

NOTAT – OMRÅDE SØR

KUNDE / PROSJEKT Lillehammer Kommune Mulighetsstudie klimanøytral bydel Nord	PROSJEKTLEDER Hans Kristian Ryttersveen	DATO 09.10.2017
PROSJEKTNUMMER 28892001	OPPRETTET AV Usman Ijaz Dar KVALITETSSIKRET AV Elin Talhaug Skjerven	

Mulighetsstudie klimanøytralt nabolag: Vurdering av energiforsyning til område sør i Lillehammer kommune

Sammendrag

Lillehammer kommune ønsker å se på muligheten for å etablere et klimanøytralt område i bydel Nord. Dette studiet tar utgangspunkt i en arealfordeling fra tidligere mulighetsstudie for området og ser på muligheter for å nå nullutslippsbalanse på områdenivå. Studiet sammenligner ulike alternativer for energikvaliteter på bygningsmasse, tekniske installasjoner og løsninger for energiforsyning.

Resultater viser at det er mulig å nå klimanøytralitet for stasjonær energibruk i bygningene. Studiet viser at for å nå en slik ambisjon er det viktig å satse på energieffektivisering av bygningsmasse og tekniske installasjoner. Energieffektivisering fører til at energibehovet i området vil kunne gå ned fra ca 7,7 GWh til 5,4 GWh (ca. 30% reduksjon). Studiet viser at valg av energiforsyning også har stor påvirkning på klimafotavtrykk og energibalansen i området. Ved energieffektivisering og valg av varmforsyning basert på flisfyrt CHP og installasjon av solceller på tak og fasader kan området nettoutslipp reduseres fra 540 tonn CO₂ ned til -131 tonn CO₂. Det vil si at løsninger kan kompensere for utslipp mer enn stasjonær energi i område vil stå ansvarlig for. Imidlertid vil valg av CHP løsninger gi økning i direkte utslipp og kompensering må skje ved eksport av overproduksjon av solstrøm. Alternativer med fjernvarme eller varmepumpe gir null direkteutslipp på områdenivå men høyere indirekte utslipp slik at nettoutslipp for område kan ikke nullstilles ved kompensering.

Analyse av energibehov og produksjon i område med ulik tidsoppløsning viser at selv om resultat på årlig nivå viser nullenergiområder, finnes det store ubalanser mellom produksjon og behov for ulike tider på døgnet, fra dag til dag og mellom vinter- og sommersesong. Studiet viser at det er viktig å fokusere på energibalanser i område og se på valgmulighet tilknyttet energilagring slik at energibalansen i området kan forbedres. Analyse viser at gode styringsstrategier kan hjelpe til å utjevne effektspisser om vinteren men det vil være store utfordringer tilknyttet overproduksjon om sommeren slik at utmatningseffekt overskrider opprinnelige effektbehov. Disse produksjon topper vil medføre store utfordring i område og kan føre til fatale konsekvenser til forsyningsikkerhet til nettet. Pr i dag finnes det enkel strategi for å løse problematikk med å strupe ned solcelle produksjon men det vil igjen ha konsekvenser for klimaregnskap og totalenergibalanse for område. Det anbefales at disse utfordringer ses nærmere for videreutvikling av område.

1 (19)

Innledning

Sweco Norge har fått i oppdrag å utrede muligheter for å oppnå klimanøytralitet i område sør i bydel nord i Lillehammer kommune. Det er sett på energieffektivisering av bygninger og utført komparativ studie mellom energistandard som tilsvarer TEK10 og passivhusnivå. Det er utarbeidet 5 ulike alternative energiforsyningsløsninger for området. I denne fasen er det valgt å begrense seg til et nabolag og se på mulige alternativer for dette område. Dette notatet omhandler fremvisning av klimagassregnskap for de ulike energiløsninger og mulige tiltak relatert til energiforsyning som kan bidra til å oppnå klimanøytralitet for valgte nabolag.

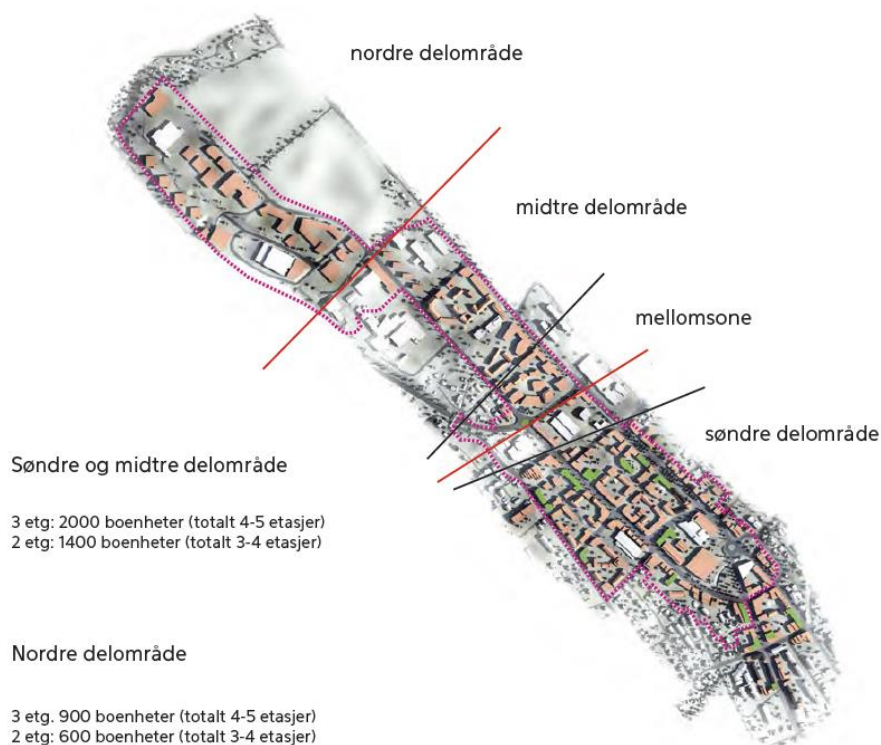
Prosjektpremisser

Det er valgt nabolag i samarbeid med Lillehammer kommune. Nabolaget tar utgangspunkt i planmulighetsstudie utført av Rambøll (Ramboll, 2014) men da med nye forslag rundt felles bo- og næringsarealer. Antall boenheter er antatt ved å basere seg på gjennomsnitt 80 m² bruksareal per boenhet. Tabell 1 nedenfor gir kort oversikt over inndata som er brukt videre i prosjektet.

