpelt i simuleringerne af energisystemet at 1/3 af den samlede batteripakke ikke er tilgængelig for opladning mellem 7:00-19:00, svarende til at der gennemsnitligt er ca. to af traktorerne og/eller minilæseren som løbende er i brug i den periode.