

NOTAT – BYDEL NORD

KUNDE / PROSJEKT Lillehammer Kommune Mulighetsstudie klimanøytral bydel Nord	PROSJEKTLEDER Hans Kristian Ryttersveen	DATO 08.05.2017 Revision 04.10.2017
PROSJEKTNUMMER 28892001	OPPRETTET AV Usman Ijaz Dar KVALITETSSIKRET AV Agnar Birkeland Elin Talhaug Skjerven	

Mulighetsstudie klimanøytral Bydel Nord: Vurdering av energiforsyning til bydel Nord Lillehammer kommune

Sammendrag

Foranalysen viser at det er fullt mulig å oppnå ambisjon om klimanøytralitet på bydelsnivå når det gjelder energibruk i driftsfase. Foranalysen viser at en tilnærming hvor man setter strengere krav til energieffektivitet for bygningskropp tilsvarende passivhus, samt energieffektive tekniske installasjoner og brukerstyr, så er det mulig å redusere energibehovet til et forsvarlig lavt nivå. På et slikt nivå vil et godt samspill mellom bygninger og valg av riktige energiløsninger føre til en klimanøytral bydel.

Sammenfattet vil alle de anbefalte energiltakene i bydel nord i Lillehammer føre til et årlig behov på ca. 27 GWh varme, 2,7 GWh kjøling og 18,7 GWh elektrisitet. Det er en reduksjon på ca 14,7 GWh i forhold til TEK10 standard. Ved å dekke alle tak på bygninger i området med solcellepaneler, vil solpanelene kunne forsyne ca. 14,5 GWh av årlig elektrisitetsbruk. Det vil si at solcellene vil kunne dekke ca. 80% av årlig elektrisitetsforbruk for området (unntatt elbiler). Det vil derfor være viktig å se på valg av varme- og kjøleforsyning og finne alternative klimanøytrale energiløsninger for elektrisitet.

Det er vurdert fem ulike alternative energiløsninger i forstudien inkludert fjernvarme. Vurderingen viser at valg av energiforsyningsalternativer har ulik påvirkning på resultat når det gjelder balansen for levert energi, elektrisitet og klimagassutslipp i driftsfasen for bydel nord.

Energiforsyning med bio-basert fjernvarme (Eidsiva fjernvarme), og tak-monterte solceller i bydel nord fører til at bydelen benytter all elektrisitetsproduksjon fra solcelleanlegg til å dekke direkte elektriske laster. Bydelen vil fremdeles ha et årlig underskudd på elektrisitet på ca. 5,4 GWh som må suppleres med ekstern leveranse fra strømmettet. Alternativet fører til et totalt klimagassutslipp på 1300 tonn CO₂ for stasjonærenergi for bydel nord.

Energiforsyning med varmepumpe løsning hvor man benytter fjernvarme som spisslast og tak-monterte solceller fører til økning i elektrisitetsbruk i området, slik at bydelen vil ha et årlig underskudd på elektrisitet på ca 11,2 GWh (væske-vann VP) til 13,4 GWh (luft-vann VP). Det kommer fram av analysen at ved valg av varmepumpe-løsning i området er det svært viktig å

fokusere på høy-effektive væske-vann varmpumper/kjølemaskiner framfor luft-vann varmpumper/kjølemaskiner. Løsningen med luft-vann varmpumpe gir indirekte utslipp på ca 1900 tonn CO₂ mens med væske-vann varmpumpe ligger resultatet på ca. 1540 tonn CO₂.

Energiforsyning med CHP-systemer viser seg å være den mest attraktive løsningen når det gjelder elektrisitetsbalanse og totale klimagassutslipp. Flis-basert CHP i kombinasjon med tak-monterte solceller vil kunne produsere ca. 3,5 GWh mer elektrisitet enn bydelen har behov for når det gjelder stasjonær energibruk i bygninger. Alternativet kompenserer ca 200 tonn mer CO₂ i klimagassutslipp enn stasjonær energibruk står ansvarlig for.

På samme måte produserer biogass-basert CHP i kombinasjon med tak-monterte solceller ca. 12,8 GWh mer elektrisitet enn bydelen har behov for når det gjelder stasjonær energibruk i bygninger. Men siden biogass har høyere utslippsfaktorer enn biomasse vil dette alternativet føre til total klimagassutslipp på ca. 215 tonn CO₂.

Vurderingen viser at energiforsyning basert på kogenereringsmaskiner (CHP) som benytter enten treflis eller biogass som drivstoff gir beste resultat når det gjelder totale klimagassutslipp. Løsningen sikrer leveranse av fornybar varme til bydel nord og i tillegg produseres elektrisitet som bi-produkt. Produksjon av elektrisitet fra CHP vil sørge for at elbehovene i området dekkes innenfor områdegrensen. Analysen viser at valg av løsning 5 kan være så gunstig at den kan dekke elektrisk behov for både bygningene og evt. elbiler og fremdeles ha overskuddsproduksjon. Alternativet fører til klimanøytral bydel når det gjelder stasjonær energibruk til bygninger og vil kunne redusere klimafotavtrykk tilknyttet transport.

Siden bydelen allerede ligger innenfor konsesjonsområde for Eidsiva fjernvarme, må det etableres et samarbeid med de på dette området. Det er også viktig å se på muligheter rundt bruk av biogass som en del av sirkulærøkonomi og i sammenheng med bio-avfall og slamhåndtering for området. Andre muligheter er å se på treflis som en verdiskapning i et område som har tilgang til store skogressurser.

Det er også behov for at man kommer videre med andre spørsmål tilknyttet eksport av elektrisitet og import fra sentralproduksjon eller lokale energiløsninger. Et sentralt spørsmål vil bli hvordan dette skal håndteres innenfor dagens regelverk eller om det eventuelt må gjøres tilpasninger for å nå ambisjonen om en nullutslippsbydel. Det er også naturlig å se for seg at det vil stilles flere spørsmål omkring tema som effektregulering, effektutjevning, fleksible og ikke-fleksible laster og sesonglagring av energi.