Tabell 1: Arealer for bolig og næring i nabolag sør Lillehammer kommune

LILLEHAMMER Nabolag sør					
Post			Antall boenheter	Bruksareal oppvarmet	Takareal
			[-]	[m ²]	[m ²]
NYE	Boareal	Område sør	500	40502	
	NÆRING/yrkesbygg	Område sør		22 650	
	sub-total		500	63152	18 000

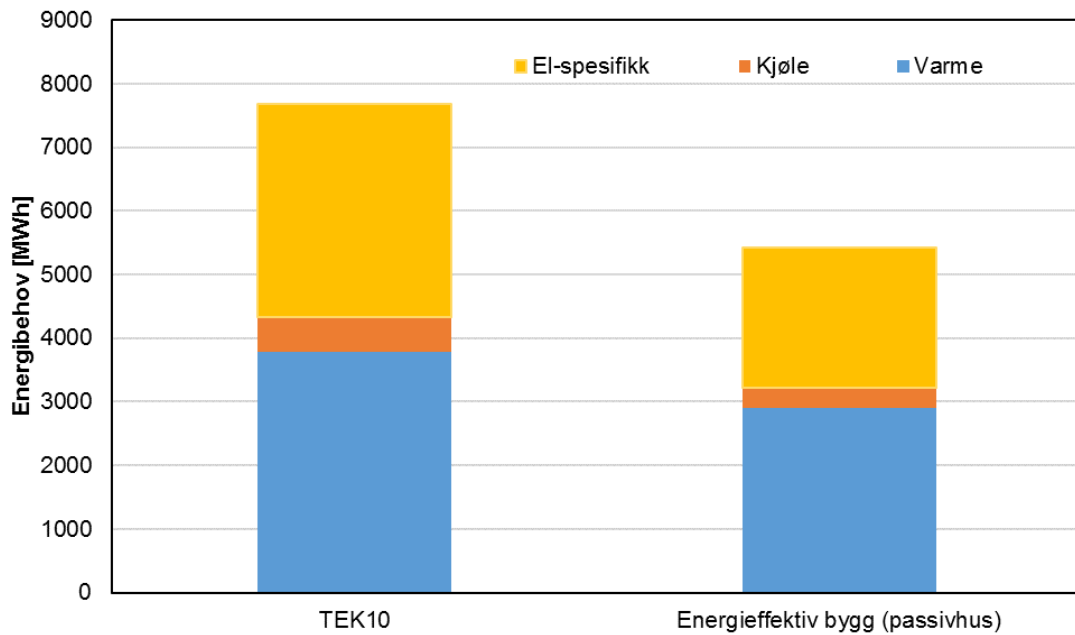
Det er benyttet en faktor på 0,82 for å omregne BRA fra BTA.



Figur 1: Planforslag for bydel nord (hentet fra Rambøll sin studie)

Beskrivelse av energibehov for bygningsmasse

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. Det er tatt utgangspunktet i passivhus standard (NS3700 og NS3701) for å definere kvaliteter til bygningskropp. I denne forbindelse gir notatet på bydelsnivå grundigere innsikt og føringer for å oppnå foreslåtte energikvaliteter. Disse oppsummeres i tabeller gitt i vedlegg A. Med disse forutsetningene lagt til grunn blir det beregnet energibehov for område som vist i figur 2. Det fremkommer av resultatet at området med dagens regelverk vil ha totalt energibehov på ca. 7,7 GWh, men med foreslåtte løsninger kan energibehovet reduseres til 5,4 GWh som tilsvarer ca. 29% reduksjon i energibehov.



Figur 2: Energibehov for område basert på dagens regelverk kontra energieffektive bygninger (basert på passivhus standard),

Beskrivelse av energiforsyningsløsninger

Det er vurdert fem ulike alternativer for energiforsyning for område sør på lik linje med studiet utført for bydel nord. Alle alternativer tar med seg solcelleinstallasjoner på tak og fasader. De fem vurderte alternativer beskrives i tabell 2. For mer info, se notatet om bydel nord. Vedlegg B viser virkningsgrader og dekningsgrader for disse energiforsyningsalternativer. Videre er det benyttet CO₂-faktorer basert på notatet for klimagassregnskap. (se vedlegg C)

Tabell 2: Beskrivelse løsninger vurdert

Løsning 1	Fjernvarme til varme + Luft-vann KM- til kjøling
Løsning 2	Luft-vann VP/KM til oppvarming og kjøling evt. frikjøling + Fjernvarme som spisslast/backup
Løsning 3	Væske-vann VP/KM med brønnpark til varme og kjøling evt. Frikjøling + Fjernvarme som spisslast/backup
Løsning 4	Treflis – drevet CHP til varme og Luft-vann KM + + Treflis-drevet biokjel spisslast/backup

Løsning 5 Biogass – drevet CHP til varme og Luft-vann KM +
+ Pellet – drevet biokjel som spisslast/backup

