



Leangen bolig AS

Energi og miljø - fagutredning

Utgave: 1.02

Dato: Revidert 15.11.2018

DOKUMENTINFORMASJON

Oppdragsgiver:	Leangen bolig AS
Rapporttittel:	Energi og miljø - fagutredning
Utgave/dato:	1.02/ Revidert 15.11.2018
Filnavn:	Energi og miljø - fagutredning .docx
Arkiv ID	
Oppdrag:	613996-02--Leangen Bolig Fagutredninger
Oppdragsleder:	Birgitte Nilsson
Avdeling:	Energi og miljø
Fag	Byutvikling (storby)
Skrevet av:	Hogne Nersund Larsen, Alexander Borg, Jens Tønnesen
Kvalitetskontroll:	Hogne Nersund Larsen
Asplan Viak AS	www.asplanviak.no

FORORD

Asplan Viak har vært engasjert av for å Utrekning av temarapporter. Birgitte Nilsson har vært oppdragsleder for Asplan Viak.

I fagutredningen for energi- og miljø har Hogne Nersund Larsen, Alexander Borg og Jens Tønnesen bidradd.

Dette dokumentet er en revidert utgave av Energi og miljø fagutredning (utgave 1.01 datert 18.06.2018) og inneholder noen mindre endringer og tilleggskommentarer.

Trondheim, 15.11.2018

Birgitte Nilsson

Oppdragsleder

Hogne Nersund Larsen

Kvalitetssikrer

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Sammendrag.....	4
2	Innledning og definisjoner.....	6
2.1	Klimafotavtrykk.....	7
3	Klimaregnskap områdenivå	10
3.1	Metodikk.....	10
3.1.1	Sammenlignbare alternativer.....	11
3.2	Materialer	13
3.2.1	Materialbruk	13
3.2.2	Avfallsbehandling	13
3.2.3	Endringer i arealbruk.....	13
3.3	Energi	14
3.3.1	Fremtidig krav til energi	15
3.3.2	Materialbruk ved eventuell lokal energiproduksjon	16
3.4	Utbyggingstrinn og energistandard.....	17
3.4.1	Samlet netto energibehov	18
3.4.2	Illustrasjon av termisk effektbehov ved ulike bygningsteknisk standard.....	18
3.4.3	Energibehov ved noen ulike energiforsyningsmuligheter	19
3.4.4	Andre energirelaterte forhold som kan påvirkes i tidligfase.....	22
3.4.5	Utvexling av energi i lokalområdet.....	23
3.5	Transport.....	24
3.5.1	Transport – etterspørsel	24
3.5.2	Transport – teknologier	24
3.6	Utslippsfaktorer	25
3.6.1	Utslippsfaktor for strøm	25
3.6.2	Utslippsfaktor for fjernvarme.....	25
3.6.3	Klimagassutslipp fra biogene energikilder	25
3.6.4	Utslippsfaktorer for materialbruk til lavutslippsteknologier	26
3.7	Resultater.....	27
4	Alternativsanalyser	28
4.1	Klimagassutslipp fra noen ulike energiforsynings-scenarier.....	28
4.2	Klimagassutslipp fra energiforsyning – sensitivitetsanalyse.....	29
4.3	Sensivitetsanalyser Transport	31
5	Diskusjon og konklusjon.....	32

1 SAMMENDRAG

Det er en målsetning i planprogrammet at Leangen skal være en bærekraftig bydel med fokus på lavt klimafotavtrykk. Denne utredningen beskriver hvordan Leangen kan sikre at utbyggingen bidrar til reduksjon av klimagassutslipp fra transport, material- og energibruk.

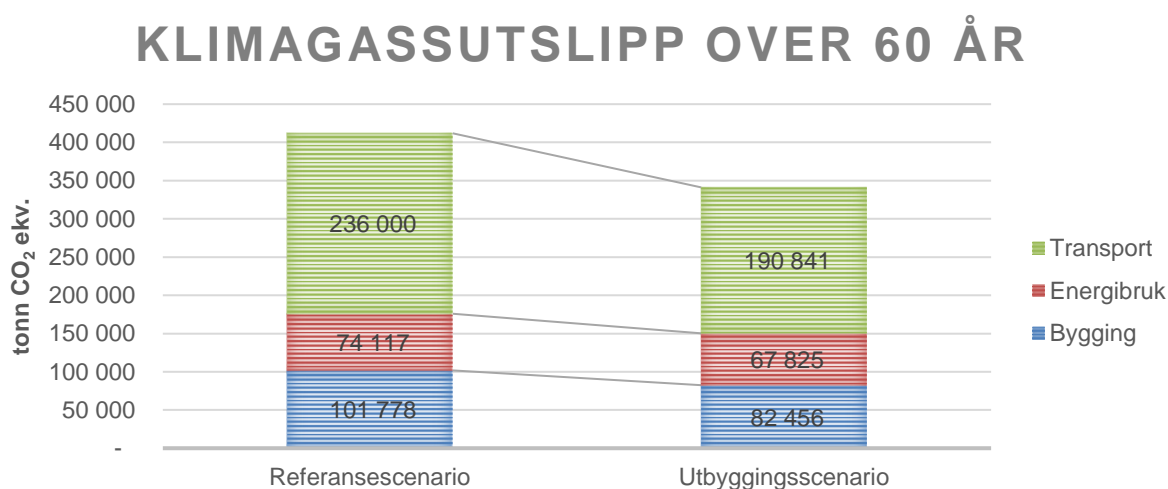
Leangen har et spesielt påvirkningspotensiale innenfor temaene nevnt ovenfor. For å fange opp både direkte utslipp som skjer innenfor området (spesielt transport), og indirekte utslipp som følge av bruk av materialer og energi til bygninger er det lagt opp et fullstendig livsløpsperspektiv for utredningen.

For å få sammenlignbare scenarier er det viktig å ha scenarier som til sammen tilbyr samme funksjon. Derfor er det gjort en korrigering for hvilke type boliger som bygges ut i referansescenariet. Her er data for nybygging siste 3 år hentet ut fra matrikkelen som gir en miks av (leiligheter, rekkehus og boliger) og til sammen et større areal enn for utbyggingsscenariet på Leangen.

Klimaregnskapet viser en reduksjon på om lag 70 000 tonn CO₂ ekv. eller 17% i forhold til referansescenariet. Den største reduksjonen skjer innenfor transport, og det er også her vi ser det største bidraget på 56% av totale klimagassutslipp. Bygging og energibruk står for henholdsvis 24% og 20% av totale klimagassutslipp. Energibruken er beregnet basert på antakelser om fremtidige minimumskrav i byggeforskriften. Ytterligere reduksjon av enkeltbygningers energibehov er derfor sannsynlig.

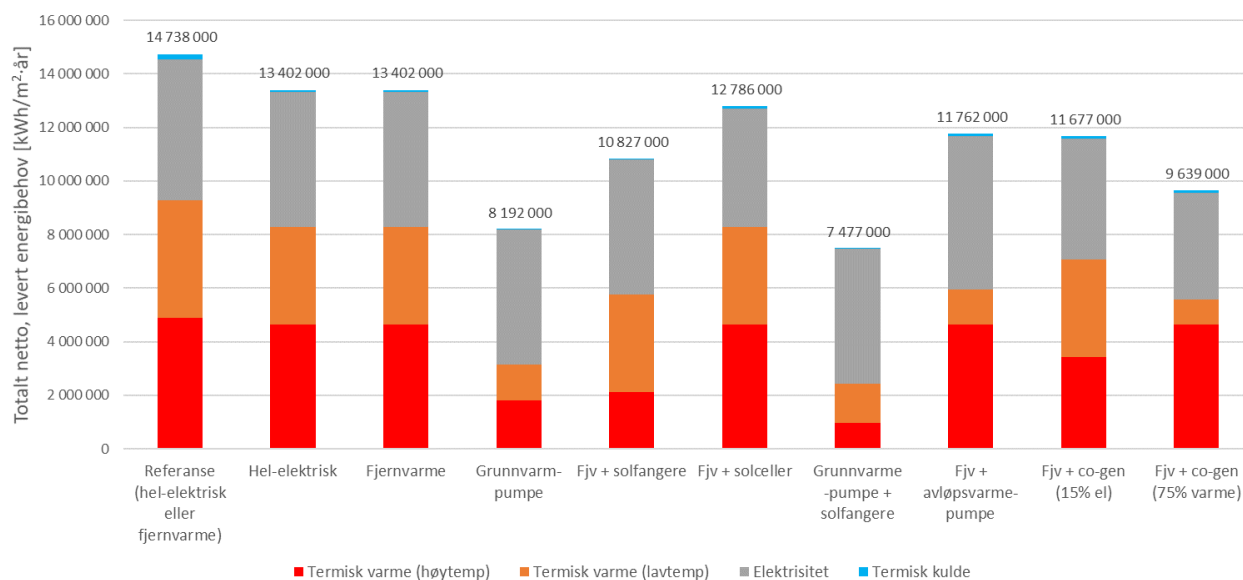
Det er også et betydelig potensiale for reduksjon i levert energibruk og klimagassutslipp ved å benytte alternative energiproduksjonsløsninger som energibrønner med varmepumper eller solfangere/solceller. Ved bruk av grunnvarmepumper vil klimautslipp fra energibruk være 83 000 tonn CO₂ ekv., som tilsvarer en reduksjon på 20% ift. referansen. Selv om et slikt tiltak vil medføre et ekstra klimautslipp relatert til bygging av energibrønner og varmepumper, så utgjør dette en liten andel per levert energienhet over levetiden.

Et alternativt referansescenario er å sammenligne utbygging på Leangen med utbygging i utkantstrøk i Trondheim. Det kan argumenteres med at familieboliger på Leangen vil føre til at flere ønsker å bo sentralt. En sammenligning av transportutslipp for Trondheim Omegn og utbyggingsscenariet gir en reduksjon i utslipp fra transport på 40% for utbygging på Leangen.



Figur 1-1: Totale klimagassutslipp i tonn CO₂ ekv. over 60 år for et referansescenario og et utbyggingsscenario.

Vi har videre sett på potensiale for reduksjon i levert energi til området og resulterende klimagassutslipp ved å se på noen ulike alternative energiløsninger, som f.eks grunnvarmepumpe med energibrønner og solfangere/solceller. Estimaten viser stor variasjon i behov for levert energi ved de ulike alternativene for lokal energiproduksjon, se Figur 1-2. Gjennomførbarhet og økonomi må imidlertid utredes videre senere i prosjekt.



Figur 1-2: Ulike energiforsynings scenarier og utnyttelse av fornybare energikilder. Årlig, netto-levert energibehov for ulike energiløsninger

Det vil ellers være spesielt interessant å vurdere felles energiløsning med utveksling av energi mellom brukere i området (IKEA, Leangen Ishall m.m.). Området ligger i konsesjonsområdet for fjernvarme, så det kan være fornuftig å involvere Statkraft varme videre i en slik prosess.

Ellers bør tas høyde for plassering av et stort antall energibrønner på området og et mindre bygg for plassering av en felles energisentral; enten for utbyggingen alene eller i samarbeid med andre virksomheter i området. Alternativt kan en energisentral plasseres i et av byggene. Utover dette bør det settes av plass for akkumuleringsvolum (termisk og elektrisk) i de ulike byggene da dette kan redusere behovet for installert effekt.

Oppsummert: Klimagassberegningene viser at en kompakt utbygging i Leangen-området gir en klar fordel for utslipp fra materialbruk, energi og transport sammenlignet med en referanseutbygging i Trondheim kommune.

2 INNLEDNING OG DEFINISJONER

Global oppvarming og reduksjon av menneskeskapte klimagasser blir av mange sett på som vår tids største utfordring. Det meste av klimagassutslipp skjer som følge av hvordan vi lever, noe som igjen påvirkes av hvor og hvordan vi bor. En gjennomsnittlig nordmann er per i dag ansvarlig for et totalt klimafotavtrykk på mellom 8 og 9 tonn CO₂-ekvivalenter (tCO₂ ekv.) fra sine aktiviteter og innkjøp av varer og tjenester ¹.

Flere viktige element i klimafotavtrykket påvirkes av valg gjort i forbindelse med en utbygging av bolig. Energi og bygg-relaterte utslipp utgjør til sammen nær 2,5 tCO₂ ekv, og legger man til bilbruk – som naturlig nok henger sammen med plassering av utbygging av boliger – er bidraget for disse tre til sammen på 4 tCO₂ ekv. per innbygger. Disse tre element utgjør altså nesten halvparten av klimafotavtrykket til en gjennomsnittlig nordmann.



Figur 2-1: Klimafotavtrykk for en gjennomsnittlig nordmann

En viktig målsetning Norge må forholde seg til er den såkalte Paris-avtalen der det er vedtatt at man skal begrense den globale oppvarming til 2 grader ². Denne innebærer at Norge skal redusere sine utslipp med 40% innen 2030 ³.