Innledning

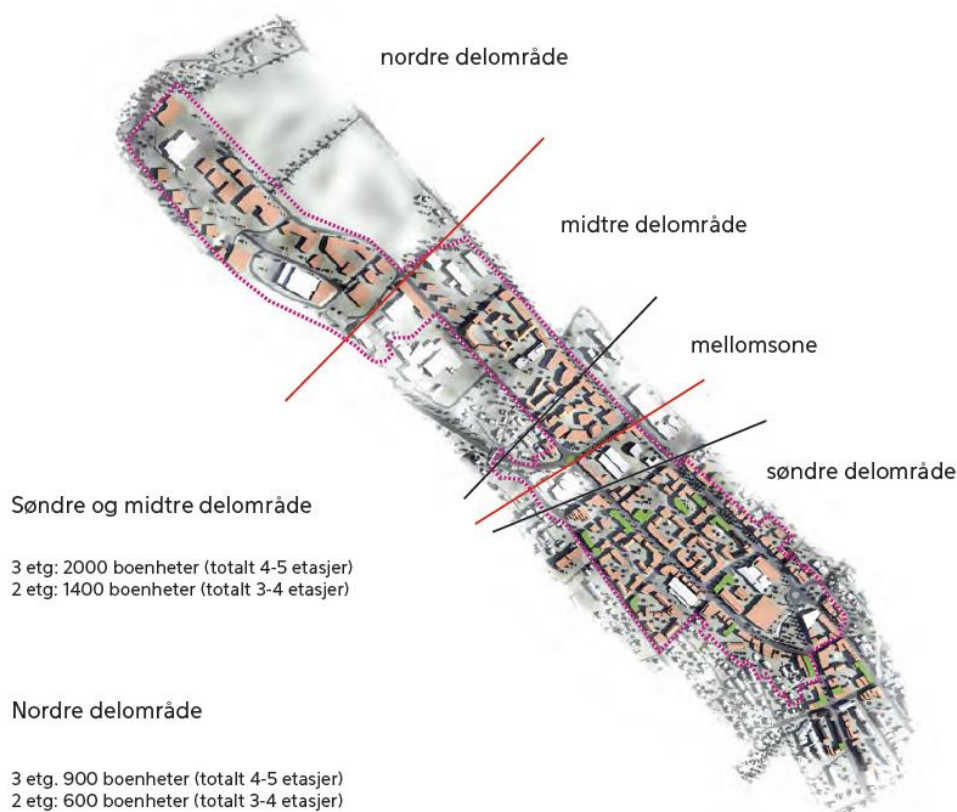
Sweco Norge har fått i oppdrag å utrede muligheter for å oppnå klimanøytral bydel nord i Lillehammer kommune. En viktig del av å oppnå klimanøytralitet i bydel nord inkluderer å velge de riktige klimavennlige energiløsningene. Dette notatet omhandler fremvisning av klimagassregnskap for de ulike energiløsninger og mulige tiltak relatert til energiforsyning som kan bidra til å oppnå klimanøytralitet på bydelsnivå.

Prosjektpremisser

I denne forbindelse har Rambøll tidligere utført mulighetsstudie (Rambøll, 2014) rundt felles bo- og næringsarealer. Det er hentet data for eksisterende og ny bygningsmasse basert på anbefalinger fra Rambøll sin forstudie. Tabell 1 nedenfor gir en kort oversikt over inndata som er brukt videre i prosjektet.

Tabell 1: Arealer for bolig og næring i bydel nord Lillehammer kommune

LILLEHAMMER BYDEL NORD					
Post			Antall	Bruksareal	Takareal
			boenheter	oppvarmet	
			[-]	[m ²]	[m ²]
NYE	Boareal	Søndre	2000	200000	
		mellomsone	160	16000	
		Nordre	900	90000	
	NÆRING	Søndre		60 000	
		mellomsone		15 000	
		Nordre		25 000	
	sub-total		3060	406000	100 000
Eksisterende	Boareal	Verksted	34	3415	
		Forretning		10469	
		industribygg		20200	
				13280	
	sub-total		34	47364	15788
Total			3094	453364	115 788



Beskrivelse av energibehov for bygningsmasse

Termisk energibehov

Det er arbeidet med å komme fram til sannsynlige energibehov for området ved å basere seg på forelagte kvaliteter på bygningskropp og bygningstekniske installasjoner og elektrisk utstyr. For de termiske behovene er det tatt utgangspunkt i at bygningsmassen vil ha varmetap tilsvarende dagens passivhusstandard (NS3700:2013 for boliger og NS3701:2012 for yrkesbygg) for ny bygningsmasse, mens det er antatt et varmetapstall tilsvarende 2,0 og 1,5 [W/K] for eksisterende bolig og næring/kontor arealer. For dimensjonering av varmtvannsbehov er det brukt en del erfaringstall og forskning fra utlandet. For øvrig er det igangsatt forskning på dette i regi av SINTEF og Fjernvarmeforeningen m.fl. I denne utredningen er det benyttet et gjennomsnittlig varmtvannsforbruk på ca. 55 [l/person/døgn] på 45°C i tråd med andre studier (Knight, 2007). Videre må det etterstrebtes å redusere varmtvannsforbruket ved å benytte sparehoder til dusj og bruk av varmegjenvinning fra gråvann hvor dette er mulig. I denne studiet er disse muligheter blitt ikke sett nærmere på.

Siden hovedvekt av utbyggingen er boliger, vil ikke kjølebehovet bli like stort som varmebehovet. Kjølebehovet er dessuten mye mer bruksavhengig enn varmebehovet er, og følgelig også vanskeligere å melde i en så tidlig fase. Viktige passive prinsipper som utvendig solavskjerming, LED-belysning og energigjerrig IT-utstyr er føringer som må følges for utbyggere og leietagere/brukere på området (Matthias Haase, 2010). Uansett er trenden at arbeidsplasser fortettes og utstyrmengden øker, så store deler av året vil nok mye av næringsarealene ha kjølebehov. Det vil etterstrebtes å dekke dette kjølebehovet ved å benytte f.eks. adiabatisk kjøling, varmedreven kjøling og evt. kjølemaskin.

Tabell 2: Energibehov til oppvarming (romoppvarming og ventilasjonsvarme)

Bygningstype			Kommentar
	Foreslått	Passivhus standard	
Bolig	< 15 kWh/m ²	< 15 kWh/m ²	Iht. NS3700 og NS3701
Kontor	< 20 kWh/m ²	< 15 kWh/m ²	Iht. NS3700 og NS3701
Forretning	< 25 kWh/m ²	< 15 kWh/m ²	Iht. NS3700 og NS3701
Barnehage/Skolebygning	< 20 kWh/m ²	< 25/20 kWh/m ²	Iht. NS3700 og NS3701

Tabell 3: Energibehov til aktivkjøling

Bygningstype	Internlast utstyr		Kommentar
	Foreslått	Passivhus standard	
Bolig	0 kWh/m ²	0 kWh/m ²	
Kontor	< 10 kWh/m ²	< 5 kWh/m ²	Reellebehov
Forretning	< 20 kWh/m ²	< 5 kWh/m ²	Reellebehov
Barnehage/Skolebygning	0 kWh/m ²		

Med disse forutsetningene lagt til grunn fremkommer et termisk varmebehov på 25,4 GWh/år for bydel Nord og kjølebehov på 2,7 GWh/år (total 28,1GWh/år). For å sammenlikne tallene vil en slik bydel iht. dagens tekniske forskrift ha ca. 36 GWh/år i varmebehov og 4,2 GWh/år i kjølebehov (total 40 GWh/år). Det vil si at en reduksjon på ca. 30% i energibehov til varme og kjøling.

Elektrisk behov: Utstyr, belysning og vifter

Med hensyn på energi og effektbehov for elektrisitet kreves det at det settes krav til utstyr, belysning og viftebruk i bygninger. Mens varmebehov i stor grad avhenger av utetemperatur (utenom varmt tappevann) er elektrisk forbruk knyttet opp til mer tilfeldige og forbrukeravhengige mønstre (Richardson, 2012). Både effekt- og energibehov til disse henger sterkt sammen med virkningsgrader for disse komponentene og bruksmønstre. Smart styring og regulering kan gi vesentlig reduksjon i energibruk for disse poster. Lastprofiler for utstyr henger også sterkt sammen med hvor smarte nettene blir. Mulighetene innenfor Smart Grid må derfor følges tett opp videre i konseptutviklingen (Nes, 2012). På overordnet nivå er det da lagt noe forbedringspotensial for energibruk for disse poster, uten at det blir sett på detaljnivå-løsninger.