VP = Varmepumpe
KM = Kjølemaskin
CHP = Combined Heat and Power

Utnyttelse av solenergi

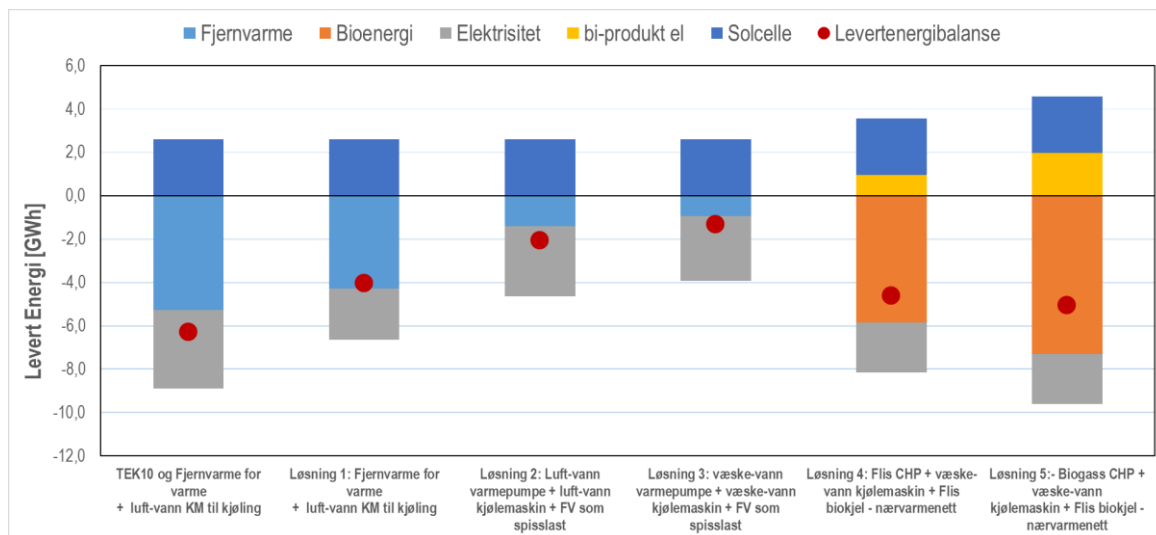
I utredningen blir det lagt til grunn solcelleareal på tak ca 13000 m² og solcelleareal på fasade på ca.3000 m² (1000 m² hver for øst, vest og syd fasade) til produksjon av elektrisitet. Utnyttelse av fasade areal er antatt konservative pga. begrenset omfang av solstudiet i dette stadiet.

Det er tiltenkt å utnytte takareal til alle bygninger i bydelen med øst/vest orienterte solceller med 10° vinkel og antatt en virkningsgrad for solcellemodul på ca. 22% som er tilgjengelig i markedet allerede i dag.

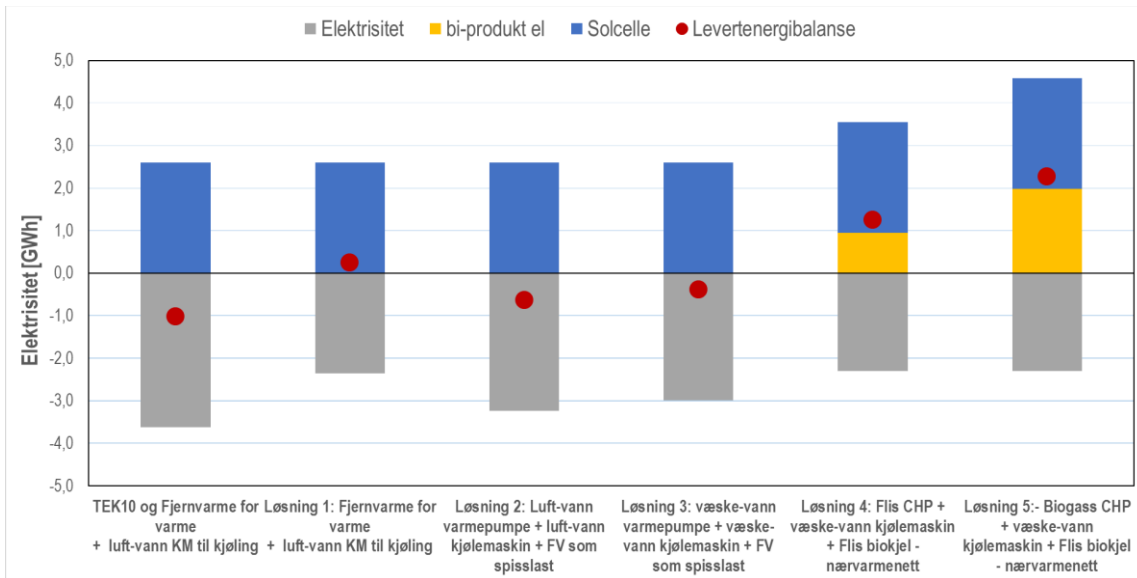
Med de gitte forutsetninger vil takinstallerte solcellepaneler for bydel nord kunne produsere ca. 2,2 GWh elektrisitet mens solceller på fasader produserer ca. 0,38 GWh elektrisitet.

Resultat og analyse

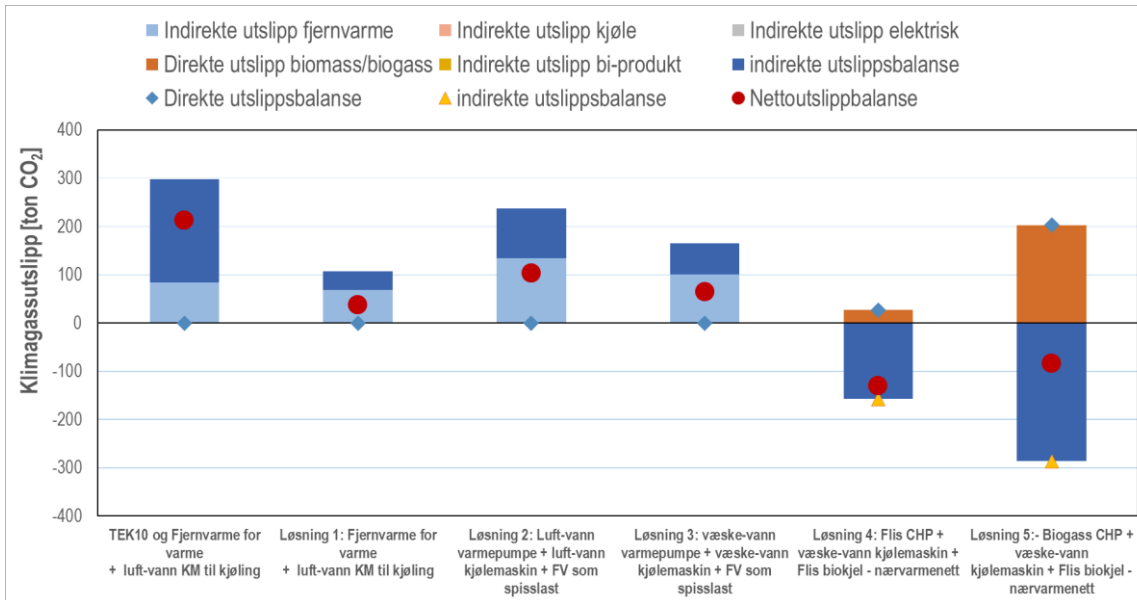
Det er utarbeidet resultater for levert energi, elektrisitet og klimagassutslipp for område sør og sammenlignet med bygninger med TEK10 og fjernvarme som energiforsyningsalternativ. Figur 3, 4 og 5 viser levert energi, elektrisitet og utslipp for område med disse løsningene.