Leangen bolig AS er her bevisst sin rolle i å bidra til reduserte utslipp, og planlegger bevisst for at Leangen skal bli **en bærekraftig bydel med fokus på lavt klimafotavtrykk**, gjennom:

- Et helhetlig fokus gjennom bruk av klimafotavtrykk av husholdninger for å illustrere alle mulige påvirkningsbidrag.
- Gjennomføre klimavurderinger på områdenivå for mer detaljerte vurderinger på energi, bygg og transport.
- Gjøre mer spesifikke klima og miljøvurderinger av ulike energiløsninger.

I denne sammenheng nevnes noen forhold Leangen Bolig fokuserer på i utviklingen av området:

¹ Da er offentlige tjenester (ca 3 tCO₂e.) og uklassifiserbare bidrag (ca 1 tCO₂e.) ekskludert

² Klimatoppmøtet i Paris i desember 2015 endte med en global avtale om at landene skal arbeide for å holde global oppvarming «godt under 2°C over førindustrielt nivå, og arbeide for å begrense oppvarmingen til 1,5°C».

³ <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/slik-skal-norge-na-klimamalene-for-2030/id2557549/>

- Dialog med fjernvarmeleverandøren med tanke utvikling av lokalt varmenett og mulighet for sesonglagring/energibrønner
- Lokalt lav-temperatur varmenett for å muliggjøre utnyttelse av spillvarme-ressurser og minimere varmetap (gjennom deltakelse i forskningsprosjektet LTTG+; lokale lavtemperatur-varmenett).
- Beboerkantine på området med tanke på å gjøre hverdagen lettvinnt, samt redusere matsvinn.
- Parkeringsmuligheter med tanke på bildelingsordninger og sykler.
- Utvikling av gjestearealer, lekearealer, store sportsboder og rengjøringsstasjon/verksted for sykler kan bidra til mindre arealbehov i leilighetene totalt; mindre klimafotavtrykk.
- Allerede i tidlig fase være bevist på effekter av kortreiste byggematerialer og utslippsfri byggeplass gjennom bruk av LCA-metodikk.
- Bidra til korte avstander mellom området og til kollektivtransport.

2.1 Klimafotavtrykk

Nasjonalt er det stort fokus på klimavennlige boformer og boområder ⁴. I Trondheim er spesielt Brøset-prosjektet godt kjent, der man var tidlig ute med å introdusere begrepet klimafotavtrykk i sammenheng med en områdeutvikling.

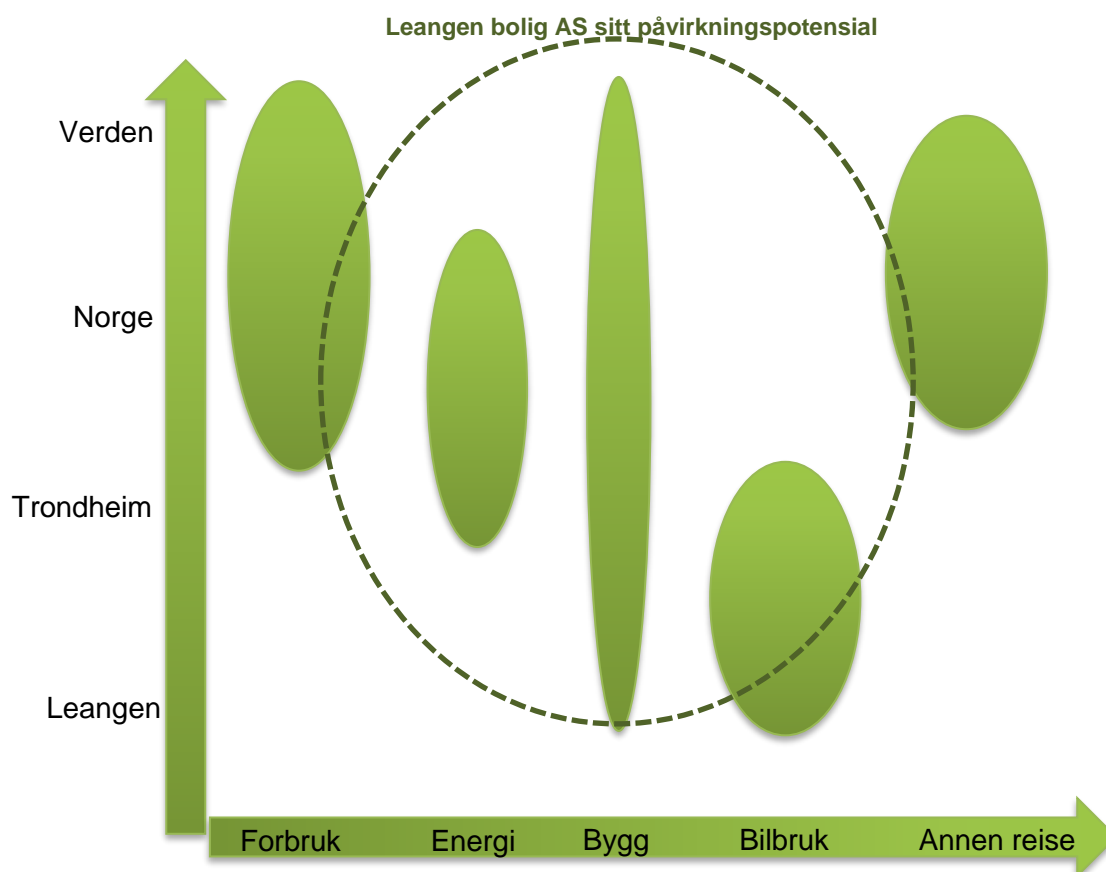
Begrepet klimafotavtrykk skiller seg noe fra tradisjonelle – geografiske fordelte - klimaregnskap. Når man ser på fotavtrykk så ser man på alle klimabidrag langs hele verdikjeden til f.eks. et produkt, uavhengig av hvor de skjer. Geografisk fordelte klimagassutslipp indikerer derimot alle klimagassutslipp innen geografiske definerte grenser. Per nå brukes begge metoder. Geografiske systemgrenser er fremdeles svært gjeldende på nasjonalt nivå når man sammenligner ulike land, mens man på produktnivå har innarbeidet fotavtrykksbaserte metoder. For de nivå som ligger mellom, f.eks. bedrifter, kommuner, byer og områder, så er det ulike praksis. Trenden er imidlertid at flere ønsker seg helhetlige, fotavtrykksbaserte tilnærminger som ser på alle klimagassutslipp som forårsakes, uavhengig av hvor disse skjer. Trondheim kommune har også i sin Kommunedelplan: energi og klima 2017–2030 indikert ønske om å fokusere på både eget og byens klimafotavtrykk. På bakgrunn av dette ønsker Leangen Bolig AS å benytte klimafotavtrykk som gjennomgående metodikk i klima og energivurderinger.



Figur 2-2: Ulike metoder for klimaregnskap på ulike nivå

⁴ Se noen eksempler her: <https://www.asplanviak.no/aktuelt/2016/12/15/klimavennlig-omraadeutvikling-og-konseptvalg/>

Viktigheten av å inkludere klimagassutslipp ut over de geografiske grensene til Leangen/Trondheim blir åpenbare når vi skjematisk illustrerer bidrag til en gjennomsnittlig nordmann fordelt på hvor bidragene hovedsakelig skjer. I Norge er det sjelden bruk av fossile brensler lokalt til energiforsyning, så potensielle klimagassutslipp på Leangen vil da være hovedsakelig klimagassutslipp fra byggeprosessen (anleggsmaskiner, dieselaggregat) og noe bilbruk. Strekker man grensene videre til resten av Trondheim ser vi ytterligere bilbruk og også introduksjonen av energibidrag i form av f.eks. fjernvarmeproduksjon. Går man videre til Norge og verden ser vi også store bidrag fra forbruk (mat, klær, og annet forbruksmateriell) og annen reise. Annen reise er typisk flyreiser innenlands og utenlands.



Figur 2-3: Skjematisk illustrasjon av klimabidrag fra en utbygging og bosetting på Leangen, med påvirkningspotensial til Leangen bolig AS stipleit inn

Selv om Leangen bolig har som mål å påvirke alle bidrag i mer bærekraftig retning, er det opplagt at noen bidrag er lettere å påvirke enn andre. Som vi ser av Figur 2-32-3 så anser vi bidrag fra energi og bygg til å ligge innen grensene for påvirkningspotensial, naturlig nok. Også bilbruk kan i betydelig grad kunne påvirkes. Innen forbruk og annen reise (typisk flyreiser) er det mer vanskelig å påvirke direkte, men også her trengs det økt fokus.

Ellers er det viktig å nevne:

- Matvarer utgjøre et viktig bidrag til klimafotavtrykk, hvor matsvinn ofte kan reduseres mye. Det er ønskelig med en kantine i området med fokus på klimavennlig mat og hvor det kan være enklere å redusere matsvinnet enn i hver enkelt husholdning.
- En livstil med fokus på bruk av tjenester og treningsaktiviteter, fremfor en mer materiell livstil, er gunstig klimamessig. Her vil nærhet til treningsmuligheter i aktivitetsaksen kunne spille positivt inn. Romslige sportsboder, god plass til sykkelparkering og rengjøringsstasjoner for sykler kan bidra til dette, samt gjøre det mer attraktivt å velge sykkel som transport.
- Et attraktivt nærmiljø og tilgang til naturen gjennom utvikling av den skisserte naturaksen i prosjekt vil kunne spille positivt inn for å redusere «annen reise» kategorien. Dette fordi at det å gjøre nærområdet attraktivt, minker behov for å reise bort. Den skisserte naturaksen vil også bidra til bedre klimatilpasning ved at fordrøyningsvolumet blir stort og med gode flomveier.

Neste steg i energi og miljøvurderingen er å se på klimaregnskap på områdenivå. Dette gjøres med et verktøy utviklet av Asplan Viak. Her fokuserer vi på de viktigste områdene som en områdeutbygging har påvirkningskraft på: energi, bygg og transport.

3 KLIMAREGNSKAP OMRÅDENIVÅ

I dette kapitlet fokuserer vi på de viktigste områdene som en områdeutbygging har påvirkningskraft på – energi, bygg og transport.

3.1 Metodikk

Planlegging og disponering av arealer og etablering av infrastruktur kan ha stor påvirkning på utslipp av klimagasser. Dette gjelder både påvirkning som skjer etter at disponeringen og byggingen har skjedd (for eksempel fra energibruk og transport) og under rehabilitering og etablering av nye bygg (for eksempel fra materialer og anleggsarbeid).

Det er to sentrale elementer som bør inngå når man skal gjøre en klimasammenlikning av alternativer for byutvikling eller utbygging av et område:

- 1) Det første elementet er at man må sammenlikne scenarioer som faktisk er sammenliknbare.

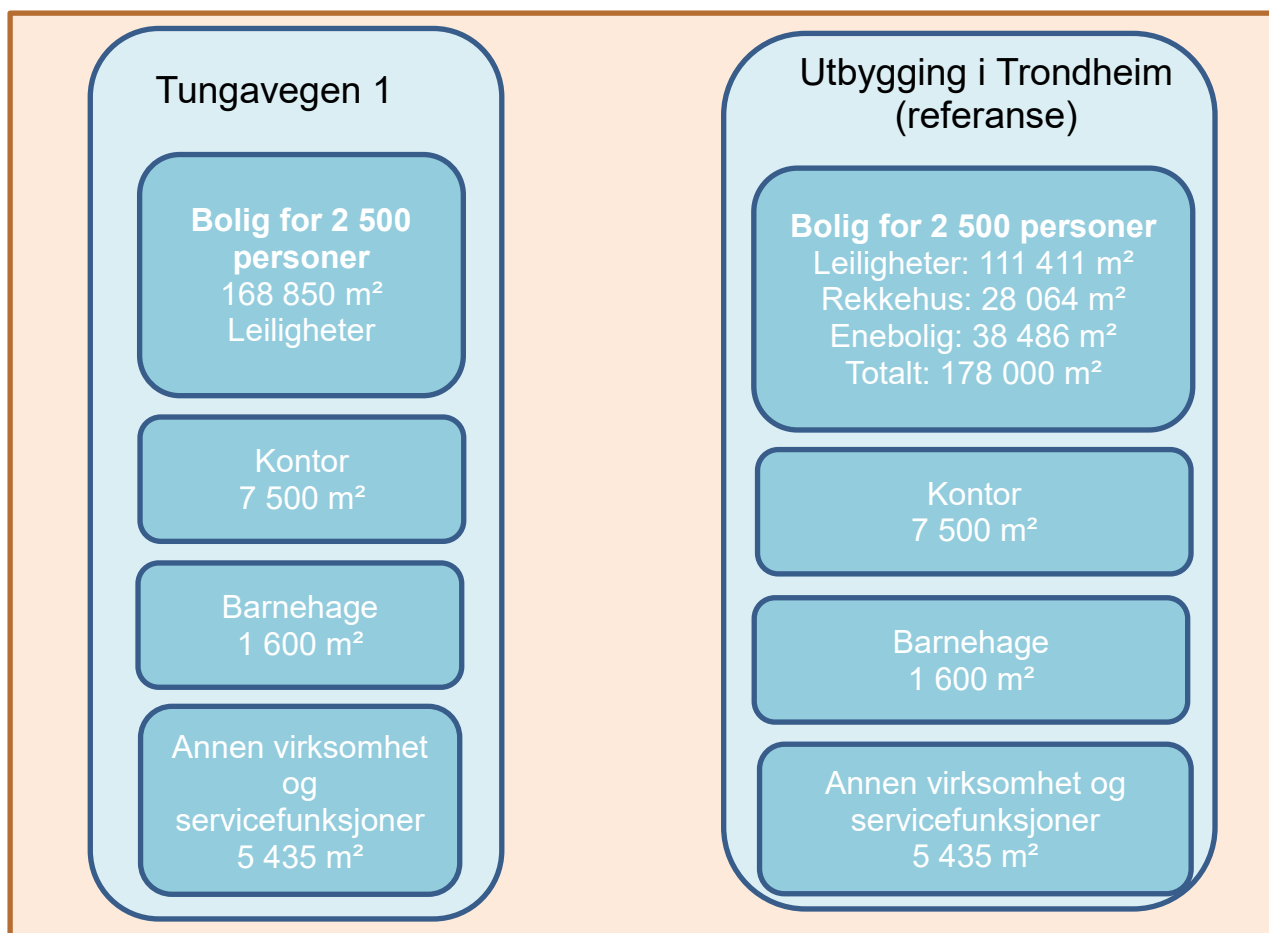
Dette innebærer at man tilstreber å sette opp alternativer/scenarioer som til sammen tilbyr samme funksjon. I dette tilfellet er det snakk om å sammenligne utbyggingsalternativet med et referansescenario som i dette tilfellet er gjennomsnittlig utbygging i Trondheim kommune. Et alternativt referansescenario kan være at utbyggingen på Leangen erstatter familieboliger i omegnskommunene, og får familier til å flytte mer sentralt. Reduksjon av klimautslipp fra transport i et slikt alternativ er vurdert nærmere i kapittel 4.3