Basert på disse forutsetningene kan elforbruk (til belysning, utstyr og ventilasjon) til bydel nord reduseres til 18 GWh/år. Dette kan sammenliknes med dagens tekniske forskrift og vil da utgjøre ca. 25 GWh/år. Det tilsvarer en reduksjon på 28%. Videre er det forutsatt at energibruk på ca. 1,6 GWh for vaskemaskiner, oppvaskmaskiner og tørketromler flyttes fra direkte el-oppvarming til termisk varme levert av varmeanlegg ved å benytte hot-fill maskiner.

Belysning og utstyr

Energieffektiviteten til belysning har økt betraktelig etter introduksjon av første generasjons belysningsarmaturer. F.eks. har dagens LED-belysning i gjennomsnitt tre ganger bedre efficacies¹ enn beste produktene tilgjengelig på markedet i 2005 og det er satt som mål å forbedre dagens efficacies til ca. 266 lm/W (kontra dagens ca. 130 lm/W) (DOE). Energibruk til belysning har gått vesentlig ned de siste årene hvor det er økt bruk av LED-armaturer, økt fokus på bruk av dagslys, og smart styring av belysning med bevegelsessensorer og daglysdimming. Med bakgrunn i denne utviklingen kan det forventes stor reduksjon i energibruk til belysningen hvis forholdene legges til rette for det (Lyskultur, 2010).

Tabell 4: Energibruk til belysning

Bygningstype	Belysning		Kommentar
	Foreslått	Standard	
Bolig	1,2 W/m ² 7,0 kWh/m ²	1,8 W/m ² 11,1 kWh/m ²	Se over
Kontor	3,2 W/m ² 10,0 kWh/m ²	8,0 W/m ² 25,0 kWh/m ²	Se over
Forretning	7,0 W/m ² 26,2 kWh/m ²	15,0 W/m ² 56,0 kWh/m ²	Se over
Barnehage	4,0 W/m ² 12,0 kWh/m ²	8,0 W/m ² 21,0 kWh/m ²	Se over

Vedrørende teknisk utstyr har det skjedd en god del utvikling i energieffektivitet og endring i valg av utstyr i norske boliger. F.eks. stasjonære datamaskiner, større musikkanlegg, gamle CRT TV er ikke lenger i bruk men erstattet av LED TV, bærbar PC, tablets, livestreaming på internett mm. Samtidig skjer utviklingen på utstysfronten også fort og det er laget overordnede Europeiske mål på energieffektivisering av utstyr gjennom EU ENERGY STAR merkesystem. Dagens kunnskap ang. energibruk til utstyr er fra gamle statistikker, men gir noe grunnlag som kan benyttes. Det er derfor valgt i denne studie å benytte disse data og gjøre noen antakelser for å komme fram til energibruk på dette området selv om det er store usikkerheter tilknyttet til disse tallene.

¹ Efficacy er et begrep som definerer forholdet mellom produsert lysmengde til strøm inngang, målt i lumens pr watt

Tabell 5: Energibruk til utstyr

Bygningstype	Internlast utstyr		Kommentar
	Foreslått	Standard	
Bolig	11,5 kWh/m ²	17,5 kWh/m ²	<p>Energibruk i boliger kan reduseres til 12,5 kWh/m² med bruk av hot fill- vaskemaskin, oppvask og tørketrommel. Det fører til økt termisk behov tilsvarende 5 kWh/m². Videre er det antatt energireduksjon pga energieffektivt utstyr og bedre styring med tilsvarende reduksjon på ca. 1 kWh/m².</p> <p>Det forutsettes at det settes krav til at alle husholdninger bruker hot fill vaskemaskin, oppvaskmaskin og tørketrommel.</p>
Kontor	18,5 kWh/m ²	34 kWh/m ²	Redusert energibruk iht. NS3701 (energieffektivt utstyr)
Forretning	4 kWh/m ²	4 kWh/m ²	Som lagt frem i NS3031 (Det vil avhenge av forretningstype og må forankres bedre på detaljnivå)
Barnehage	4,5 kWh/m ²	5 kWh/m ²	Forbedring pga energieffektive kjøkken og entertainment utstyr.

Ventilasjon/Vifter:

Bedre forståelse av helse og atmosfærisk inneklima i siste to-tre tiår har ført til økt bruk av mekanisk ventilasjon i både bolig og yrkesbygg. Dette fører til økte luftmengder som igjen medfører økt bruk av elektrisk energi til vifter. Til gjengjeld har det kommet krav til effektive vifter og anlegg (lav SFP-faktor) og det benyttes lavemitterende materialer som krever mindre luftmengder og gjør det mulig å benytte naturlig og hybride ventilasjonskonsepter. For å oppnå mål til nullutslippsbydel er det viktig å sette særlige krav til energieffektivisering av

ventilasjonsystemer i bygninger. Både riktig dimensjonering, bruk av energieffektive ventilasjonskomponenter samt styringssystemer vil være viktig for å redusere elektrisk forbruk av ventilasjonssystemer. Basert på erfaring hentet fra ulike energieffektive nybygg ble det satt fram noen tall på SFP og energibruk som kan oppnås med god prosjektering og valg av riktige løsninger. Her er det viktig å si at det er mulig å strekke seg mye lenger enn det man har sett ved bruk av alternativ ventilasjonsløsninger som f.eks. naturligventilasjon og hybrid ventilasjonskonsepter.

Tabell 6: Elektrisk energibruk til ventilasjonssystemer

Bygningstype	Ventilasjon		Kommentar
	Foreslått	Standard	
Bolig	SFP: 1,5 kW/(m ³ /s) Energi: 5,0 kWh/m ²	SFP: 2 kW/(m ³ /s) Energi: 6,8 kWh/m ²	Energieffektiv ventilasjonssystemer
Kontor	SFP: 1 kW/(m ³ /s) Energi: 15 kWh/m ²	SFP: 1,5 kW/(m ³ /s) Energi: 22 kWh/m ²	Energieffektiv ventilasjonssystemer
Forretning	SFP: 1,2 kW/(m ³ /s) Energi: 25 kWh/m ²	SFP: 1,5 kW/(m ³ /s) Energi: 32 kWh/m ²	Energieffektiv ventilasjonssystemer
Barnehage	SFP: 1,2 kW/(m ³ /s) Energi: 18 kWh/m ²	SFP: 1,5 kW/(m ³ /s) Energi: 22 kWh/m ²	Energieffektiv ventilasjonssystemer
Det er lagt langt lavere krav til eksisterende bygninger pga fysiske utfordringer som begrenser flere energieffektive alternativer.			

Elforbruk for personbil

I siste 5 år har Norge sett en positiv utvikling med paradigmeskiftet fra fossilbiler til elektriske biler. Det er allerede registrert at elbiler har tatt mellom 15-16% markedsandel av personbilsalg og det er økende (Norsk Elbilforening, u.d.). Det er selvfølgelig en positiv utvikling på nasjonalnivå og bydel nord vil få store fordeler mtp elektrisk mobilitet. Men elbiler vil også innebære et ekstra elforbruk i bydel som må tas hensyn til i energiplanlegging for området.

Det er allerede flere varianter av el-biler tilgjengelig i markedet som har ulike virkningsgrader samt ladeeffekt og rekkevidde. Figur 2 nedenfor viser rekkevidde for noen av tilgjengelig modeller pr i dag.