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



Figur 4: Elektrisitetsbalanse for Område sør i Lillehammer. Søylar viser elektrisitets- bruk og produksjon for ulike poster mens prikker viser netto balansen. (Underskudd viser negative verdier mens overskudd viser positive verdier). Figur viser at løsninger 1 produserer nesten like mye elektrisitet område har behov for. Både løsning 4 og 5 gir netto overproduksjon av elektrisitet for driftsfase for bygninger og dermed kan levere elektrisitet til andre forbruksmål enn stasjonær energibruk i bygninger.



Figur 6: Totale (indirekte og direkte) klimagassutslipp pga stasjonær energibruk for Område sør i Lillehammer. Søylar viser klimagassutslipp for ulike poster mens prikker viser netto balansen. Figur viser at løsning 1 nærmer seg til null klimagassutslipp for driftsfase mens løsning 4 og 5 kan kompensere for klimagassutslipp for mer enn kun stasjonærenergi bruk for område.

Resultat viser tendens på lik linje som for bydelsnivå, at løsning 3 har laveste levert energi og at løsning 5 kan klare å produsere mer elektrisitet enn man har behov for i området. Samtidig viser analyse at med bygningsmiks som man har på områdenivå klarer man å nå klimanøytralitetsmål med både løsninger 1, 4 og 5.

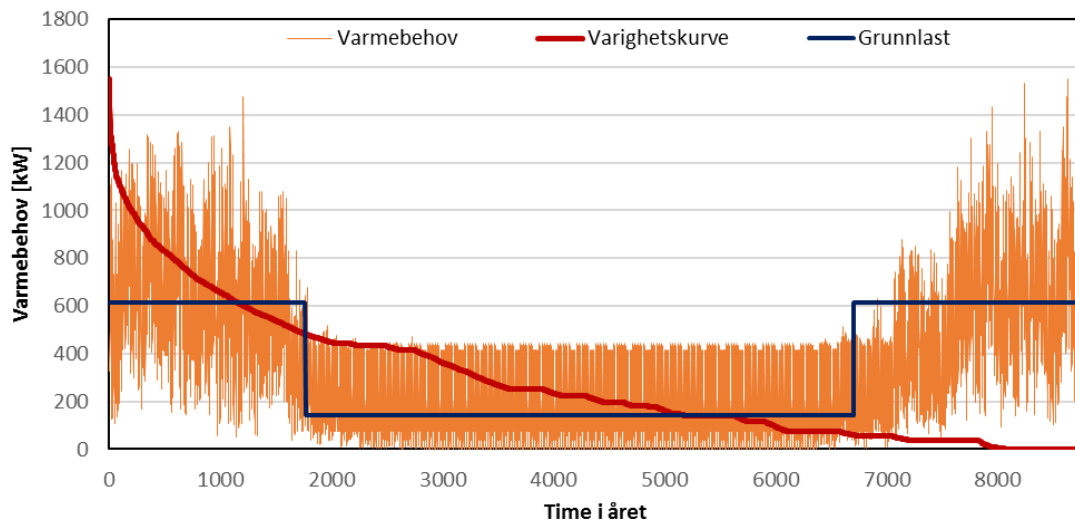
Område sør med bygninger på TEK10 nivå og energiforsyning med fjernvarme og luft-vann kjølemaskin vil medføre indirekte utslipp på ca. 540 tonn CO₂. Solcelle produksjon på tak og fasader vil kunne kompensere for ca. 330 tonn CO₂ men område vil fremdeles ha nettoklimagassutslipp på 215 tonn CO₂ hvor av 130 tonn er pga elbruk mens 85 tonn er pga bruk av fjernvarme. Området vil ha nulldirekte utslipp. Resultater viser at samme energiløsning men valg av energieffektive bygninger og tekniske installasjoner vil kunne medføre betydelig reduksjon i nettoutslipp fra 330 tonn CO₂ til 38 tonn CO₂ (dvs. ca. 82% reduksjon).

Energieffektive bygninger med løsninger 2 og 3 medfører nettoklimagassutslipp på hhv. 100 tonn og 65 tonn CO₂. Disse viser at selv om væske-vann varmpumpe vil gi bedre resultat enn luft-vann medfører det egentlig mer klimagassutslipp enn å benytte fjernvarme. Dette er pga at fjernvarme i område er bio-basert og har mye bedre klimafotavtrykk enn å benytte elektrisitet med nordisk miks. Figur 6 viser at både alternativ 1, 2 og 3 gir null direkte utslipp i område men medfører indirekte utslipp pga bruk av fjernvarme og elektrisitet fra strømmettet forsynt fra produksjon som skjer utenfor områdets grenser.

Resultat viser at løsning 4 med flis-basert CHP gir laveste nettoutslipp for område og ligger på -131 tonn CO₂. Dette pga. at løsningen benytter biomasse på lik linje med fjernvarme og i tillegg produserer elektrisitet (som kalles i rapporten bi-produkt). Løsningen medfører ca. -160 tonn indirekte utslipp og 30 tonn direkte utslipp som fører til nettoutslipp på -130 tonn CO₂.