- 2) Det andre elementet er at man bør legge til grunn et helhetsperspektiv eller livsløpsperspektiv for sammenlikningene.

Dette sikrer at alle utslippseffekter inkluderes. Utredningene kan dekke flere typer miljøpåvirkninger, eller fokusere på en enkeltpåvirkning (som for eksempel utslipp av klimagasser). Aspekter som kan gi forskjell i miljøfotavtrykk mellom utbyggingsalternativer kan være:

- Forskjeller i transportvolum for persontransport
- Ulikt transportvolum for varetransport
- Forskjellig teknologi i transport
- Forskjeller i utslipp fra etablering av bygg og infrastruktur (materialer, grunnstabilisering, anleggsarbeid)
- Direkte miljøkonsekvenser av arealbruksendring (for eksempel drenering av myr).
- Indirekte konsekvens av arealbruksendring (f.eks. bortfall av matproduksjon ved nedbygging av matjord)
- En rekke andre case-spesifikke forskjeller

For å få sammenliknbare scenarier må man ha en formening om hvor og hvordan bolig og næring vil utvikles, om det ikke skjer i det aktuelle utbyggingsområdet. Her kan statistikk om historisk utvikling og eventuelle kommunale planer være til hjelp. Figur 3-13-1 viser eksempel på hvordan man lager sammenliknbare utviklingsscenarier. I vårt tilfelle vil vi da sammenlikne utbygging i planalternativet på Leangen (Tungavegen 1) med en gjennomsnittlig utbygging i Trondheim kommune.



Figur 3-1: Sammenlignbare alternativer/scenarioer – utbygging Tungavegen versus gjennomsnittlig utbygging Trondheim kommune.

Alternativene er dominert av bolig og boligblokk, så det er gjort noen forenklinger i antall bygningskategorier ved estimering av energibehovet. Følgende er benyttet: forretningsbygg, barnehage, boligblokk, småhus og kontor. Et planlagt helse- og velferdssenter er for eksempel behandlet som bolig. Dagligvare, handel/service, treningscenter, kantine, avfallsstasjon er behandlet som forretningsbygg under «Annen virksomhet og servicefunksjoner» i Figur 3-13-1.

3.1.1 Sammenlignbare alternativer

For referansescenarioet er det gjort korrigerer for hvilken type arealer som bygget ut. Ved utbygging av boliger på Tungavegen 1 vil dette kun være leiligheter, mens det ved alternativ utbygging i Trondheim vil være en miks av boligtyper (leiligheter, rekkehus og eneboliger).

Ved å trekke ut data for nybygging i Trondheim kommune siste 3 år fra matrikkelen, kommer det frem at arealfordelingen av nye boliger i Trondheim er 66% leiligheter, 17% rekkehus og 17% eneboliger. Vi har brukt denne fordelingen som en antagelse for fordeling av boligareal som vil bli bygget hvis det ikke bygges i Tungavegen 1.

Areal per person varierer med ulike boligtyper. Det er derfor gjort en korrigerer av boligarealet i referansescenarioet for å kunne bosette samme antall personer som i planalternativet. For andre funksjoner (virksomheter, barnehage) korrigeres ikke arealet.

Tabell 3-1 Utbyggingsmønster for boliger bygget i Tungavegen 1 versus et gjennomsnitt i Trondheim. Andre funksjoner (virksomheter, barnehage) korrigeres ikke, og er ikke tatt med i tabellen.

Boligtype	Utbyggingsmønster Tungavegen 1	Utbyggingsmønster Trondheim	Areal per person (m ²) ⁵
Leilighet	100%	66%	50,0
Rekkehus	0%	17%	48,9
Enebolig	0%	17%	67,1

Resulterende arealer for, nybygg (innenfor og utenfor Tungavegen 1) og riving er så benyttet videre i beregningene av utslipp fra byggeaktiviteter, transport og energi.

For å tilrettelegge utbyggingsarealet til modellen er som nevnt noen arealer tilnærmet med forretningsbygg og boliger. Helse og velferdssenter er tilnærmet med boliger. Treningssenter, handel/servicearealer, dagligvare og andre mindre arealer er tilnærmet med forretningsbygg. De totale arealene brukt i beregningene er vist i Tabell 3-2 med forutsetninger som ellers gitt i dette kapitlet.

Tabell 3-2 Totale utbyggingsarealer for Tungavegen 1 og referansescenariot som er lagt til grunn i videre beregninger

Boligtype	Utbygging Tungavegen 1 [m ² BRA]	Utbygging (referanse) Trondheim [m ² BRA]
Forretningsbygg	5 435	5 435
Kontor	7 500	7 500
Barnehage	1 980	1 980
Boligblokk	168 805	111 411
Småhus		66 550
SUM	183 720	192 876

⁵ Kilde: SSB: <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/fobolig/hvert-10-aar/2013-02-26>

3.2 Materialer

3.2.1 Materialbruk

For selve byggingen av nye bygninger (materialbruk) er det lagt til grunn utslippsnivåer per bygningstype som for standard «skoeskebygg» (referansebygg) i Klimagassregnskap.no. Dette er meget omtrentlige tall, men gir likevel en indikasjon på utslipp fra materialbruk ved rehabilitering og nybygg. Referansebygg i klimagassregnskap.no antar at det er gode grunnforhold og inkluderer derfor ikke behov for peler til stabilisering av grunnen. Dette kan selvfølgelig variere stort mellom ulike utbyggingsområder.

Utslippene fra standard «skoeskebygg» i Klimagassregnskap.no er økt med 10% for å inkludere materialsvinn, og 10% for å inkludere transport av byggematerialer. Utslipp fra byggeplass-aktiviteter er ikke inkludert da det ikke er funnet gode data på klimagassutslipp fra byggeplass-aktiviteter. Dette er uansett en konservativ antagelse siden det er et større areal som skal bygges ut i referansescenarioet og disse utslippene sannsynligvis vil være høyere for referansen.

For nybygg innenfor Tungavegen 1 er utslipp redusert (etter øking for svinn og transport) med 20% for å anta en noe klimamessig ambisiøs utbygging ved at det benyttes materialer og produkter med lave klimagassutslipp. Dette er basert på mål for forbildeprosjekter i FutureBuilt, der klimagassutslippene skal reduseres med 50 prosent innen områdene transport, energibruk og materialbruk.

For nybygg utenfor Tungavegen er det ikke lagt til grunn noen forbedring fra selve byggeaktiviteten (antatt standard «skoeskebygg» med standard materialbruk), da det antas at det bygges etter minstekrav i byggteknisk forskrift.

3.2.2 Avfallsbehandling

Utslippsfaktorer for den fremtidige riveprosessen er basert på kostnader for riving i Norsk Prisbok, kombinert med utslipp per krone byggeaktivitet, korrigert for material-input ⁶.

Utslippsfaktorer for avfallsbehandling av materialer fra nybygg og riving er kalkulert, basert på empiriske tall for gjennomsnittlige avfallsmengder for ulike type bygg, hentet fra NHP nettverkets avfallsveileder ⁷, kombinert med Asplan Viaks Klimarapporteringsverktøy for gjenvinningsbedrifter. Det er da medregnet klimagassutslipp fra avfallsbehandlingen av materialer fra nybygg og riving. Det er ikke medregnet gevinster (negative utslipp ved å erstatte materialer) disse produktene har etter avfallsbehandlingen.

3.2.3 Endringer i arealbruk

Det antas ingen forskjeller i utslipp fra endring av arealbruk, noe som sannsynligvis er en konservativ antakelse, da det er mer sannsynlig at det vil bygges ned arealer med stor direkte (skog eller myr) eller indirekte (jordbruksland) klimautslipp fra arealbruksendring i referansescenarioet, enn i planalternativet som har utbygging sentralt.

⁶ Fra Klimakost-modellen, www.klimakost.no

⁷ http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2016/03/Veileder_Avfallsh%C3%A5ndtering-p%C3%A5-byggeplass-rev.2016.pdf

3.3 Energi

Energibruken til bygninger er en viktig del av klimafotavtrykket i et område. Gjennom ulike tiltak på bygningen og ved en fornuftig energiforsyningsløsning, kan energibehov og levert energi erfaringsmessig reduseres mye sammenlignet med minimumskravene i byggeforskriftene. Klimafotavtrykket til energibruken vil imidlertid være avhengig av utslippsfaktoren til de ulike energibærerne som benyttes. For eksempel vil ren elektrisitet ha et annet utslippsfaktor (kg CO₂ ekv per kWh), enn energi levert som fjernvarme. I en totalvurdering av utslipp knyttet til bygningenes forventede energibehov, er det derfor viktig å ha oversikt over de ulike energibærerne.

I dette kapittelet estimeres (netto) energibehov til bygningsmassen, og det gjøres noen vurderinger av hvordan ulike former for lokal energiproduksjon, f.eks grunnvarmepumper eller solceller, kan redusere behovet for levert energi og/eller påvirke klimafotavtrykket.

Leangen-området vil bygges ut gjennom flere år, og det må forventes at kravene til energiytelsen/energistandarden til bygninger vil skjerpes flere ganger i løpet av tiden det tar å fullføre hele utbyggingsprosjektet. Det er videre sannsynlig at det vil komme krav om en viss andel lokal, fornybar energiproduksjon i løpet av utbyggingsperioden. Bruk av solceller kan for eksempel bidra til en slik energiproduksjon. Tiltak som reduserer maksimalt effektbehov (elektrisk og termisk), enten fra enkeltstående bygninger eller områder, forventes også å bli viktig fremover. Dette reduserer ikke nødvendigvis energibehovet, men kan bidra til å redusere effektkostnader. Akkumulering av energi vurderes derfor som viktig fremover.

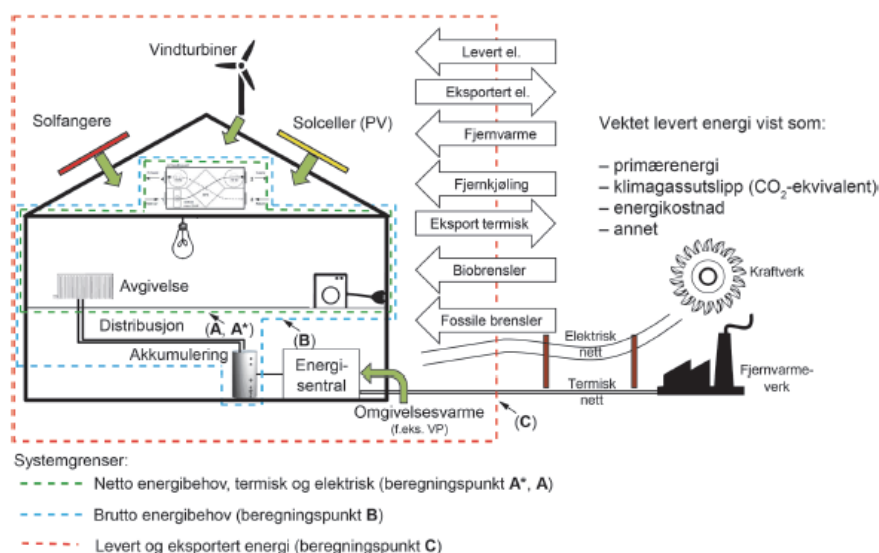
Per i dag spesifiseres kravene til totalt netto energibehov (kWh/m² BRA per år) for ulike bygningskategorier i byggt teknisk forskrift (TEK17 §14-2)⁸. For å dokumentere at kravene ivaretas, kan standarden NS-EN ISO 52000-1:2017⁹ og den tekniske spesifikasjonen SN/TS 3031:2016¹⁰ benyttes. Disse gir metode og standardiserte input-data for beregning av totalt netto energibehov, og kan også brukes til å beregne energibehovet fordelt på energiposter. For de seneste byggt tekniske forskrifter er slike energipost-beregninger utført av Enova og Sintef. Detaljer herfra er inkludert i beregningene i denne rapporten.