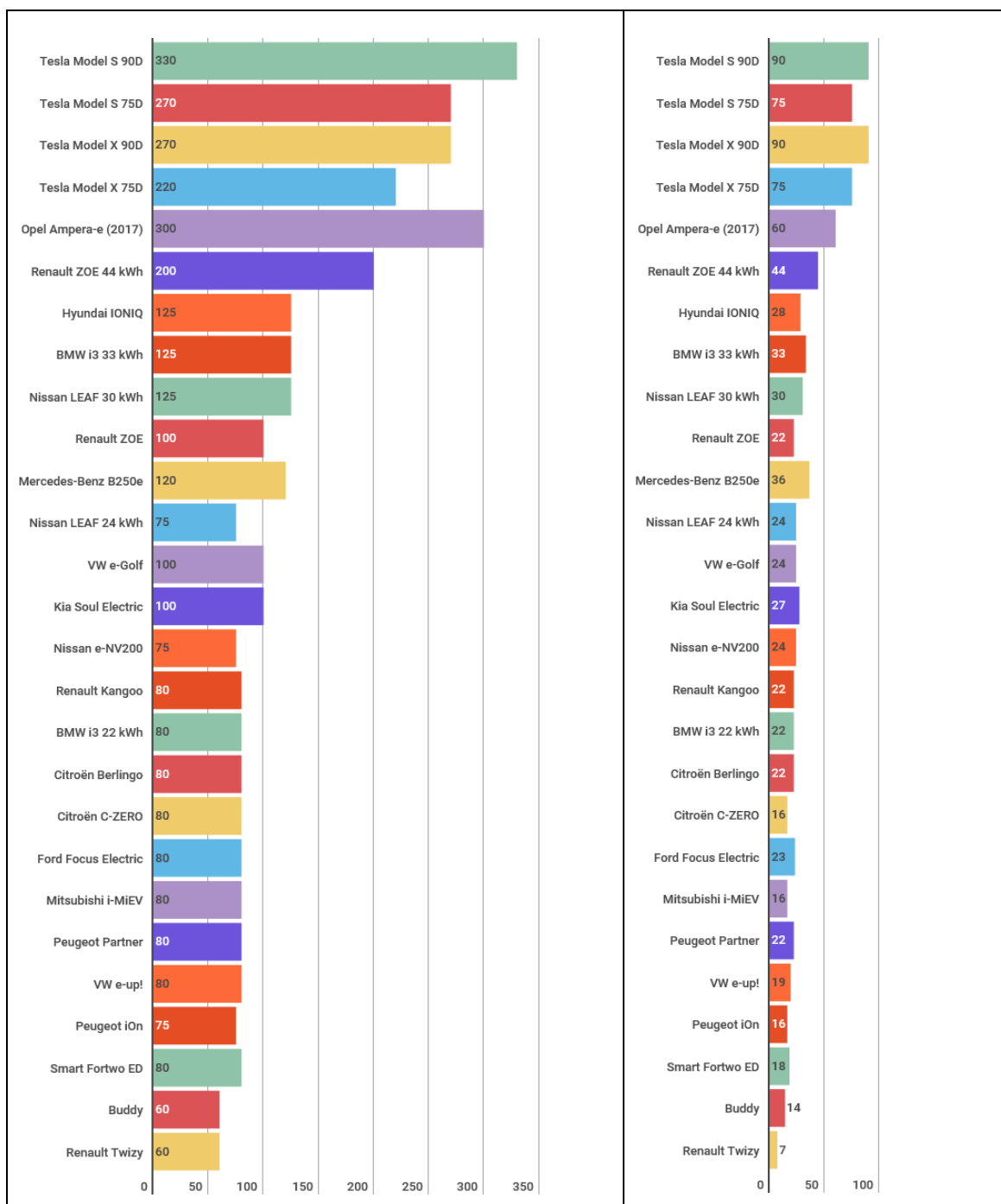
Mange av beboerne i Lillehammer bydel vil trolig måtte reise til nabokommuner pga jobb. Reisevaneundersøkelse (Åse Nossum, 2005) utført for Lillehammer kommune i 2005 viser at en person tar gjennomsnitt 2,44 reiser pr dag med gjennomsnitt reiselengde på 20 km. Det er gjennomsnitt 1,7 personer i bilen og det er transportmiddelet som brukes på de fleste reiser. Det er selvsagt en del av ambisjonen i prosjektet å redusere bruk av personbil. Da må disse tallene

ses i sammenheng med kommunen sine mobilitetsplaner for å komme fram til forventet elforbruk pr husholdning.

Tabell 7: Årlig elforbruk for ulike elbiler ved kjørelengde 8000km, 12000km og 16000km

NEDC tall	8 000 km	12 000 km	16 000 km
Volkswagen e-up! 1,17 kWh/mil	936 kWh	1404 kWh	1872 kWh
Nissan Leaf 1,5 kWh/mil	1200 kWh	1500 kWh	2400 kWh
Tesla Model S 2,07 kWh/mil	1656 kWh	2484 kWh	3312 kWh

For å komme fram til et tall på forventet elforbruk har man i denne fasen antatt at personbil brukes gjennomsnitt 230 dager i året, gjennomsnitt 2,44 reiser pr dag med 20 km reiselengde hver. Dette fører fram til en kjørelengde på 11 224 km. Det er antatt at en husholdning har gjennomsnitt 1,3 biler. Det fører til at hver husholdning på årlig basis har en reiselengde på ca. 14591 km. Antatt at alle bilene i bydel nord vil være elbil, vil elbil pr husholdning bruke årlig mellom 1800 kWh og 3000 kWh avhenger av type bil, husholdninger, kjørelengde mm. Basert på arealplaner hvor bydel nord vil ha ca. 3100 husholdninger, vil elbiler i bydelen ha behov for mellom 5,6 GWh og 9,3 GWh hvert år. I et gjennomsnitt døgn vil husholdninger ha et behov på ca. 14 500 kWh til 25 500 kWh. Med en god planlegging og smart styring kan store deler av dette behov anses som fleksibelt elektriskbehov som utnytter ledig kapasitet i nettet når dette er tilgjengelig (effektutjevning).



Figur 2: Minimum rekkevidde under norske forhold oppgitt av importør eller beregnet av Elbilforeningen basert på prøvekjøringer. Moderat dekkdimensjon. Brutto batterikapasitet oppgitt av forhandler. Oppdatert: 15. desember 2016. Hentet fra Elbil.no (Rekkevidde Elbil, u.d.)

Utslipp fra ulike energibærere

I sin definisjon har FME ZEB foreslått klimagassutslipp fra ulike energibærere basert på en rekke rapporter for ulike energibærere. Av dette har det vært en god del fokus på CO₂-utslippsfaktorer tilknyttet elektrisitetsbruk. Norsk elektrisitet kan omregnes til et CO_{2eq}-utslipp i størrelsesorden på 10 - 15 g/kWh isolert sett fra Nordisk marked mens øker fort til 100 gCO_{2eq}/kWh ansett i sammenheng med Nordisk el-miks. Siden det utvikler seg mot mer integrert energisystem i Europa har FME ZEB tatt utgangspunktet i det. I sitt arbeid viser Graabak og Feilberg (Graabak, 2013) fem scenario med ulik grad av klimasatsning og evt. energimiks og at det kan føre til ulike resultat på CO₂-utslipp for elektrisitetsbruk i Norge. Av disse fem scenario har FME ZEB vedtatt ultra grønt scenario og foreslått å benytte resulterende emisjoner fra elektrisitet på 130 gCO_{2eq}/kWh.