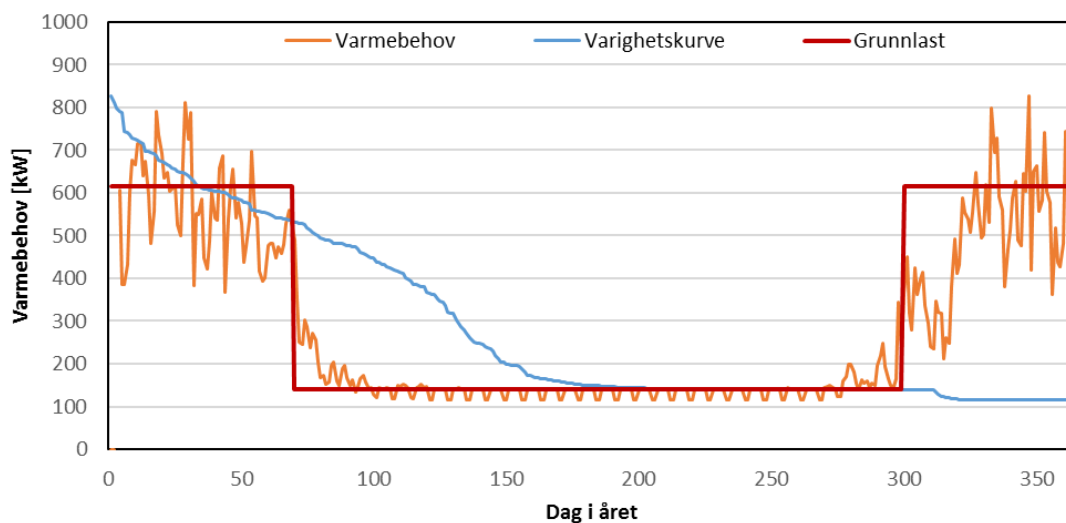
Løsning 5 med biogass-basert CHP medfører nettoklimagassutslipp på -80 tonn. Av disse kommer 200 tonn direkte utslipp pga. biogassforbrenning men -280 tonn CO₂ som indirekte utslipp pga solcelle overproduksjon.

I et enkelt bygg har man antatt at strømmettet er som en stor batteribank og ikke sett på ubalansen mellom energibehov og produksjon som en stor utfordring. Erfaring fra nullutslippsbygg viser at analyse av energibalansen på årlig nivå vil kunne føre til SUB-optimalisert energisystem. For eksempel: ved høy andel nullutslippsbygninger i et område med flere solcellepaneler vil det medføre stor energiproduksjon om sommeren men altfor lite energi om vinteren. Produksjon fra solceller innebærer også store variasjoner fra dag til dag og mellom dag og natt. Disse variasjonene på områdenivå vil medføre behov for å ombygge eller styrke strømmettet og kan i verste fall motvirke sin hensikt om å redusere totale klimagassutslipp. Det er derfor viktig at energibehovene i området analyseres med høyere tidsoppløsning. Det må finnes løsninger som best ivaretar energibalansen i område.



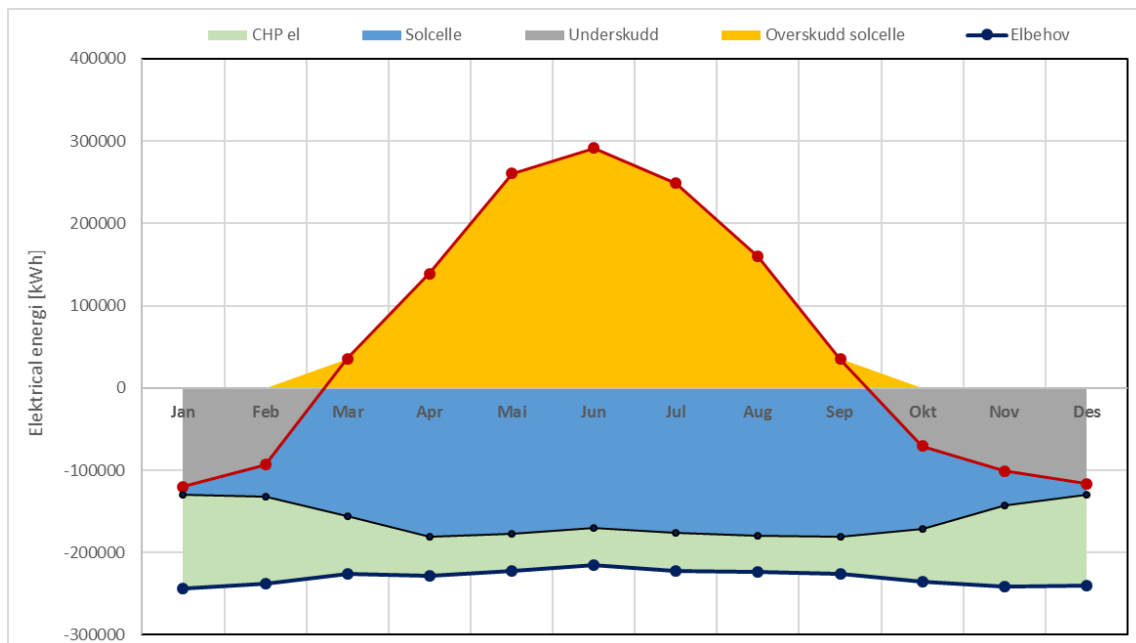
Figur 7: Timeprofil for varmebehov i område. Beregninger viser noe større samtidigheter.