Kravene i byggeforskriftene er knyttet til netto energibehov, altså det energibehovet som er nødvendig å tilføre selve bygningen for å sikre at luftkvalitet, termisk komfort, varmtvannsbehov osv. er ivaretatt. Kjøpt/levert energi til en bygning eller område kan imidlertid være forskjellig fra dette. Figur 3-23-2 viser ulike systemgrenser som benyttes ved energiberegninger og dokumentasjon av energibehovet.

⁸ <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/>

⁹ NS-EN ISO 52000-1:2017 «Bygningers energiytelse - Overordnet vurdering av bygningers energiytelse - Del 1: Generelt rammeverk og prosedyrer»

¹⁰ SN/TS 3031:2016 «Beregning av energibehov og energiforsyning»



Figur 3-2: Illustrasjon av systemgrenser og energiflyt mellom en bygning og tilknyttede energisystem (fra SN/TS 3031:2016). Netto energibehov (beregningsspunkt A) er benyttet i vurderingen av energibehov ved Tungavegen 1 (Leangen) og for referansen.

Energiforsyningsløsningen som velges vil ha større eller mindre tap, og brutto energibehov vil være noe høyere enn netto. For eksempel vil en vannbåren oppvarmingsløsning som oftest ha et tap av energi i rørettet som er større enn om man har en direkte elektrisk romoppvarmingsløsning (panelovner). Nøkkeltall for slike tap finnes i standardene, og kan benyttes ved vurdering av brutto energibehov for en bestemt løsning (beregningsspunkt B i figuren).

For Tungavegen 1 og referansen benyttes netto energibehov (beregningsspunkt A) da byggeforskriftene setter krav til energibehovet her, og man på nåværende tidspunkt i planleggingen har begrenset informasjon om annet enn arealer, klima og bygningstyper. Differansen i energibruk mellom planalternativet og referansen vil for øvrig være sammenlignbar uavhengig av om brutto eller netto energibehov benyttes. Ved en godt utformet energiløsning, kan man ellers forvente at forskjellen mellom brutto og netto energibehov bli relativt liten.

3.3.1 Fremtidig krav til energi

På grunn av den relativt lange utbyggingstiden, og en forventning om hyppigere endringer av byggt teknisk forskrift enn tidligere, vil et energibehovs estimat måtte basere seg på antakelser om fremtidige energistandarder.

I beregningene har vi forutsatt 3 byggetrinn (se kap. 3.4). Byggetrinn 1 antas bygd etter TEK'17-standardene, byggetrinn 2 etter en standard tilsvarende dagens Passivhus-nivå og byggetrinn 3 etter en standard vi har betegnet «Estimat 2030+».

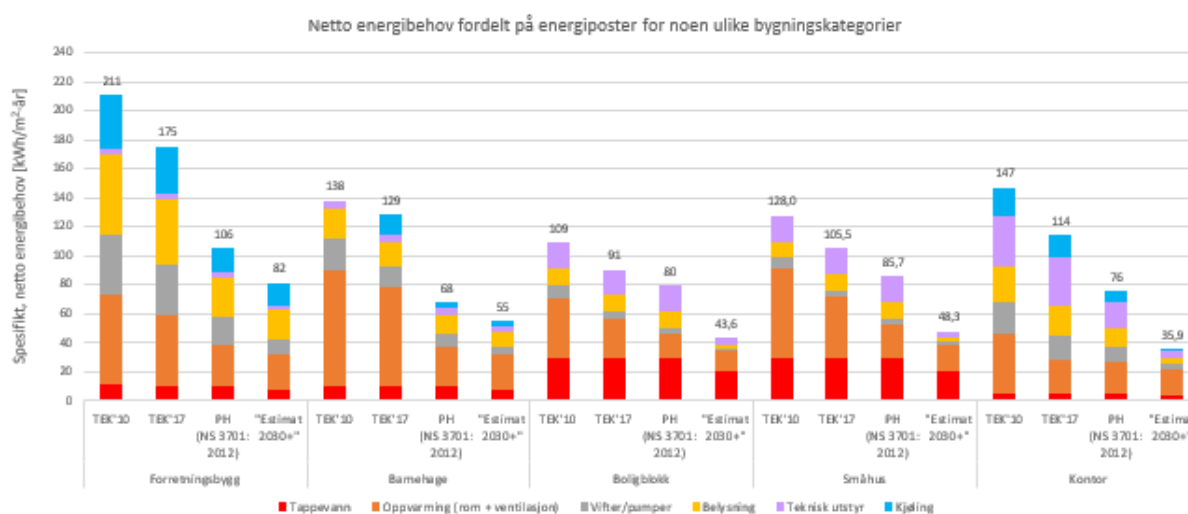
«Nesten null-energi bygninger»¹¹ er EU's mål fra år 2020. Hva dette betyr for Norge, og når det vil reflekteres i byggeforskriftene, er foreløpig ikke avklart. Det er imidlertid grunn til å anta ytterligere skjerping av kravet til netto energibehov utover passivhus-nivået, samt krav om en viss form for fornybar energiproduksjon på bygget, eller i området. Basert på EUs mål, og en skjønsmessig forventning om 60% reduksjon av energibehovet (for boligblokk)

¹¹ <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2011/032011/how-to-define-nearly-net-zero-energy-buildings-nzeb/>

sammenlignet med TEK10, har vi satt opp energistandarden «Estimat 2030+». Nivået denne representerer er vurdert som sannsynlig i løpet av utbyggingstiden på Leangen.

Figur 3-33-3 viser netto energibehov fordelt på energiposter for de aktuelle energistandardene. TEK'10 er allerede utdatert, men tatt med for sammenligningens skyld. Verdier for TEK10, TEK17 og Passivhus (PH), her korrigert til Trondheims klima, er i tråd med aktuelle byggeforskrifter og dagens Passivhus-standard. Energistandarden «Estimat 2030+» er som nevnt basert på antakelser og forventninger om fremtidige krav.

I Figur 3-33-3 er de aktuelle bygningskategoriene for utbyggingen på Leangen og i referanseområde vist: forretningsbygg, barnehage, boligblokk, småhus og kontor.



Figur 3-3: Totalt netto energibehov fordelt på energiposter for ulike bygningskategorier og energistandarder.

3.3.2 Materialbruk ved eventuell lokal energiproduksjon

I denne rapporten har vi antatt likt materialbruk for eventuell lokal energiproduksjon for utbyggingsalternativet Tungavegen 1 og for referansescenariot. Sammenlignet med referansescenariot er det imidlertid grunn til å tro at en Tungavegen 1 kan få en mer kompakt, lokal energiforsyning med relativt sett mindre materialbruk per levert energienhet (kWh).

Utslippfaktorer knyttet til materialbruk for ulike lavutslippsteknologier for energiproduksjon er vist i kapittel 3.6.4. I hovedsak viser disse at materialbruken for en energiproduksjon normalt utgjør en svært liten av utslippet per levert energienhet. Dette betyr at det er mer viktig hva slags energikilde som benyttes og hvor effektivt energien kan produseres (virkningsgrader).

3.4 Utbyggingstrinn og energistandard

For å vurdere fremtidig energibehov for bygningene på dette området, er det lagt til grunn tre byggetrinn med forskjellige krav til energistandard (se Figur 3-33-3). I hovedsak er det planlagt boligblokker på området, men det vil også bli bygget barnehage og noe forretningsbygg. Tabell 3-3 viser bygningstyper og arealer benyttet i beregningene, samt antatt energistandard for de ulike byggetrinnene.

Vi har lagt til grunn at det første byggetrinnet på Leangen bygges etter TEK17-standard. Videre forventer vi et nytt TEK-nivå som tilsvarer dagens passivhus-standard, og vi legger til grunn dette for byggetrinn 2. «Estimat 2030+» er lagt til grunn for byggetrinn 3.

Tabell 3-3: Energikrav og arealer for tre utbyggingstrinn forutsatt i utredningen.

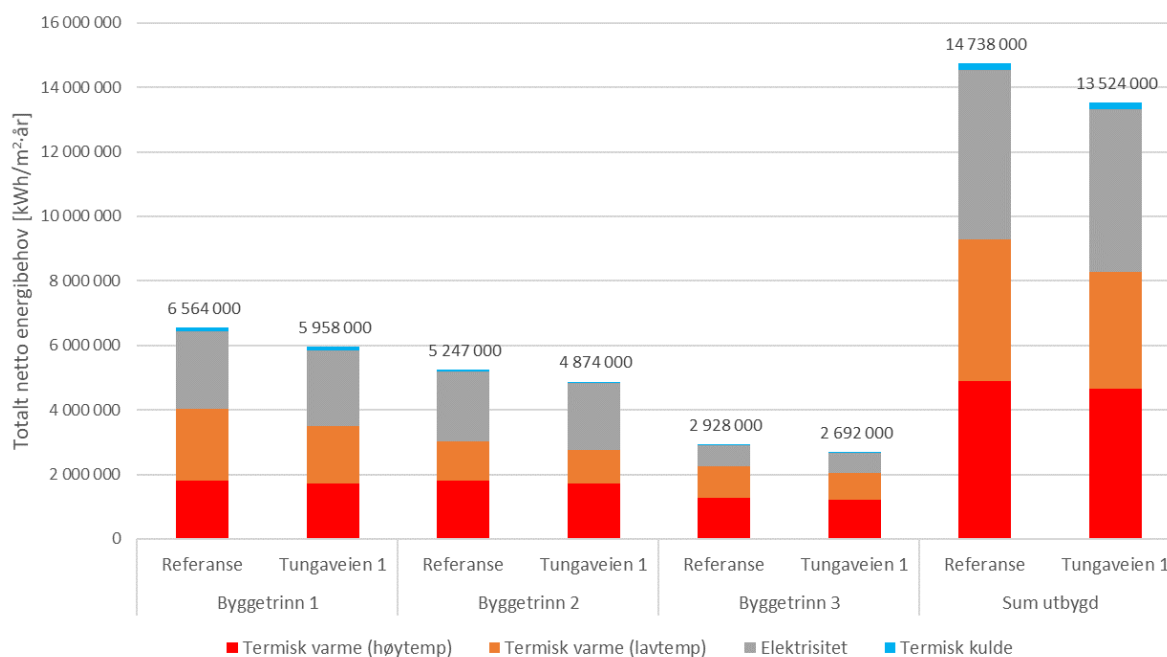
Utbygging, m ²	Byggetrinn 1 År 2023 TEK'17	Byggetrinn 2 År 2030 PH	Byggetrinn 3 År 2037 Estimat 2030+	Totalt utbygd
Utbygging Tungavegen 1				
Forretningsbygg	1 812	1 812	1 812	5 435
Kontor	2 500	2 500	2 500	7 500
Barnehage	1 980			1 980
Boligblokk	56 268	56 268	56 268	168 805
SUM	62 560	60 580	60 580	183 720
Referanse Trondheim				
Forretningsbygg	1 812	1 812	1 812	5 435
Kontor	2 500	2 500	2 500	7 500
Barnehage	1 980			1 980
Boligblokk	37 137	37 137	37 137	111 411
Småhus	22 183	22 183	22 183	66 550
SUM	65 612	63 632	63 632	192 876

Vi ser videre av Tabell 3-3 at det er satt opp arealer for utbyggingen Tungavegen 1 (Leangen), og for en referanse Trondheim. Referansen gjenspeiler bygningskategoriene og arealfordelingen om tilsvarende antall leiligheter hadde blitt oppført ellers i Trondheim kommune. For referansen ser vi at arealet for boligblokk delvis er erstattet med småhus.

For beregning av netto energibehov, er det forutsatt samme energistandard for utbyggingstrinnene ved Tungavegen 1 som for referansen (referanse Trondheim). Dette gjør de to tilfellene sammenlignbare.

3.4.1 Samlet netto energibehov

Basert på arealer og forventet krav til energistandard ved de ulike byggetrinn, viser Figur 3-43-4 totalt netto energibehov for Tungavegen 1 (Leangen) og for referansen (utbygging av tilsvarende antall boenheter annet sted i Trondheim kommune).