Videre har FME ZEN benyttet klimagassutslipp foreslått i arbeidet utført av Lien (Lien, 2012). Der kommer det inn en del forutsetninger spesielt mtp. fjernvarme hvor det er foreslått å ta reelle klimagassutslipp siden forbrenning av avfall inneholder en del plast og fjernvarme benytter fossilresurs under spisslast/backup drift. Også tall for biodrivstoff kommer med forutsetning av produksjonsmetoder, transport mm som gjør at CO₂ faktorer fra disse kan variere mye. Videre anbefaler ZEN å benytte kun miljøsertifisert bioolje av 2. eller 3. generasjon.

Tabell 8 viser CO₂-vektingsfaktor foreslått av FME ZEB. Bydelen ligger innenfor konsesjonsområde for Eidsiva fjernvarme og derfor har det blitt beregnet faktisk CO₂-utslipp fra fjernvarme som vises i tabell 9. Videre har man benyttet CO₂-utslipp fra nordisk elektrisitetsmiks for 2016. For mer info, se notat ang. klimagassregnskap bydel nord. Alle vurderte løsninger i denne rapporten medfører kun indirekte utslipp til bydel nord.

Det er valgt å bruke den lavere enden av skalaen for biodrivstoff fordi det forutsettes at bydelen vil ha kontinuerlig fokus på valg av miljøvennlige drivstoff.

Tabell 8: Spesifikk CO₂ faktor foreslått av FME ZEB

Energy carrier	gCO _{2eq} /kWh	References
Electricity from the grid	130	(Dokka 2011), (Dokka et al. 2013a), (Graabak and Feilberg 2011)
Oil (fossil)	285	(Dokka et. al 2013) (Dokka et al. 2013a)
Gas (fossil)	210	(Dokka et. al 2013) (Dokka et al. 2013a)
Wood chips	4 -15	(Dokka et al. 2013a), Lien (2013)
Pellets/briquettes	7 - 30	(Dokka et al. 2013a), Lien (2013)
Biogas from manure	25 - 30	(Dokka et al. 2013a), Lien (2013)
Bio-diesel and bio-oil	50	(Dokka et al. 2013a)
Bio-etanol	85	(Dokka et al. 2013a)
Waste incineration (heat only)	185 - 211	(Dokka et al. 2013a), (Lien 2013)

Tabell 9: Valgte utslippsfaktorer for ulike energibærere for studiet

Energikilde	[g/kWh]
Fjernvarme	16
EL fra nettet	126
Treflis(biomass)	4
Biogas	30
Bioolje	50
Pellets	7

Det er brukt ulike energisystemer hvorav det er benyttet følgende virkningsgrader for produksjon, distribusjon og emisjon/romregulering etc.

Tabell 10: Virkningsgrader for produksjon, distribusjon og emisjon/romregulering for ulike energisystemer

Post	Produksjon	
	Varme	Elektrisitet
Produksjon		
Luft-vann varmepumpe	3,20	-
Væske-vann varmepumpe	4,80	-
Fjernvarme	0,98	-
El-kjel	0,96	-
(tre)Flis-CHP (otto)	0,70	0,20
Biogas- CHP	0,55	0,30
(tre) Flis biokjel	0,80	-
Pellet biokjel	0,82	-
Luft-vann kjølemaskin	2,80	-
Væske-vann kjølemaskin	4,50	-
Distribusjonsvirkningsgrad		
Oppvarming	0,94	
Varmtvann med resirkulasjon	0,60	
Kjøling	0,9	
Emisjon/romregulering		
Emisjon/romregulering varme	0,89	
Emisjon/romregulering kjøling	0,92	

Fremgangsmåten som er valgt i denne utredningen er slik at kun de energiløsninger som har stort potensial til å oppfylle den ønskede miljøambisjoner er videreført.

Oversikt over løsninger som ikke er tatt med videre

I tidligfase ble det tatt opp et antall mulige energiløsninger til vurdering. Noen av disse er valgt bort på bakgrunn av ulemper som er beskrevet i tabellen under.

Tabell 11: Oversikt på alternativer som ikke er brukt videre

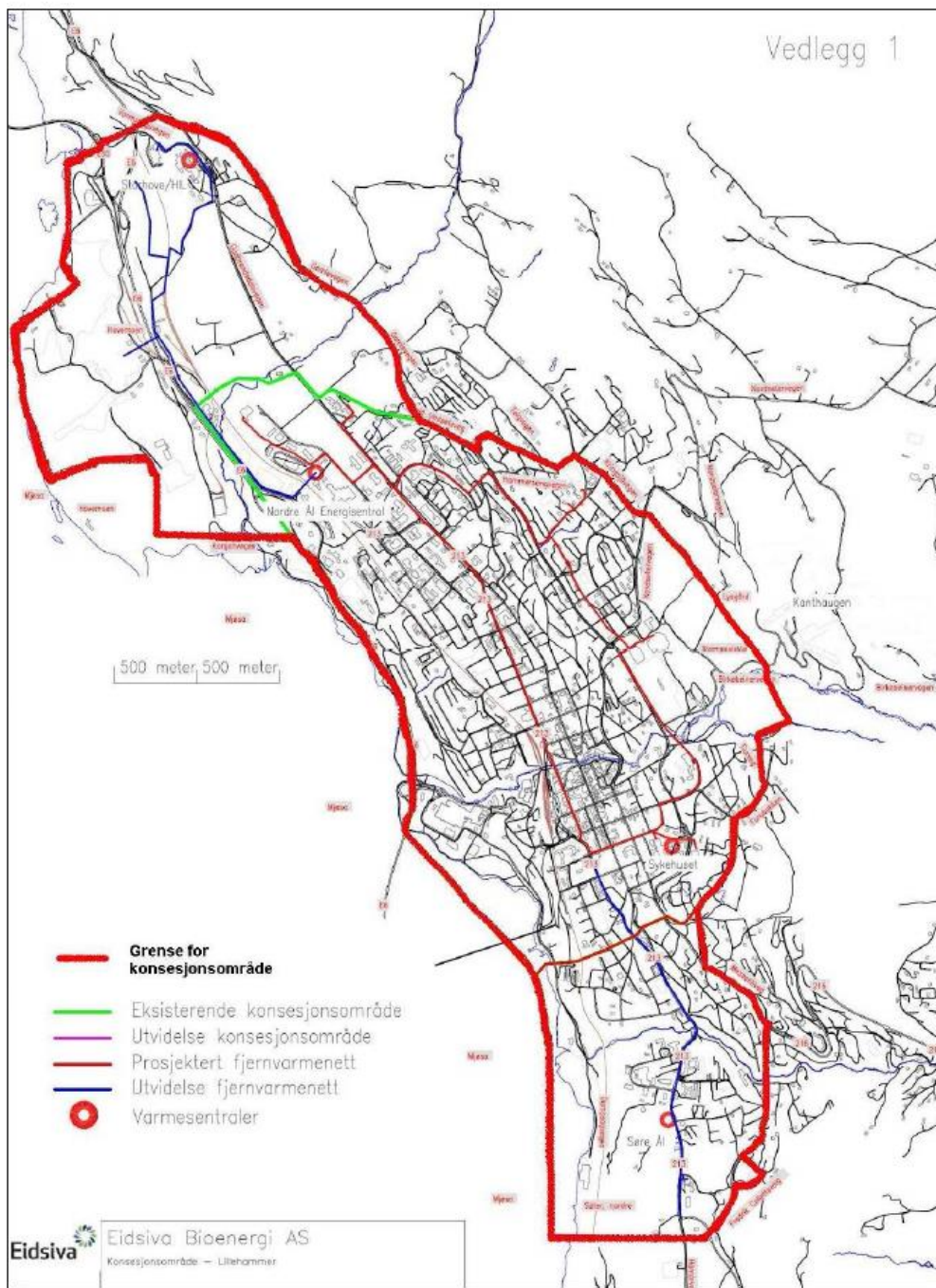
Energikilde – teknologi	Fordeler	Ulemper	Konklusjon for bruk videre
Fjernvarme-se også eget avsnitt under	Lav investeringskostnad og lite behov for vedlikehold eller intern kompetanse da energiforsyningen driftes av ekstern leverandør.	FV basert på avfallsbrenning har relativt høyt klimagassutslipp pga plastinnhold i avfall samt bruk av fossilenergi for å dekke spisslast	Området har FV basert på flis-fyring og dermed lavt klimagassutslipp. Området vurderes med eget nærvarmeanlegg tilknyttet fjernvarme. Det må ses i sammenheng med lokal energiforsyning, avfallhåndtering og helhetlig løsning.
Solfanger	Teknologien kan dekke noe av byggets varmtvannsbehov i bygget direkte og dermed redusere el-bruk til varmtvannsbereder	Teknologien trenger takareal som ellers kan benyttes til solceller. Videre kommer solfangere også ofte i konflikt med andre oppvarmingsteknologier og bør ses i sammenheng.	Prioritering av strømproduksjon som er kritisk i prosjektet. Tas ikke videre.
Bioolje basert CHP	Teknologien kan gi noe enklere drift enn f.eks. treflis-basert CHP	Utelukket grunnet høyere CO ₂ utslipp og andre miljøutfordringer	Tas ikke videre.
Luft-vann varmpumpe	Teknologien har lavere investeringskostnad enn øvrige alternativer. Det er vurdert som mer lønnsomt å benytte	Teknologien har dårlig effektfaktor, øker strømforbruket som igjen krever ekstra produksjon av solstrøm. Den vil dermed ikke være særlig gunstig for ZEB-	Teknologien er brukt i kombinasjon med fjernvarme som referanse