Figur 7 viser varmebehov i område på timenivå. Studien viser at ved å dimensjonere grunnlast på ca. 40% av makseffekt (eller 30% av beregnet bruttoeffekt) vil grunnlast dekke mer enn 80% av varmebehov til område. Oppvarmingsbehov i bygninger varierer pga. utendørstemperaturer og pga. brukers tilstedeværelse og deres samspill med tekniske installasjoner og bruker utstyr. Det medfører at romoppvarmingsbehov ikke sammenfaller for alle bygninger samtidig (U.Dar, 2015). Begrunnelsen er like gyldig i næringsbygg pga. variasjon i internlast og variasjon i tilstedeværelse. Dette medfører at når varmebehov for flere bygninger sammenlagres krever det relativ mindre effekt. Disse betraktninger er ikke hensyntatt i dette studiet men det anses at disse betraktninger vil redusere maks effekt mens utnyttelse grad for grunnlast vil øke. Samtidig spisslast for oppvarming vil bli brattere. Videre kan man se om sommeren at bygninger vil ha kun varmtvannsbehov som varierer mye fra morgen til kvelden og ofte betegnet med spissbehov om morgenen og om kvelden. Disse spisslastene krever ofte oppdimensjonering av energiforsyningssystemer. Analyse på overordnet nivå med døgnprofil for område viser i figur 8 at termisk lagring og flytting av fleksible laster vil kunne utjevne mye av de spisslastene slik at grunnlast vil kunne jobbe mer stabilt og dekke mesteparten av energibehovet i området.



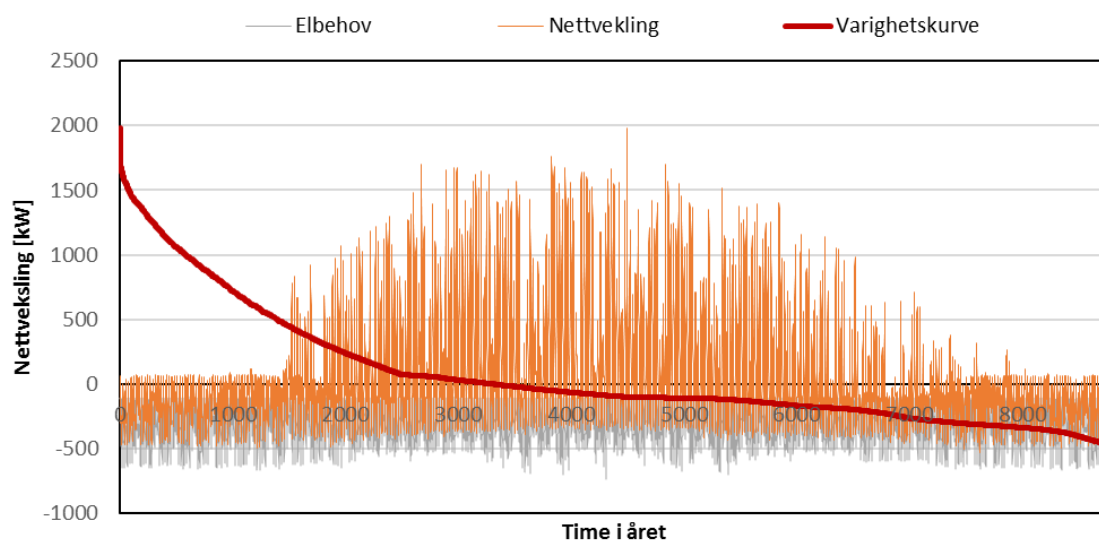
Figur 8: Gjennomsnitt profil over døgn for varmebehov i område – resultat viser at ved god termisk lagring og flytting av fleksible termiske laster kan bruk av spisslast begrenses i stor grad.

Analyse på samme måte for elektrisitet på månedlig nivå blir vist i figur 9. Resultater viser at nesten 35% av elektrisitetsbehovet i området kan dekkes ved å ha CHP mens ca. samme mengde med solcelle produksjon. Område har ca. 30% underskudd som må importeres fra strømmettet utenfor område. Samtidig viser analyse at solcelle produksjon skjer innen få måneder om sommeren (noe i form av overskudd) mens område fremdeles har underskudd om vinteren.



Figur 9: Månedlig oversikt av energibalanse i område. Blå linje viser el-behov i område. Grønt areal viser andel av el-behov som CHP-løsningen vil kunne forsyne. Overskudd i produksjon vises som positiv verdi mens underskudd vises som negativ verdi. Blått areal viser andel av behov som solcelle vil kunne forsyne mens gult areal viser overskudd av el-produksjon fra solcelle. Grått areal viser at området vil ha elektrisitetsunderskudd om vinteren og måtte hente energi fra el-nettet.

Analyse av elektriske behov for området på timenivå viser at el-produksjon fra CHP om vinteren gir betydelig reduksjon i nettutveksling om vinteren. Siden CHP-systemer styres etter varmebehov begynner el-produksjon fra CHP å gå ned ved reduksjon i varmebehov mot slutten av vinteren. Samtidig begynner dagen å bli lysere og solcellene begynner å produsere mer strøm. Allerede i mars måned kan solcellepaneler produsere mer strøm i enkelte timer enn områdets effektbehov. Denne problemstilling vises nærmere i figur 10 hvor strømutsveksling mot nettet på områdenivå vises. Resultat viser at solcelleproduksjon medfører nettutveksling som er større enn områdets netto elektriske belastinger¹. Det betyr at strømmettet kan risikere å bli over-matet med produksjon fra solcelle (medføre økning i spenning) eller i så fall må produksjon fra solcellepaneler strupes ned som igjen betyr at de vil ikke kunne produsere energi i tider når de produserer mest.