Figur 3-4: Totalt netto energibehov for referanse og Tungavegen 1 – samlet og for ulike byggetrinn

De to søylene ytterst til høyre viser forventet årlig netto energibehov for referansen og for Tungavegen 1 ved ferdig utbygd område. Termisk varme (høytemp) er energibehov til varmt tappevann, mens termisk varme (lavtemp) gjelder romoppvarming og oppvarming av ventilasjonsluft.

Som man kan se av figuren, vil Tungavegen 1 få ca. 8,2 % lavere netto energibehov enn referansen om man legger til grunn minimumskravene i forventede byggeforskriftene. Forskjellen i energibehov skyldes i hovedsak noe mer småhus-bebyggelse i referansen. Referansen har dermed et noe høyere areal og noe høyere spesifikt energibehov som følge av småhus-bebyggelsen. Som et grovt estimat på brutto energibehov, kan vi anta et tillegg på 5 – 15%. Når vi sammenligner forskjellen mellom referansen og Tungavegen 1, har vi i dette tilfellet antatt like forhold (konservativt estimat) og benytter derfor netto energibehovet i sammenligningen av referansen mot Leangen (Tungaveien 1).

3.4.2 Illustrasjon av termisk effektbehov ved ulik bygningsteknisk standard

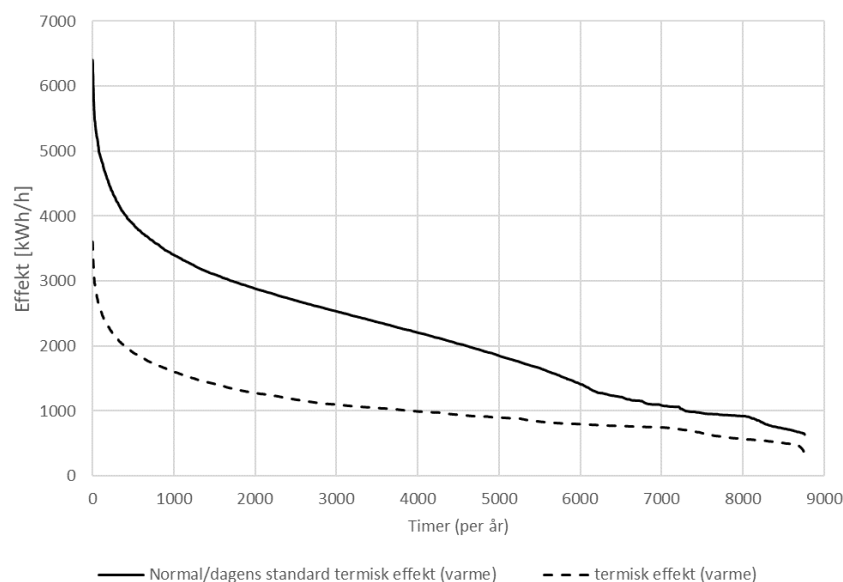
Beregning av effektbehovet for termisk og elektrisk effekt er omfattende og tidkrevende å gjøre i tidligfase av et prosjekt. Da detaljnivået ofte er lavt i denne fasen, blir også presisjonsnivået som oftest lite presist. Dette temaet er derfor kan derfor ikke behandles i detalj innenfor rammene av denne energi og miljø fagutredningen. Det er allikevel interessant å illustrere mulighetene for effektreduksjon ved overgang til mer energieffektiv bygningstandard.

I forbindelse med utvikling og design av områder som på Leangen, jobber Forskningscenteret Zero Emission Neighbourhood (ZEN) (<https://fmezen.no/>) med et tidligfaseverktøy for å estimere effektbehovet for slike områder. Verktøyet er ment å gi varighetskurver for termisk og- elektrisk effekt, og baserer seg på energimålinger i

eksisterende bygninger, regresjonsanalyser og en statistisk analyse av disse. Verktøyet baserer seg på avhandlingen «Impact of Zero Energy Buildings on the Power System: A study of load profiles, flexibility and system investments»¹².

Verktøyet er per i dag ikke ferdigutviklet og testet, og brukes i denne rapporten kun som en indikasjon på hvor mye maksimaleffekten kan reduseres om man går fra normal bygningsteknisk standard (omtrent på TEK10-nivå), til en mer energieffektiv standard (omtrent på dagens passivhus-nivå).

Figur 3-5 viser et eksempel på hvordan det termiske effektbehov for et området hvor det primært er boligblokker, kan reduseres ved energieffektiv bygningsstandard. Område i dette tilfellet er valgt omtrent som planen på Leangen, og Trondheims klima er benyttet; 170000 m² boligblokk, 12000 m² kontor og 2000 m² barnehage. Som vi ser av figuren, kan det forventes en 40 – 50% reduksjon i termisk effektbehov ved energieffektiv bygningsteknisk standard sammenlignet med dagens normale standard. Elektrisk effekt er ikke vurdert her, men muligheten til å redusere det elektriske effektbehovet vurderes som stort for fremtidige TEK-standarder sammenlignet med i dag.



Figur 3-5: Illustrasjon av termisk effektbehov ved normal og energieffektiv bygningsteknisk standard for et område sammenlignbart med utbyggingen på Leangen

3.4.3 Energibehov ved noen ulike energiforsyningsmuligheter

Energibehov ved Tungavegen 1 kan reduseres ved ulike tiltak på bygningskroppen og/eller de tekniske installasjonene i byggene. Behovet for kjøpt/levert energi (beregningsspunkt C i Figur 3-23-2) kan reduseres ved ulike energiforsyningsløsninger. Hvilken løsning som velges, påvirker i stor grad de totale utslippene fra energibruken.

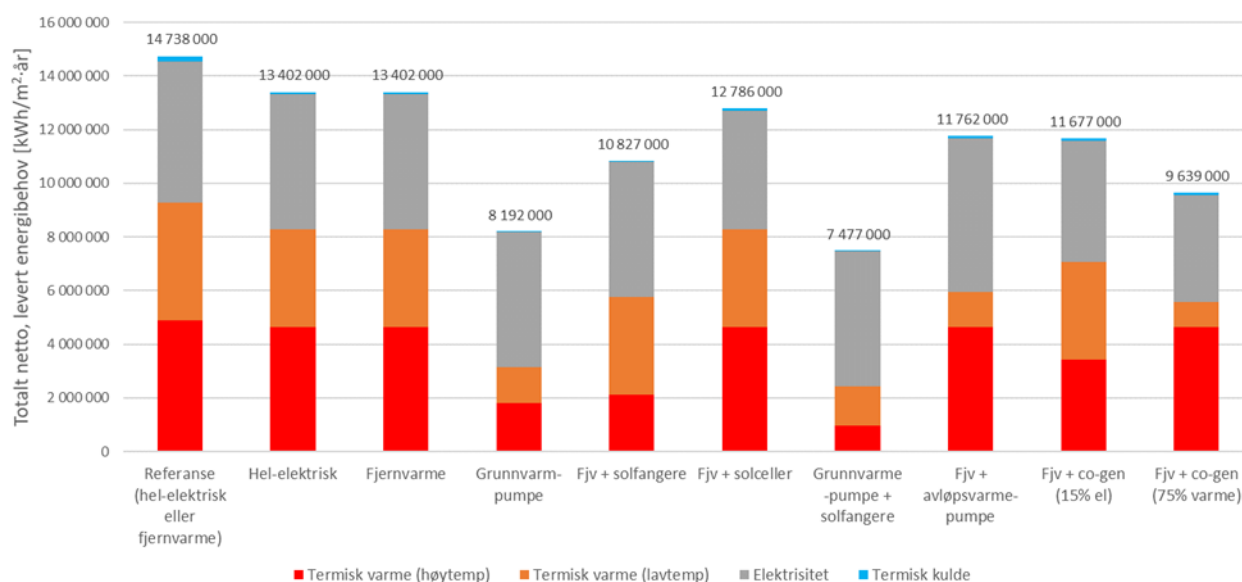
Den mest åpenbare løsningen fremfor bruk av fjernvarme er varmepumper og energibrønner i fjell. I denne tidligfase-vurderinger av utbyggingen kan man overslagsmessig anta at termisk varme- og kjølebehov kan produseres i en varmepumpe med en effektfaktor på ca. 3 (i noen tilfeller også opp til 5 – 6). Dette betyr at det termisk varmebehov kan produseres med bruk av 1/3 elektrisk energi. Konsekvensen for energikostnaden er stor med dagens

¹² Lindberg, K.B. (2017). Impact of Zero Energy Buildings on the Power System: A study of load profiles, flexibility and system investments. PhD-thesis 2017:35, NTNU, Trondheim. <http://hdl.handle.net/11250/2450566>

priser, men en varmepumpeløsning kan kreve en større investering og har behov for jevnlig vedlikehold sammenlignet med for eksempel fjernvarme. Den samlede konsekvensen for klimafotavtrykket i et slikt tilfelle er utslipp relatert til materialbruk for bygging av energibrønner og varmepumper, samt og utslippsfaktoren for elektrisitet ($\text{kg CO}_2\text{e/kWh}_{\text{el}}$). Dette må igjen sammenlignes med tilsvarende utslipp fra fjernvarme.

Det bemerkes ellers at Statkraft Varme har fjernvarmekonsesjon for Leangenområdet. Plan- og bygningslovens §27-5 åpner imidlertid for fritak for tilknytningsplikten til fjernvarme om det kan dokumenteres at den alternative løsningen er miljømessig bedre enn tilknytning til aktuell fjernvarmeleverandør. En slik dokumentasjon kan imidlertid være vanskelig, da utslippsfaktorer for energibruk til en viss grad er politisk styrt. Det anbefales heller å innlede et samarbeid med fjernvarmeleverandøren for å undersøke mulige løsninger som totalt sett gir lavt energi- og effektbehov for området.

Figur 3-6 viser totalt energibehov for noen ulike alternativer/scenarier for energiforsyning og utnyttelse av lokale, fornybare energikilder. Forutsetningene er nærmere beskrevet i kapittel 3.3 og 3.4. Som vi ser, vil en løsning med grunnvarmepumpe kunne redusere behovet for kjøpt energi med ca. 44 %; fra 14.7 GWh/år (hel-elektrisk løsning) til 8.2 GWh/år med en grunnvarmepumpeløsning.



Figur 3-6: Tungavegen 1 – utbygd område. Årlig («netto levert») energibehov for ulike scenarier for energiforsyning og utnyttelse av lokale, fornybare energikilder. Alle søylene bortsett fra referansen, refererer til Tungavegen 1 (Leangen). Forutsetningene for de ulike scenarioene er nærmere beskrevet i tabell Tabell 3-4..

Vær oppmerksom på at tallene i Figur 3-6 fremdeles er basert på netto verdier. Dette illustreres av søyle nummer 2 og 3 fra venstre som har samme verdi både for en hel-elektrisk energiforsyning og en vannbåren løsning med fjernvarme. System-virkningsgraden for vannbårene systemer er i praksis noe dårligere enn for elektriske, slik at søylen for termisk varme i fjernvarme-scenariet burde vært noe høyere.

I en totalvurdering av klimafotavtrykket, er det viktig å være oppmerksom på at de ulike energiforsyningsløsningene vil ha ulikt materialbehov og energikildene/energibærerne som benyttes kan ha ulik utslippsfaktor. Strøm vil for eksempel ha en annen utslippsfaktor enn fjernvarme, og utslippet per kWh produsert i en co-genereringsmaskin (samtidig produksjon

av strøm og varme) er avhengig av bio-drivstoffet. Utslippsfaktorer for strøm, fjernvarme og lavutslippsteknologier er nærmere beskrevet i kapittel 3.6.