	<p>luft-vann varmepumpe når man først har installert tørrkjølere på tak og man kan på denne måten redusere energikostnaden betraktelig sammenlignet med bruk av kun elkjel.</p>	<p>balansen. Løsningen kan også ha utfordringer pga støy.</p>	
--	---	---	--

Beskrivelse av situasjonen for fjernvarme

Eidsiva Bioenergi As har pr i dag konsesjon for fjernvarme i hele det planlagte området og har til dels eksisterende fjernvarmenett i nordre bydel. Det er prosjektert med fjernvarmenett for midtre og søndre bydelsområde.

Alle bygninger er pr dagens PBL §25-7 pliktig til å koble seg til fjernvarme men det er ikke lenger noe minstekrav til en viss andel av energiforsyning fra fornybar energikilde.



Figur 3: Konsesjonskart for Eidsiva i Lillehammer

Det må ses på etablering av en lokal sentral for varmeproduksjon i bydel nord i sammenheng med utvidelse av lokalt fjernvarmenett. Siden fjernvarmeleverandør har konsesjon i område er man låst til valg av energiløsning. Enhver mulighet for sentral produksjon av varme og eventuell elektrisitet (CHP), må ses i samarbeid med lokal fjernvarmeleverandør.

Utnyttelse av solenergi

I utredningen er det hensyntatt kun takareal til produksjon av elektrisitet fra solceller og taket er tiltenkt uhindret tilgang til sol. Videre er det tiltenkt at nesten 80% av takareal skal kunne utnyttes til solceller.

Det er tiltenkt å utnytte takarealet til alle bygninger i bydelen med øst/vest orienterte solceller med 10° vinkel og med en antatt virkningsgrad for solcellemodul på ca. 22% som er tilgjengelig i markedet allerede i dag. Det kan forventes at virkningsgrad for solcelle vil forbedres betraktelig i kommende år. Historisk sett har virkningsgrad for solceller blitt forbedret med ca. 5 -6% i løpe av siste 10 år. Det er valgt å ikke inkludere energiproduksjon fra solcelle som kan installeres på fasader pga flere ukjente forhold rundt skygge og orientering mm. Men det vil være en viktig del av energiløsning og må ses nærmere på neste fase i prosjektet.

Med de gitte forutsetninger vil takinstallerte solcellepaneler for bydel nord vil kunne produsere ca. 14,5 GWh elektrisitet.

Beskrivelse av energiforsyningsløsninger

Alle energitiltakene sammenfattet gir Bydel Nord årlig behov på ca. 27 GWh varme, 2,7 GWh kjøling og 18 GWh elektrisitet. I tillegg vil person-elbiler trenge mellom 5,6 til 9,3 GWh. Solcellepaneler vil kunne forsyne ca. 14,5 GWh av årlig elektrisitetsbruk. Det vil si at solcellene vil kunne dekke ca. 80% av årlig elektrisitetsforbruk for husholdninger (unntatt elbiler). Det vil derfor være viktig å se på valg av varme- og kjøleforsyning og i tillegg finne alternative kilder for elektrisitetsbehov.

I denne sammenheng har vi da vurdert følgende alternativer på et overordnet nivå. Det er selvsagt mulig å kombinere flere teknologier men erfaring viser at en slik kombinasjon er ikke like utbredt pga. kompleksitet og uforholdsmessig økning i investeringskostnader.

Løsning 1: Fjernvarme til varme og luft-vann kjølemaskin (KM) til kjøling

I denne løsningen dekker fjernvarme alt behov for oppvarming og varmtvann mens kjøling av bygninger dekkes av luft-vann kjølemaskin.

Løsning 2: Luft-vann varmepumpe/kjølemaskin og fjernvarme

I denne løsningen dekker luft-vann varmepumpe grunnlast for oppvarming og varmtvann mens spisslast dekkes av fjernvarme. Kjøling av bygninger dekkes av luft-vann varmepumpe som driftes i reversibel modus. Dette konseptet betyr fortsettelse av dagens praksis hvor alle bygninger er pliktig til å påkoble men benytter varmepumpe/kjølemaskin pga. økonomiske gevinst.

Løsning 3: Væske-vann varmepumpe/kjølemaskin og fjernvarme

I denne løsningen dekker væske-vann varmepumpe grunnlast for oppvarming og varmtvann mens spisslast dekkes av fjernvarme. Kjøling av bygninger dekkes av samme væske-vann varmepumpe som driftes i reversibel modus. Væske-vann varmepumpe bruker brønnpark som energikilde. Dette konseptet betyr fortsettelse av dagens praksis hvor alle bygninger er pliktig til å påkoble men benytter varmepumpe/kjølemaskin pga. økonomiske gevinst.

Løsning 4: Flis-basert CHP og flis kjel og luft-vann kjølemaskin

I denne løsningen dekker flisfyrt CHP grunnlast for oppvarming og varmtvann mens spisslast dekkes av flisfyrt kjel. Kjøling av bygninger dekkes av luft-vann kjølemaskin.