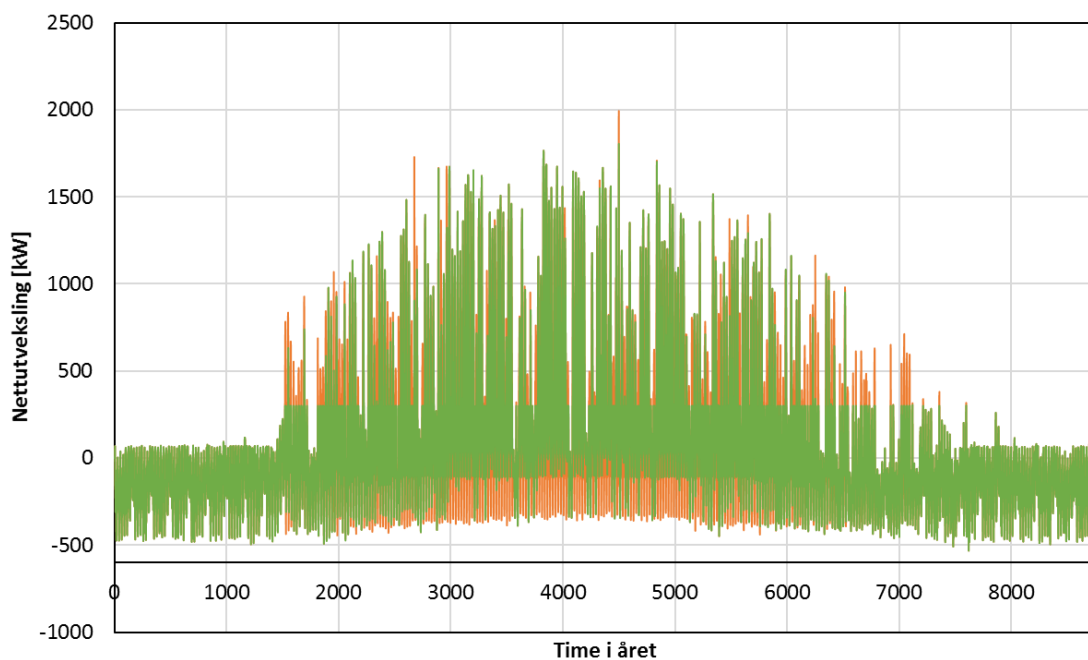
Figur 10: Elbehov og nettutveksling for elektrisitet (etter egenproduksjon) for område på timenivå. Overskudd i produksjon vises som positiv verdi mens underskudd vises som negativ verdi.

¹ Det er utarbeidet strømprofiler for husholdninger basert på bottom-up metode for boligfeltet mens for kontor og næring blir det benyttet standard profiler utarbeidet i SIMIEN. Erfaring viser at denne metoden ikke reflekterer godt nok effektbehov for belysning i næringsbygg. Pga omfang av studiet blir tilnærmingen vurdert til å gi godt nok svar for studiet. For mer info ang. lasteprofil oppbygging for boliger, les artikkel av Ian Richardson. (Richardson, 2012)

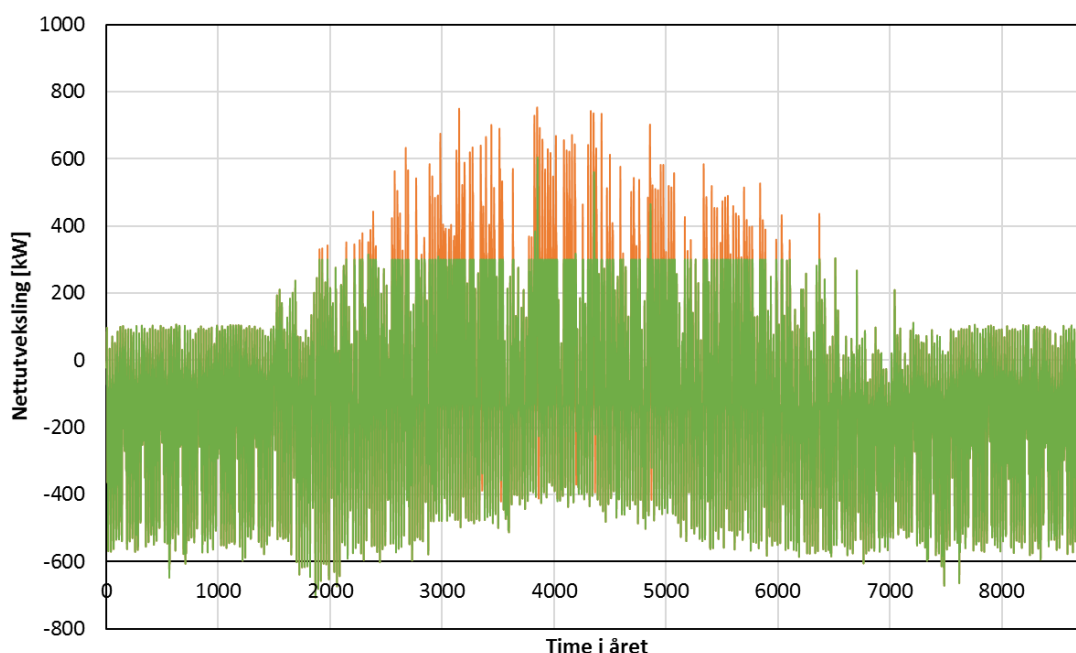
Grålinjer viser el-behov for område mens oransje linjer viser strømutveksling med nettet. El-produksjon fra CHP gir betydelig reduksjon i strømutveksling med nettet om vintertid.

Imidlertid kan noen av disse utfordringer løses ved bruk av lagring av elektrisk energi i område. Lagring av elektrisk energi betegnes ofte ved høye kostnader og en slik løsning anses kun kostnadseffektiv pr i dag for å løse problemer med daglige variasjoner og effektutjevning enn f.eks. langtidsenergilager. Imidlertid etter nye planer for batteriproduksjon fra TESLA og deretter fra Kina vil det kunne påvirke kostnaden sterkt i kommende år og det forventes stor kostnadsreduksjon for batterier.

Det er viktig å ha effektive kontrollstrategier for å utnytte batterikapasiteter effektivt og realisere effektutjevning og «peakshaving» strategier. Grove analyser i denne studien viser at effektbehovet i området kan begrenses til ca. ± 300 kW på behov siden men ikke så lett på produksjon siden. Analyse viser at en enkel kontroll som holder batterier fulladet og utlading kun skjer når effektlast overskrider et predefinert tall, vil føre til mindre selvforsyning i område. Det er derfor viktig å finne smarte løsninger med prediktiv kontroll slik at kontrollstrategier er mer dynamiske og ikke prinsipp-basert og fast. Figur 11 og 12 viser nettutveksling i tilfeller hvor man lager en enkel kontrollstrategi for å begrense nettutveksling på 300 kW for område sør. Resultat viser at målet er oppnåelig for behov med unntak av noe få timer for både behov og produksjon. Disse få timene er vist med viljen slik for å påpeke at aktivbruk av smart styring og bruk av fleksible laster er være nøkkel til å få et velfungerende system. Imidlertid viser resultat at det er store utfordringer for å begrense effekttopper fra solcelle produksjon ved hjelp av en fornuftig størrelse av batteripakke.