Tabell 3-4: Forutsetning og antakelser for energiforsyningsalternativene lagt til grunn for Figur 3-6

Energiforsyningsløsning	Kort beskrivelse og forutsetninger/antakelser
Referanse	Netto energibehov for referansealternativet (gjennomsnittlig utbygging i Trondheim kommune)
Hel-elektrisk	Netto levert energibehov for Tungavegen 1. Termisk kjølebehov er forutsatt dekket via kjølemaskin med SCOP (årsvarme/kjølefaktor) henholdsvis 2.4, 2.5 og 3 for de ulike byggetrinn.
Fjernvarme	Netto energibehov som for hel-elektrisk (brutto vil være noe høyere)
Grunnvarmepumpe	I dette scenarioet forutsettes energibrønner og tilstrekkelig varmepumpekapasitet til å dekke 90% av termisk varmebehov (høy- og lavtemp). 10% spisslast i el-kjel. Varmepumpene for levering av lavtemperatur varme er forutsatt å ha en SCOP på henholdsvis 3, 3.5 og 4 for de ulike byggetrinn. Varmepumper for høytemperatur varme er satt til 2.5, 2.75 og 3. (Disse verdiene er vurdert konservativt.)
Fjv + solfangere	Her forutsettes det at henholdsvis 50%, 55% og 60% av energibehovet til varmt tappevann (termisk høytemp) produseres i solfangere ved de ulike byggetrinn. Resten av varmebehovet dekkes med fjernvarme. Temperaturnivå, lagringskapasitet for varmen og nødvendig solfangerareal må vurderes nærmere. Nødvendig areal øker med ønsket temperaturnivå. For varmtvannsanlegg i Trondheim kan man anslå et energiutbytte på ca. 330 - 350 kWh/m ² solfanger (syd, 45° helningsvinkel). Totalt må det da forventes rundt 7000 m ² solfangerareal (ca. 4% av BRA) eller ca. 2.3 m ² per person i området.
Fjv + solceller	Her forutsettes produksjon av elektrisitet med ca. 3500 m ² solceller (ca. 2% av BRA). Elektrisitetsproduksjonen er anslått til henholdsvis 150, 175 og 200 kWh/m ² solcelle for de ulike byggetrinnene. Verdiene kan representere et gjennomsnitt for optimal plassert vinkel mot solen og fasadeintegreerte solceller. Fjernvarme forutsettes å dekke det termiske varmebehovet.
Grunnvarmepumpe + solfangere	Som grunnvarmealternativet + 50% dekning av termisk høytemp varme med solfangere (forutsetninger som over). Termisk kjølebehov dekket som frikjøling mot brønn (SCOP = 25; kun pumpeenergi). Grunnvarmepumpen forutsetter energibrønner. Et varmebehov på ca. 5 GWh/år vil overslagsmessig kreve 3 – 400 brønner (å 200 meter). Plasseres brønnene i et grid-mønster der formålet er å hente varme kan man i første omgang anta rekker av brønner i 30 meters avstand med 15 meters avstand mellom brønner i samme rekkene. Dette er imidlertid svært avhengig av lokale forhold, og om man i tillegg ønsker varmelagring.
Fjernvarme + avløpsvarmepumpe	Her forutsettes 50% gjenvinning av termisk høytemp varme. Gjenvinning med varmepumpe til lavtemperatur varme med SCOP som nevnt over. Ellers fjernvarme for resterende termiske varmebehov.
Fjv + co-gen (15% el)	Kombinert el- og varmeproduksjon i kogenereringsanlegg regulert etter el-effektbehov. Det er antatt 15% dekningsgrad av el-energi og 90% fyringsteknisk virkningsgrad. Regulering etter elektrisk effektbehov er i dette tilfellet antatt å gi 1/3 el og 2/3 høytemp varme fra innfyrt brensel. Brenselet kan være bioetanol, biodisel, pellets etc. Innfyrt energimengde er beregnet til ca. 1750000 kWh/år for utbygd område. For biodisel med et energiinnhold på 9 kWh/liter, tilsvarer dette et behov på ca. 200 m ³ /år
Fjv + co-gen (75% varme)	Som for alternativet over, men nå regulert etter effektbehovet til lavtemperatur varme. Antatt dekningsgrad er satt til 75%. Behov for evt. biodisel er i overkant av 300 m ³ /år.

Utover dette er det mulig å hente varme fra uteluft. Uteluft er den enkleste og mest tilgjengelige energikilden. Utfordringen ned utnyttelsen av uteluft via en luft-luft eller luft-vann varmepumpe, ligger i at temperaturen på uteluften er i motfase med romoppvarmingsbehovet i bygg. Varmepumpens ytelse vil da være minst når behovet er størst. Dette alternativet er ikke studert nærmere.

Direkte varmeutveksling med gråvann (avløpsvann fra oppvask, vask og dusj) er et alternativ til avløpsvarmepumpe (indirekte varmeutveksling). For boligblokker og leilighetskomplekser med felles varmtvannssystem vil dette kunne være en gunstig kilde for forvarming av tappevann, men den direkte varmeutvekslingen vil kreve effektiv og regelmessig rensing av varmevekslere.

Elektrisitetsproduksjon fra vindturbiner kan i prinsippet være et egnet tilskudd til lokal strømproduksjon. Aktuelle teknologier er mindre bygningsintegreerte- eller større konvensjonelle vindturbiner. Foreløpige erfaringer er at bygningsintegreerte vindturbinene har stabil drift, men egnede plasseringer på bygg ofte er vanskelig å finne. El-produksjonen er videre begrenset og det genereres ofte støy og vibrasjoner. Turbulente luftstrømninger rundt byggene gir også utfordringer.

Ellers kan det nevnes at pågående innovasjon og utvikling av alternative måter å produsere og lagre elektrisk energi på. Et eksempel er hydrogenproduksjon og bruk av brenselceller. Per i dag er ikke dette lønnsomt ved normale økonomiske vurderinger, det er grunn til å tro at effektprisen på sikt vil øke. Hydrogen og brenselceller kan da bidra til å redusere effekttoppene og dermed kostnadene. Lagring av elektrisk energi i batterier vil i denne sammenheng være mer aktuelt per i dag. El-biler som en del av energisystemet til bygninger er også tema som det jobbes forskningsmessig med. Batteripakkene i bilene kan da bidra med ekstra energi- og effektkapasitet.

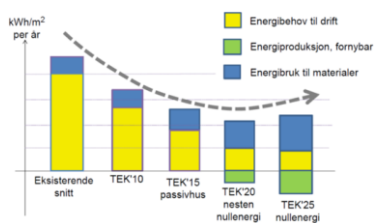
3.4.4 Andre energirelaterte forhold som kan påvirkes i tidligfase

Hovedmålet for denne rapporten er å vurdere klimagassutslippene knyttet til totalt energibehov for området basert på kravene som byggeforskriftene setter og vurdere noen ulike lokale former for energiproduksjon.

I praksis er det imidlertid svært viktig å legge til rette for at energibehovet i hvert enkelt bygg kan holdes lavt og at det velges løsninger som krever lite effekt (både for elektrisitet og termisk energi). I tillegg forventes det at akkumulering av energi og utnyttelse av bygningskroppen til høsting av solenergi vil bli viktig fremover. I hovedsak innebærer dette at man i tidligfase bør vurdere følgende:

1. God løsning for styring av temperaturer internt i boligene enn det som er praksis i dag. Sannsynligvis vil dette innebære en ny ventilasjonsløsning hvor tilluftstemperaturen kan varieres fra rom til rom. Spesielt er det viktig for mange å holde en relativt lav temperatur i soverom. For videre arbeid anbefales det å se nærmere på ventilasjonsløsninger presentert i rapporten "Indoor Climate Quality in High-Performance Dwellings: An Exploration of Measured, Perceived, and Desired Conditions"¹³
2. Akkumulering av energi i hvert bygg. Dette være seg akkumulatortanker for varmt vann eller plass til batteripakker. Det anbefales å sette av plass til dette.
3. Takflater og fasader, spesielt mot sør, bør vurderes for solceller og solfangere. Fasadeintegreerte systemer kan bidra til å redusere kostnaden for kledning.

¹³ Berge, M. (2016). Indoor Climate Quality in High-performance Dwellings: An Exploration of Measured, Perceived and Desired Conditions. PhD-thesis 2016:354, NTNU, Trondheim. <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2428803>



Utvikling av energibruk i nye bygg (ref. Inger Andresen, NTNU)



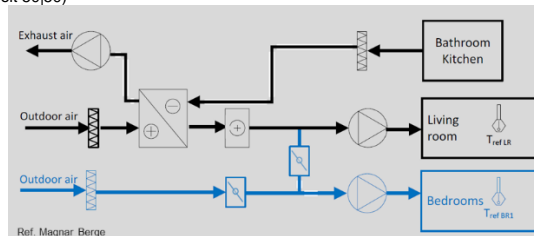
Planlegg for energisentral og brønnpark på området (eksempel fra Moholt 50|50)



Sett av plass til akkumulering i hvert bygg



Planlegg for (fasadeintegreerte) solceller. Optimaliser takflater og fasadeareal mot sør. Foto: SolarLab ApS



Planlegg for oppdelt ventilasjonsløsning i leiligheter (sjakter, tøringsveier, temperatur-regulering i soner)
Ref. Magnar Berge

Figur 3-7: Noen eksempler på forhold som bør vurderes i videre planlegging. 1) reduksjon av energibruk kan kreve mer materialer, 2) sett av plass til energisentral på området, 3) plass til akkumulering i hvert bygg, 4) fasadeintegreerte solcelle-elementer, 5) oppdelt ventilasjonsløsning i boligene med tanke på bedre kontroll med temperaturnivåene.

3.4.5 Utveksling av energi i lokalområdet

I nærheten av utbyggingsområdet finnes Leangen ishall og IKEA, se Figur 3-8. Begge disse har et relativt stort behov for varme og kulde, og har overskuddsvarme deler av året. Etter samtale med Trondheim kommune, er det opplyst at Leangen Ishall i hovedsak har tilgjengelig overskuddsvarme når utetemperaturen er over 10 °C. Dette er imidlertid ved en temperatur hvor behovet for oppvarming i byggene i Tungaveien 1 vil være lite.



Figur 3-8: Leangen-området

Med tanke på en energiforsyningsløsning basert på energibrønner og grunnvarmepumper, bør det allikevel vurderes et samarbeid med tanke på utveksling av termisk energi (varme og kulde) via en felles energisentral og energibrønnpark.

Området ligger som tidligere nevnt i konsesjonsområdet for fjernvarme, så Statkraft varme bør involveres videre i en slik prosess.

Leangen Bolig er interessert i å se på mulighetene for utveksling av overskuddsvarme i området og reduksjon av varmetap i varmenettet, og er partner forskningsprosjektet LTTG+¹⁴ (lokale lavtemperatur-varmenett) i regi av Sintef.

Som en forberedelse på mulige løsninger, anbefales det at det allerede nå settes av plass til et mindre bygg for en energisentral på området, samt tas høyde for en større brønnpark. En hensiktsmessig plasseringen av energisentralen vil antakeligvis være i området nært Leangen Ishall.

¹⁴ <https://www.sintef.no/prosjekter/lttg/>

3.5 Transport

3.5.1 Transport – etterspørsel

All beregning av transportetterspørsel er basert på samme reisevaneundersøkelser (RVU) som transportutredningen. Det er også brukt samme ÅDT for personbiler i området som gitt i transportutredninger.

I modellen er det foreløpig kun beregnet transportforskjeller for de to store areal-kategoriene bolig og kontor. Det er også antatt det det er innen disse kategoriene det store volumet og de store forskjellene i transport-modus vil forekomme. Som det er nevnt tidligere i rapporten er det ikke inkludert forskjeller i reisevaner for besøkende til byggene, hverken handel, undervisning, bolig eller forretningsbygg/kontor. Dette kan være en potensielt stor feilkilde, og kan bidra til å underestimere forskjellen i transport mellom scenarioene. Eventuelle oppfølgingsanalyser kan gå nærmere inn på å estimere disse effektene når det foreligger mer informasjon som kan bidra til å belyse transportvolumene og eventuelle referanse-situasjonen for disse.

For bolig er det brukt data fra reisevaneundersøkelsen 2013/14¹⁵ for å estimere transportvolumer fra personer bosatt i Tungavegen 1 vs alternativ bosetting. Tall for Indre Øst er brukt for personer bosatt i Tungavegen 1, mens snitt for Trondheim er brukt for personer bosatt i alternativt utbyggingsscenario. En bilandel på 40% er forutsatt for Indre Øst, slik gitt i Transportutredningen. Gang- og sykkelandeler er satt som i reisevaneundersøkelsen og redusert transportbehov fra personbiler antas tatt med kollektivtrafikk.

3.5.2 Transport – teknologier

Det er lagt til grunn TØIs trendbane for utvikling i personbilparken¹⁶. På bakgrunn av denne er det laget et scenario for utvikling av utslipp per gjennomsnittlige kjøretøy-km de neste 60 år. Dette medfører en elbilandel på 4% i 2017 og 77% i 2050. Man kunne alternativt benyttet TØIs ultralavutslippsbane, eller regnet med dagens bilpark statisk i 60 år.

Det er benyttet TØIs gjennomsnittsanslag for direkteutslipp fra fossil-biler i perioden frem til 2050 (en svak reduksjon fra i dag), og tall fra Ecoinvent¹⁷ for utslipp fra produksjon av kjøretøy (antatt lik per kjøretøy-km gjennom perioden) samt strømforbruk per kjørte km.

For kollektivtransport er det laget en gjennomsnittsmiks av teknologiene buss, tog, trikk og båt. Buss er antatt å være 68% fossilt drevet i hele perioden, mens drivstofforbruk og energiforbruket er hentet fra gjennomsnittlig forbruk per passasjer-km fra hhv. Ruter og NSB. Utslipp fra produksjon av kjøretøy er tatt fra Ecoinvent og fordelt flatt per km, uendret over tid.

Strømforbruk til transport multipliseres med den aktuelle strømmiksen (se kap. 3.6.1).