Løsning 5: Biogass-basert CHP og flis kjel og luft-vann kjølemaskin

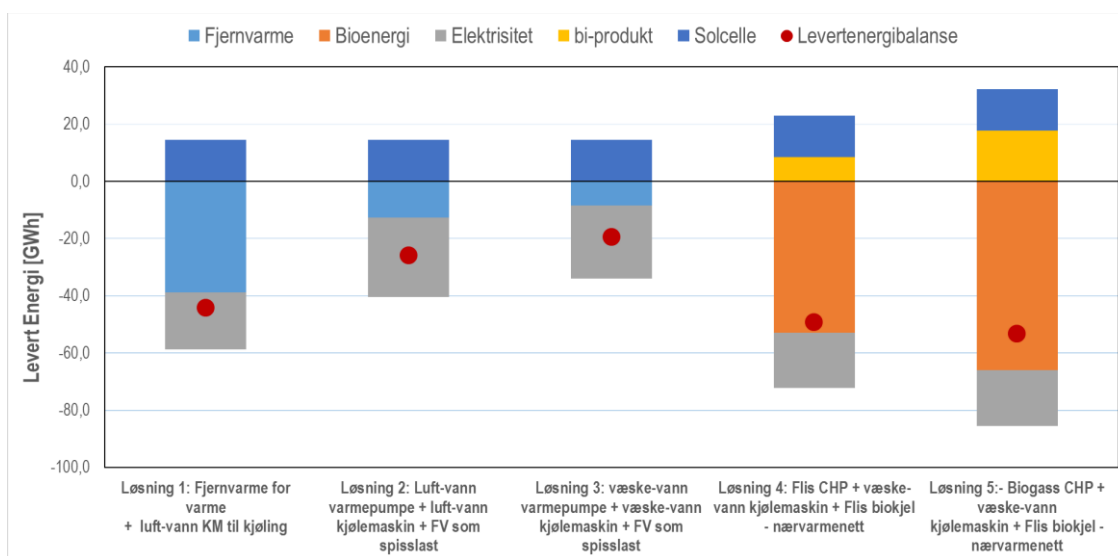
I denne løsningen dekker biogassfyrt CHP grunnlast for oppvarming og varmtvann mens spisslast dekkes av flisfyrt kjel. Kjøling av bygninger dekkes av luft-vann kjølemaskin.

Tabell 12: Dekningsgrad for energiforsyningsalternativer

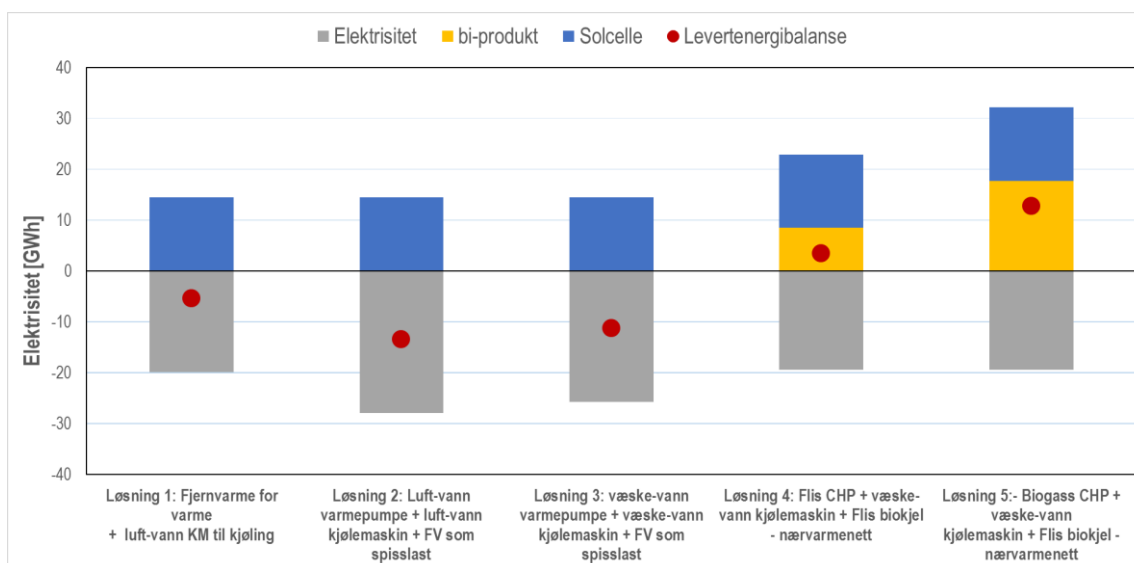
Energiforsyningsalternativ	Energidekning grunnlast			Energidekning spisslast		
	Romoppvarming	Varmtvann	Kjølebehov	Romoppvarming	Varmtvann	Kjølebehov
Løsning 1: Fjernvarme + Luft-vann kjølemaskin	100 %	100 %	100 %	0 %	0 %	0 %
Løsning 2: Luft-vann varmepumpe + Luft-vann kjølemaskin + FV som spisslast	70 %	65 %	100 %	30 %	35 %	0 %
Løsning 3: væske-vann varmepumpe + væske-vann kjølemaskin + FV som spisslast	80 %	77 %	100 %	20 %	23 %	0 %
Løsning 4: Flis CHP + væske-vann kjølemaskin + Flis biokjel - nærvarmenett	70 %	85 %	100 %	30 %	15 %	0 %
Løsning 5: Biogass CHP + væske-vannkjølemaskin + Flis biokjel - nærvarmenett	80 %	90 %	100 %	20 %	10 %	0 %

Resultater og analyser

Basert på de forutsetninger og behovene som er fremkommet i denne fase, er det gjort følgende overordnede vurderinger. Figur 4 og 5 viser levert energi og elektrisitet**s**-balanse for disse løsningene.

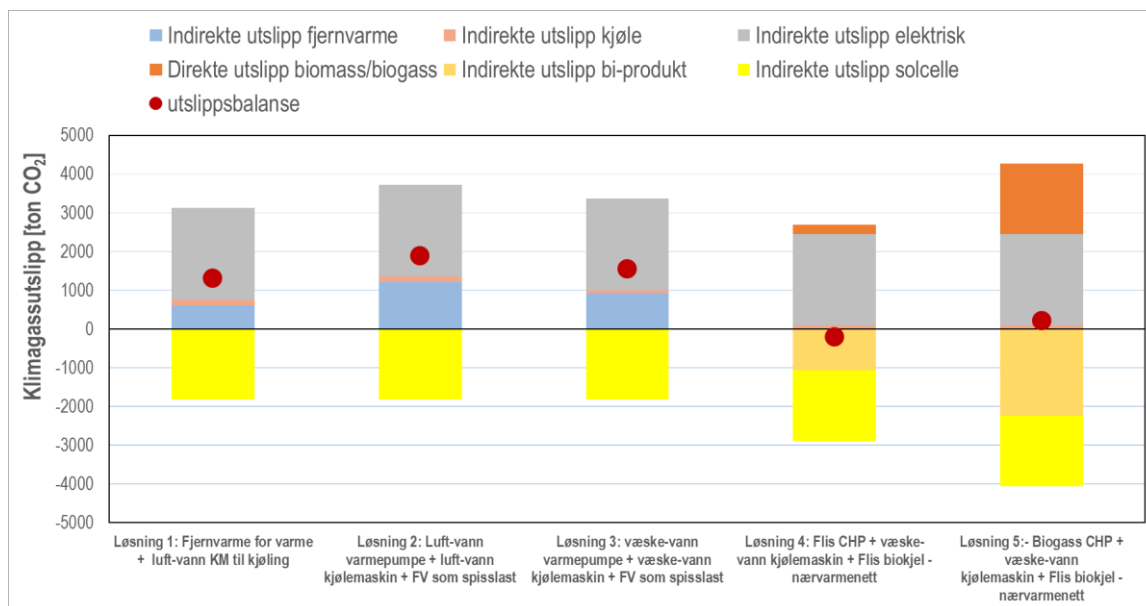


Figur 4: Levert energi for Bydel Nord Lillehammer. Søylar viser levert energi fra ulike energibærere. Løsning 3 gir laveste levert energi på bydels nivå. Røde prikker viser at ingen av alternativene klarer å oppnå nullenergi balanse når det gjelder levert energi til bydelen (underskudd viser negative verdier mens overskudd viser positive verdier)