Figur 11: «Peakloadshaving» strategi for å begrense effekt på 300 kW (ca. 50% of topplast)-Nettutveksling for elektrisitet (etter egenproduksjon og batteripakke på 2000 kWh) for område på timenivå. Overskudd i produksjon vises som positiv verdi mens underskudd vises som negativ verdi. Grønne linjer viser nettutveksling med batteripakke og kontrollstrategi mens oransjelinjer uten batteripakke



Figur 12: «Peakproduksjonshaving» strategi for å begrense effekt på 300 kW (ca. 30%)-Nettutveksling for elektrisitet (etter egenproduksjon og batteripakke på 2000 kWh) for område på timenivå. Overskudd i produksjon vises som positivverdi mens underskudd vises som negativverdi.

Konklusjon

Analyse viser at område sør med dagens energistandard dvs. ihht. TEK10 vil ha ca. 3,8 GWh varmebehov, 0,55 GWh kjølebehov og 3,4 GWh el-spesifikt behov. Strengere krav til energieffektivitet for bygningskropp tilsvarende passivhus, tekniske installasjoner og brukerstyr vil kunne gi ca. 30% reduksjon i energibehov for område sør.

Det er vurdert 5 ulike alternativer for energiforsyning til område sør. Resultat viser at løsning 3 har laveste levert energi mens løsning 5 krever høyeste levert energi til område. Samtidig er løsning 5 (biogass-basert CHP) eneste løsningen som produserer mer elektrisitet enn man har behov for i området. Løsning 5 klarer imidlertid ikke å oppnå nullutslipp på områdenivå. Både løsning 4 og 5 er nærme å produsere like mye elektrisitet som området har behov for.

Sammenligning av bygningsmasse mellom TEK10 og passivhusnivå viser at energieffektivisering er viktig for å oppnå klimanøytralitetsambisjonen i området. For eksempel, TEK10 bygningsmasse med løsning 1 vil medføre indirekte utslipp på ca. 540 tonn CO₂ mens solcelle produksjon vil kunne kompensere for ca. 330 tonn CO₂. Område vil til slutt ha ca. 210 tonn CO₂ indirekte utslipp. Energieffektivisering av bygningsmasse (med tekniske installasjoner) vil kunne redusere indirekteutslipp for løsning 1 ned til 365 tonn CO₂ (før solcelle produksjon) eller 35 tonn

CO₂ (etter solcelle produksjon). Videre viser studiet at valg av varmforsyning spiller stor rolle. Å velge CHP-systemer framfor vanlig flis-fyringsbasert fjernvarme vil kunne redusere nettutslipp for område fra 35 tonn CO₂ ned til -131 tonn CO₂ dvs. løsninger kan kompensere mer utslipp enn det område vil stå ansvarlig for. Til sammen betyr det at energieffektivisering, (flisfyr) CHP-basert varmforsyning og solcelle produksjon har potensial til å redusere CO₂ utslipp fra 540 tonn ned til -131 tonn. Imidlertid vil valg av denne løsninger gi økning i direkte utslipp og kompensering må skje ved eksport av overproduksjon av solstrøm. Alternativer med fjernvarme eller varmepumpe gir null direkteutslipp på områdenivå men høyere indirekte utslipp slik at nettutslipp for område kan ikke nullstilles ved kompensering.

Energibalanse analyse viser at det kan komme ubalanser mellom produksjon og behov i området på ulike tider av døgnet, fra dag til dag og mellom ulike sesonger. For langtids- og samfunnsperspektiv er det viktig å ta hensyn til energibalanser i område slik at energiforsyning ikke krever stor ombygning av infrastruktur og dermed mer utslipp relatert til materialer. En grov analyse for energibehov og produksjon viser at en middels stor batteripakke med effektiv kontrollstrategi kan løse utfordringer tilknyttet effektbehov toppene men overproduksjon av solenergi om sommeren tilbyr utfordringer som ikke er lett å håndtere ved en fornuftig størrelse av batteripakke. Disse produksjon topper vil medføre store utfordring i område og kan føre til fatale konsekvenser til forsyningsikkerhet til nettet. Pr i dag finnes det enkel strategi for å løse problematikk med å strupe ned solcelle produksjon men det vil igjen ha konsekvenser for klimaregnskap og totalenergibalanse for område. Det anbefales at disse utfordringer ses nærmere for videreutvikling av område.

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 sentralnettet.* 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.).
- U.Dar, L. G. (2015). The influence of the occupant's behavior on the heating needs and the energy system performance: A case of well-insulated detached house in cold climates. *Building Simulation*.
- Åse Nossun. (2005). *Reisevaneundersøkelse for Lillehammer 2005*. Lillehammer.

Vedlegg A: Energikvaliteter til bygningskropp, tekniske installasjon og brukerutstyr

Tabeller nedenfor kort oppsummerer energikvaliteter foreslått løsninger. Se energinotat for detaljert beskrivelser.

Tabell A1: *Energibehov til oppvarming (romoppvarming og ventilasjonsvarme)*

Bygningstype	Foreslått		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 A2: *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		

Tabell A3: *Energibruk til brukerutstyr*

Bygningstype	brukerutstyr		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

Tabell A4: *Energibruk til belysning*

Kontor	18,5 kWh/m ²	34 kWh/m ²	Redusert energibruk iht. NS3701 (energieffektive 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.

Tabell A5: 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.			

Vedlegg B: Virkningsgrader og dekningsgrader for ulike energisystemer.

Tabell B1: 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	

Tabell B2: Dekningsgrader 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 %

Vedlegg C: CO₂-faktorer for ulike energibærere*Tabell C1: 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