¹⁵ <http://tinyurl.com/hj9eobp>

¹⁶ <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43853>

¹⁷ www.ecoinvent.com

3.6 Utslippsfaktorer

3.6.1 Utslippsfaktor for strøm

Det er lagt til grunn en nordisk forbruksmiks for utvikling i utslipp fra strøm. Denne antas konstant gjennom byggets levetid over 60 år. Den nordiske miksen består av en blanding av vannkraft, kjernekraft, gass, kull og noe fornybar. Denne strømmiksen har et klimagassutslipp på 112 g CO₂ ekv./kWh.

Man kunne alternativt valgt dagens (fysiske) norske miks, europeisk strømmiks eller en strømmiks som blir gradvis renere over 50 år iht. Futurebuilt sitt scenario for utvikling i utslipp fra strømforbruk. Norsk strømmiks ligger på ca. 30 g CO₂ ekv./kWh, europeisk miks ligger på ca. 300 g CO₂ ekv./kWh, mens Futurebuilt sitt scenario vil i gjennomsnitt ligge på 150 g CO₂ ekv. /kWh over 60 år.

3.6.2 Utslippsfaktor for fjernvarme

Det er lagt til grunn Statkraft varme sin fjernvarmemiks fra 2016 og oppgitte klimagassutslipp på 67,3 g CO₂ ekv./kWh. Dette tallet inkluderer også utslipp fra infrastruktur og varmetap i rørettet. I kapittel 4 vises alternative utslippsfaktorer for fjernvarme hvor utslippene fra avfallsforbrenning er fordelt etter estimert økonomisk verdi av hhv. varme og avfallsdestruksjon; ca. 30% varme.

3.6.3 Klimagassutslipp fra biogene energikilder

Bioenergi til co-generering kan være bio-diesel, bio-gass, pellets etc. Klimagassutslipp fra bioenergi er sterkt avhengig av råstoff og produksjonsmetode, og varierer derfor mye fra type til type. Derfor er det viktig at vurdering av energikilden ledsages av grundig gjennomførte sensitivitetsanalyser før man velger en alternativ energiproduksjon fremfor en annen.

Det er viktig å vurdere energikilden man planlegger å benyttes opp mot mulige endringer i etterspørsel. Det er høy sannsynlighet for at økt etterspørsel av bioenergi basert på landbruksprodukter vil føre til utslipp fra indirekte arealbruksendringer, noe som fører til at noen energikilder får høyere totalt klimafotavtrykk enn fossile energikilder ¹⁸.

Vi anbefaler derfor å gjennomføre case-til-case analyser på eventuell fremtidig bruk av biogene energikilder.

¹⁸ Valin, H., Peters, D., van den Berg, M., Frank, S., Havlik, P., Forsell, N., ... di Fulvio, F. (2015). The land use change impact of biofuels consumed in the EU Quantification of area and greenhouse gas impacts.

3.6.4 Utslippfaktorer for materialbruk til lavutslippsteknologier

Det er innhentet data på alternativ energiproduksjonsteknologi for å vise størrelsesorden på klimagassutslipp for å bygge disse teknologiene. De fleste data er hentet fra Ecoinvent v3, mens det er innhentet litteratordata for solcelleproduksjon. Utslippsfaktorene er oppsummert i Tabell 3-5.

Varmepumper og energibrønner

Utslippsfaktor for levert termisk energi vil være avhengig av systemvirkningsgraden. Med nordisk energimiks og en systemvirkningsgrad på 3 vil klimagassutslippene fra varmpumpe ligge på 37 g CO₂ ekv/kWh levert termisk energi.

Produksjon av termisk energi krever infrastruktur i form av energibrønner, samt et varmpumpesystem. Boring av 54 stk energibrønner a 300 m medfører utslipp på 289 tonn CO₂ ekv. mens produksjon av varmpumper (600 kW) medfører klimagassutslipp på 30 tonn CO₂ ekv. Per kWh levert termisk energi over 60 år blir dette 0,68 g CO₂ ekv./kWh altså neglisjerbart i forhold til klimagassutslipp fra energibruken.

Solceller og solfangere

Klimagassutslipp fra solceller og solfangere er avhengig av årlig solinnstrømning. Tallene fra litteratur er korrigert til en årlig solinnstrømning på 1000 kWh/m²/år. Utslippsfaktor for solceller og solfangere er henholdsvis 50 g CO₂ ekv./kWh og 18 g CO₂ ekv./kWh med en solinnstrømning på 1000 kWh/m²/år.

Tabell 3-5: Klimagassutslipp per kWh levert energi fra alternative energikilder.

Klimautslipp fra lavutslippenergikilder	g CO ₂ ekv./kWh levert energi	Kilde
Grunnvarmesystem (varmpumper mm)	37	Ecoinvent v3
Energibrønner	0,68	Ecoinvent v3
Solceller	50	Firschknecht et al. (2015) ¹⁹
Solfangere	18	Ecoinvent v3

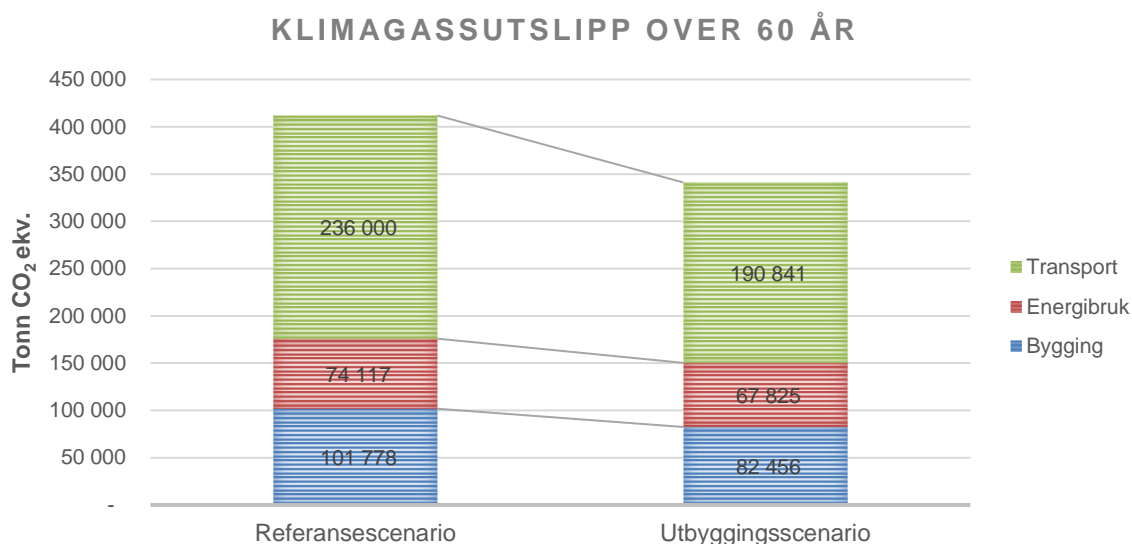
Utslipp knyttet til bygging av fjernvarme varierer, men generelt er klimagassutslippet knyttet til denne infrastrukturen svært liten i forhold til den energimengden som totalt sett leveres gjennom et slikt system, og i forhold til verdiene i tabellen over. Se kap. 4.3.

Oppsummert betyr dette at for de fleste energiteknologier, er utslipp knyttet til byggingen av disse energiproduksjons- og distribusjonsalternativene lav, og i noen tilfeller marginal, sammenlignet med energien som leveres.

¹⁹ Frischknecht, R., Itten, R., Sinha, P., Wild-Scholten, M. de, & Zhang, J. (2015). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems.

3.7 Resultater

Vi går her gjennom de viktigste resultatene fra analysen. Det er viktig å understreke at resultatene er beregnet basert på de forutsetninger som er beskrevet, noe som er helt nødvendig for å kunne gi innspill på et så tidlig stadium som mulig i planleggingen.



Figur 3-9: Totale klimagassutslipp over 60 år for utbyggingsscenarioet (Tungavegen) og referansescenarioet

Totale klimagassutslipp for utbyggingsscenarioet er 339 552 tonn CO₂ ekv, som tilsvarer en reduksjon på 17% ift. referansescenarioet. Vi ser at transport utgjør om lag 52% av de totale klimagassutslippene, mens bygging og energibruk har bidrag på henholdsvis 26% og 22%. Dette viser viktigheten av å inkludere transportbidrag i klimagassregnskapet.

Legg merke til at referansescenarioet her har konservative forutsetninger, spesielt på energibruk og transport. I neste kapittel vises alternative scenarier som kan gi en høyere reduksjon for disse kategoriene.

Tabell 3-6: Klimagassutslipp i tonn CO₂ ekv. for referansescenarioet og utbyggingsscenarioet. For energibruk er reduksjonen i tabellen relatert til behovet og ikke til en mulig, lokal produksjon av energi på Leangen.

Klimagassutslipp over 60 år, tonn CO ₂ ekv.	Referansescenario	Utbyggingsscenario	%-vis reduksjon
Bygging	101 778	82 456	19%
Energibruk	74 117	67 825	8%
Transport*	236 000	190 841	19%
Sum	411 895	341 122	17%
Forskjell fra referansescenario		-70 773	

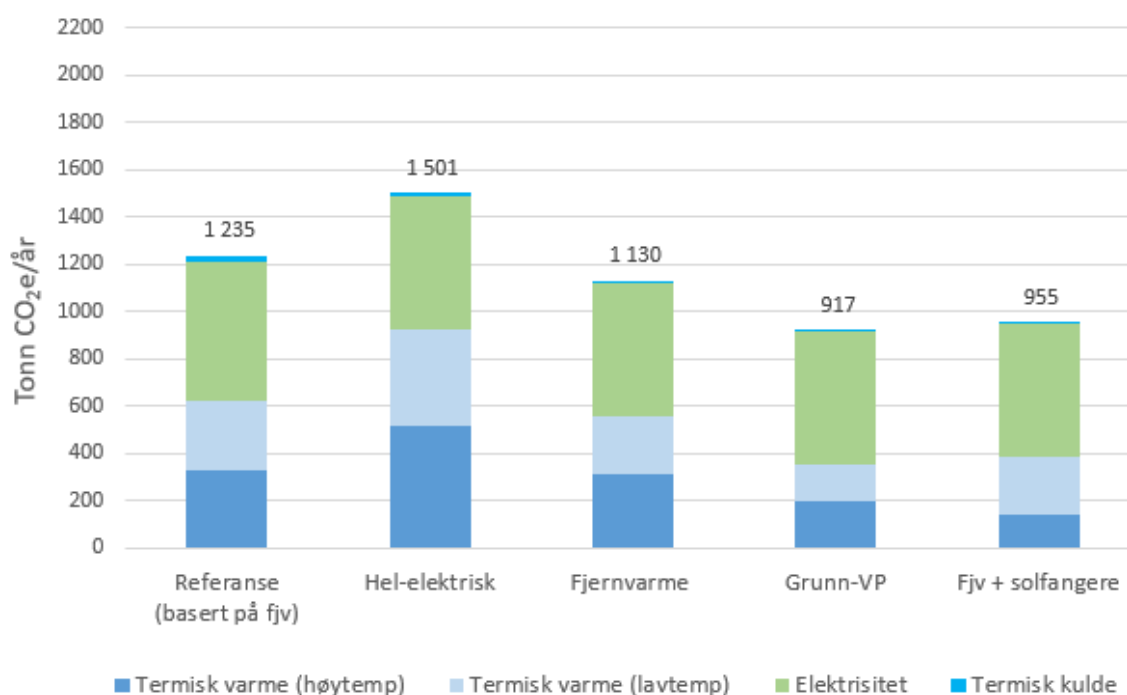
4 ALTERNATIVSANALYSER

4.1 Klimagassutslipp fra noen ulike energiforsynings-scenarier

Klimagassutslippene fra de ulike energiforsynings-scenariene, kap 3.4.3 (Figur 3-6), avhenger av energibehovet og utslippsfaktoren til energibærerne. I tillegg kommer en andel knyttet til bygging av løsningen. For de fleste energiforsyningsløsninger blir utslippene fra materialbruk liten per levert energienhet når man ser på gjennomsnittet over levetiden. Dette er nærmere illustrert i neste kapittel for en fjernvarmeløsning og en grunnvarmepumpe-løsning.

Figur 4-14-1 viser klimagassutslippene for referansesituasjonen og for noen ulike energiforsynings-løsninger. Energiforbruket som er lagt til grunn er fra Figur 3-6. Utslippene for referansen er beregnet med dagens nivå for fjernvarme (Statkraft varme Trondheim) og nordisk miks for strøm.

Sammenlignet med referansen basert på fjernvarme til termisk varmebehov, vil en løsning basert på grunnvarmepumpe gi ca. 25% reduksjon i årlige klimagassutslipp fra energibruk. Fra Figur 3-6 legger vi merke til at tilsvarende reduksjon i energibehov var 44%. Dette viser tydelig at utslippsfaktoren til den aktuelle energibæreren er viktig, ikke bare energimengden.



Figur 4-1: Klimagassutslipp relatert til energibruk for noen ulike energiforsyningsløsninger

Fra Figur 4-14-1 ser vi videre at en fjernvarmeløsning og bruk av solfangere for produksjon av varmt tappevann har omtrent tilsvarende klimagassutslipp som for grunnvarmepumpe-løsningen. Dette selv om energibehovet er vesentlig forskjellig (se Figur 3-6).