Figur 5: Elektrisitetsbalanse for Bydel Nord i Lillehammer. Søylar viser elektrisitets- bruk og produksjon for ulike poster mens prikker viser netto balansen. Figur viser at løsninger 4 og 5 gir netto overproduksjon for driftsfase for bygninger og dermed kan levere elektrisitet til andre forbruksmål (underskudd viser negative verdier mens overskudd viser positive verdier)

Vurderingen på overordnet nivå viser at løsning 4 og 5 kan levere et nettooverskudd på elektrisitet på bydelsnivå. Løsning 4 kan levere overskuddsproduksjon på et nivå som kan dekke hele bilparken for husholdninger og kan dekke en del av elforbruket til andre formål. Referanse løsninger, løsning 1, 2 og 3 har store underskudd på elektrisitet.



Figur 6: Totale (indirekte og direkte) klimagassutslipp pga. stasjonær energibruk for bydel nord Lillehammer. Søylar viser klimagassutslipp for ulike poster mens prikker viser netto balansen. Figur viser at løsning 4 og 5 gir en netto reduksjon i klimagassutslipp for driftsfase for bydel nord og dermed kan balansere klimagassutslipp for område utover driftsfasen. Samtidig medfører disse to alternativene direkte utslipp innenfor bydel grenser.

Løsningene 1, 2 og 3 har null direkte klimagassutslipp når det gjelder innen bydel nord grenser siden all produksjon og kompensering vil skje utenfor bydelsgrenser. Løsninger 4 og 5 har direkte utslipp i område pga. at det etableres lokal energiforsyning innenfor bydelsgrenser basert på biomasse/biogass forbrenning. Klimagassregnskap for bydel på driftsnivå viser at løsning 1, 2 og 3 ikke klarer å oppnå ambisjon om nullutslippsnivå mens løsning 4 og 5 kommer fram som klare vinnere. Løsning 4 gir netto indirekte klimagassutslipp på -200 tCO₂ mens løsning 5 på 215 tCO₂. Det vil si at løsning 4 kan i tillegg erstatte utslipp for evt. andre utslippsposter.

Samlet sett viser løsning 4 og 5 seg å være mest egnet for området for å balansere elektrisitetsbruk og nettoklimagassutslipp. CHP-maskiner gir også god balanse i elektrisitet slik at de produserer elektrisitet om vinteren mens solcelle dekker elbehovet om sommeren. Løsning 4 viser seg å være best ved at den kan dekke elektrisitetsbehov for elbiler og er mer fleksibel i flere tekniske sammenhenger. Imidlertid ligger det en del tekniske og ikke-tekniske

utfordringer/muligheter som må ses nærmere på i fase 2 på nabolagsnivå. Det er også viktig at det er gjort vurdering for balansen av energi og klimagassutslipp på årlignivå. Det må ses nærmere om hvordan energiløsninger påvirker energibalanser på høye oppløsning.

Konklusjon

Foranalyse viser at med en tilnærming hvor man setter strengere krav til energieffektivitet for bygningskropp tilsvarende passivhus, energieffektive tekniske installasjoner og brukerutstyr er det mulig å redusere energibehov til bygninger med ca. 23%. Tilnærming fører til at energibehov for bydel nord går ned fra 63 GWh (TEK10) til 48,4 GWh (passivhus). Analysen viser at det er like viktig å velge de riktige klimavennlige energiløsningene slik at disse energibehovene forsynes av klimavennlige energikilder. Analyse viser at valg av alternativer har ulik påvirkning på resultat når det gjelder balansen for levert energi, elektrisitet og klimagassutslipp i driftsfasen for bydel nord. Energiforsyning med bio-basert fjernvarme (Eidsiva fjernvarme), og takmonterte solceller i bydel nord kan redusere indirekte klimagassutslipp for området til 1300 tonn CO₂. Det kommer fram av analyse at ved valg av varmepumpeløsning i området er det svært viktig å fokusere på høy-effektive væske-vann varmepumper/kjølemaskiner framfor luft-vann varmepumper/kjølemaskiner. Løsningen med luft-vann varmepumpe gir ca. indirekte utslipp på 1900 tonn CO₂ mens med væske-vann varmepumpe ligger resultater på ca. 1540 tonn CO₂. Løsninger med CHP-systemer gir høyeste reduksjon i indirekte klimagassutslipp for bydel nord. Flis-basert CHP gir netto indirekte utslipp på -200 tonn CO₂ mens biogass-basert CHP på ca. 215 tonn CO₂. Dette betyr at CHP alternativet kan gi netto reduksjon i utslipp for stasjonær energi for bydel område slik at de kan kompensere til dels for klimagassutslipp fra andre poster.

Bibliography

- DOE. (n.d.). Energy Efficiency of LEDs. *Building Technologies Program: SOLID-STATE LIGHTING TECHNOLOGY FACT SHEET*.
- Graabak, I. B. (2013). Zero Emission Building and Conversion Factors between Electricity Consumption and Emissions of Greenhouse Gases in a Long Term Perspective. *Environmental and Climate Technologies*.
- ISE. (n.d.). *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*. Retrieved from [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photo voltaics-Report.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photo%20voltaics-Report.pdf)
- Knight, I. K. (2007). *European and Canadian non-HVAC electric and DHW load profiles for use in simulating performance of residential cogeneration systems*. IEA ECBCS Annex 42.
- Lien, K. M. (2012). *CO2 emissions from Biofuels and District Heating in Zero Emission Buildings (ZEB) -ZEB Project report no 10*. The research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB).
- Lyskultur. (2010). *Lys og energibruk*.
- Matthias Haase, K. B. (2010). *Guideline for energy efficiency concepts in office buildings in Norway*. Sintef.
- Nes, I. (2012). *Smarte nett og bruk av forbrukerfleksibilitet i sentralnett*. NTNU.
- Norsk Elbilforening. (n.d.). *Bestand og markedsandel*. Retrieved from <https://elbil.no/elbilstatistikk/>
- Ramboll. (2014). *Forstudie By Utvikling Nord*. Lillehammer Kommune.

- Rekkevidde Elbil. (n.d.). *Rekkevidde på dagens elbiler*. Retrieved from <https://elbil.no/elbil-2/rekkevidde-pa-dagens-elbiler/>
- Richardson, I. T. (2012). Domestic electric use: A high resolution energy demand model. *Energy and Buildings*.
- Selmawit, M. F. (n.d.).
- Åse Nossun. (2005). *Reisevaneundersøkelse for Lillehammer 2005*. Lillehammer.