For solfangere er det gjort en antakelsen om ca. 55% dekningsgrad for det termiske varmebehovet (høytemp). Dette bør undersøkes nærmere, men er imidlertid en normal størrelsesorden for småhus hvor solfanger brukes til å produsere deler av varmtvannsbehovet. Anslagsvis kan vi anta 2 – 4 m² solfangerareal per standard leilighet.

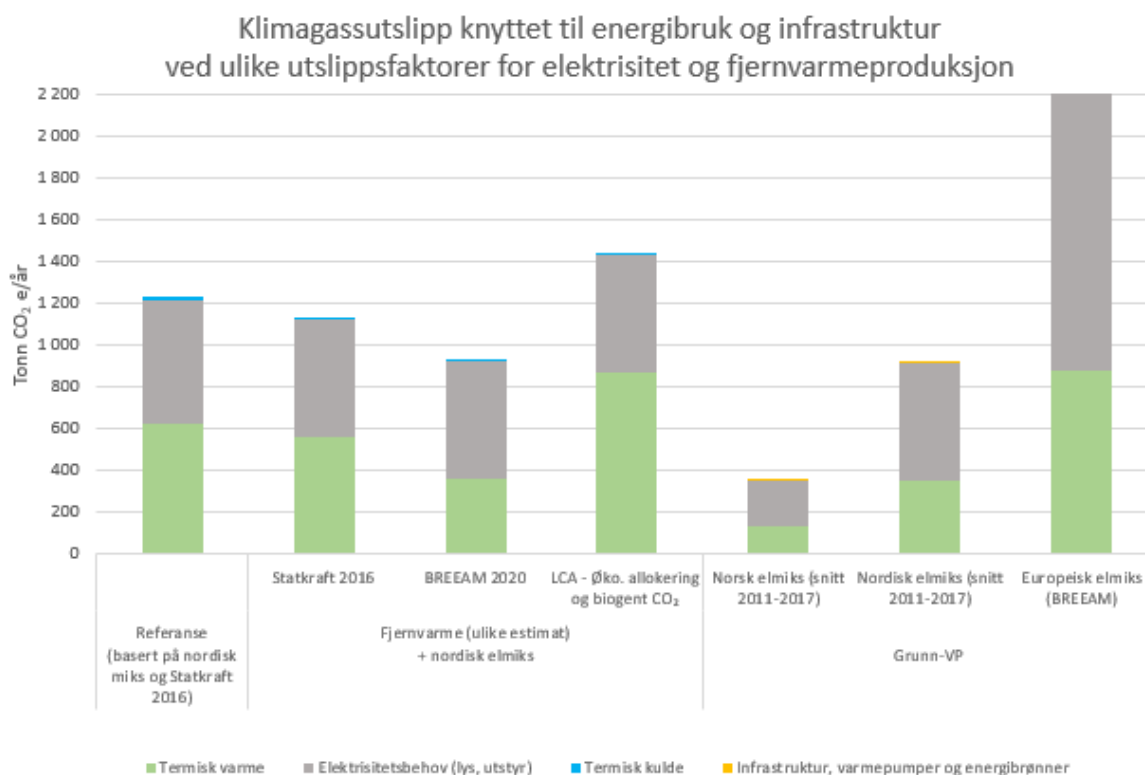
4.2 Klimagassutslipp fra energiforsyning – sensitivitetsanalyse

Klimagassutslippene kan variere mye avhengig av hvilke utslippsfaktorer som legges til grunn. I Figur 4-24-2 sammenligner vi en fjernvarmeløsning med en grunnvarmepumpeløsning. Som vi ser, er resultatet avhengig av hvilke utslippsfaktorer som legges til grunn.

De alternative utslippsfaktorene for fjernvarme er basert på Statkraft sin forventede utslippsfaktor i 2020, samt en uavhengig beregning i Simapro av fjernvarmemiksen basert på livsløpstankegang. Her er tall for fjernvarmemiks hentet fra www.fjernkontrollen.no og utslipp fra forbrenning av avfall hentet fra www.miljøstatus.no. Utslippene fra avfallsforbrenning er deretter fordelt på avfallsforbrenning og fjernvarmeproduksjon etter økonomisk verdi, per i dag 70% avfallsforbrenning og 30% salg av fjernvarme. Dette gir en høyere utslippsfaktor enn det Statkraft rapporterer, kun basert på fjernvarmemiksen.

For energimiks er norsk-, nordisk- og europeisk elektrisitetsmiks benyttet. Disse har utslippsfaktorer på henholdsvis 43, 112 og 278 g CO₂ ekv./kWh.

Vi har benyttet ulike utslippsfaktorer for å vise forskjellene mellom disse. En ny Norsk Standard, NS 3720 «Metode for klimagassberegning for bygninger» forventes å gi føringer for hvilke utslippsfaktorer som benyttes i klimagassberegninger for bygninger. Per 18.06.2018 er denne standarden ikke endelig politisk vedtatt.



Figur 4-2: Klimagassutslipp knyttet til energibruk og infrastruktur ved ulike utslippsfaktorer for elektrisitet- og fjernvarmeproduksjon

Fra Figur 4-24-2 ser vi videre at utslippet til infrastrukturen og produksjon av varmepumper og energibrønner (materialbruk), er tatt med i beregningen. I dette tilfellet utgjør dette 5 tonn CO₂ ekv./år eller 0.6% av totalen for Grunn-VP (med nordisk elmiks). Det er da antatt 60 års levetid og en utskifting av brønner og varmepumper etter 30 år.

Som vi ser av Figur 4-24-2, betyr infrastrukturen (materialbruken) i dette tilfellet lite for energiforsyningsløsningen når vi normaliserer per produsert energienhet og antall år i drift. Tilsvarende konklusjon er tidligere trukket for fjernvarme; utslipp fra infrastrukturen (i dette tilfellet fjernvarmenettet) betyr lite per levert energienhet²⁰. Det som betyr mest er energi- og effektbehovet og hvor effektivt energien blir produsert.

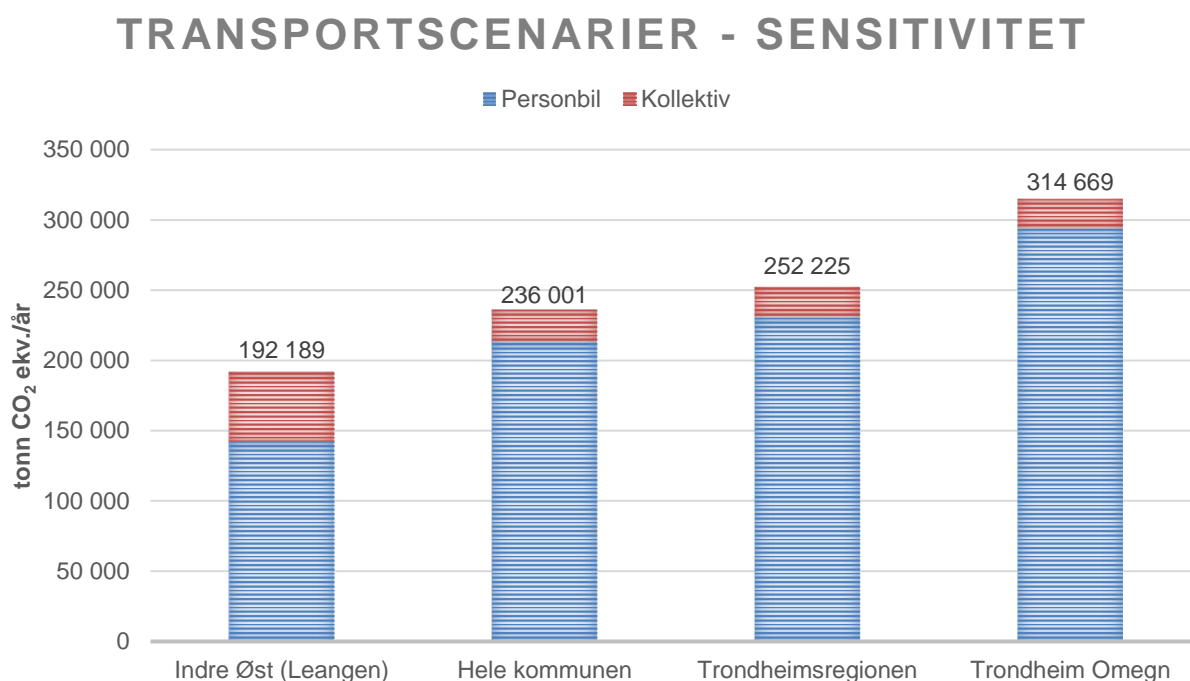
Usikkerheten rundt utslippsfaktorene betyr at en beslutning om energiforsyningsløsning ved utbyggingen av Tungavegen 1 (Leangen) ikke utelukkende bør baseres på klimagassfotavtrykk. Totalt energibehov og investeringskostnader, muligheter for å redusere effekt, et sannsynlig krav om lokal energiproduksjon og at Leangen ligger i et området for fjernvarmekonsesjon vil også være viktige beslutningskriterier.

²⁰ Monica Berner. «System, methods and credible data for calculating primary energy efficiency for energy systems with special focus on energy systems applying CHP-technology with bio based fuel». PhD-thesis, NTNU, 2014.

4.3 Sensitivitetsanalyser Transport

Det er sannsynlig at en alternativ utbygging vil foregå utenfor Trondheim kommune om det ikke bygges på Leangen. Vi har derfor gjennomført en sammenligning med av reisevaner for flere områder enn kun for Trondheim kommune.

Det kan argumenteres for at nye familievennlige boliger bygget sentralt vil erstatte utbygging av familieboliger i Trondheim omegn. Dette vil gi et referansescenario som er mer likt hele Trondheimsregionen eller kun Trondheim Omegn. Reisevanedata fra disse områdene viser en reduksjon i transportutslipp fra Tungavegen 1 med 25% sammenlignet med Trondheimsregionen og 40% sammenlignet med Trondheim Omegn, ift. en reduksjon på 20% sammenlignet med Trondheim kommune som referanse. Dette skyldes naturligvis en høyere bilandel og lengre kjøreavstander for Omegnskommunene enn for den sentrale bebyggelsen.



Figur 4-3 Sensitivitetsanalyser for klimagassutslipp med referansescenarioer for Trondheimsregionen og Trondheim Omegn.

5 DISKUSJON OG KONKLUSJON

Høyere tetthet og leilighetsbygg i sentrale strøk er generelt bra rent klimamessig fordi dette i all hovedsak er en arealeffektiv boform, noe som reduserer klimagassutslipp relatert til byggefase og energiforbruk. I tillegg vil man oppnå besparelser i transportutslipp, siden en mye lavere andel av både boligrelaterte reiser skjer med personbil. Ved introduksjon av alternative løsninger for energiproduksjon, vil man også kunne få betydelige besparelser i energibruk.

Det er ikke tatt hensyn til eventuelle (by)kvalitetsmessige forskjeller i mellom referansen og planalternativet; og det er heller ikke intensjonen med dette notatet. En forutsetning for analysen er at *alle* scenarioene bygges med en så høy kvalitet at det ikke får negative bymessige konsekvenser; som for eksempel at viljen blant folk til å bytte kvadratmeter mot sentral bosetting og urbane kvaliteter forsvinner, eller at husholdningene som bor tett i byen kompenserer høy tetthet med å dra mer på ferie eller kjøpe hytte og kjøre til denne med bil hver helg i større grad enn andre.

I reisevanedataene som er lagt til grunn er det større skille mellom reisevaner med bil for sentral vs gjennomsnittslokalisering av kontorarbeidsplasser, enn forskjellen i reisevaner mellom husholdninger i sentrum av Trondheim og snittet for Trondheim kommune. Det kan virke lettere å bo i sentrum og ta bilen til jobb hvis jobben har gode/gratis parkeringsmuligheter utenfor sentrum, fremfor å bo utenfor sentrum og ta bilen til jobb til sentrum hvor det ikke er mulig å parkere eller det er dyre parkeringsmuligheter. Hvorvidt dette er realistisk eller ikke er vanskelig å si. Det kan tenkes at ny boligbygging sentralt i Trondheim vil ha mye lavere personbilbruk enn det som er gjennomsnittet for indre by og sentrum i dag (for eksempel kan redusert mulighet for parkering og økt tilgjengelighet for bilkollektiv påvirke personbilbruk), og dette fanges i så fall ikke opp i analysen siden den baseres på reisevaner for eksisterende bosatte.

Det synes også åpenbart at en viss miks av funksjoner på områdenivå kan virke positivt ved at de som bor i området over tid også kan tenkes å i større grad arbeide og bruke fritiden sin i eget nærområde. Bruk av reisevanedata klarer heller ikke fange opp slike potensielle effekter.

Oppsummert konkluderer vi denne Energi- og miljøfagutredningen med følgende:

Klimagassberegningene viser at en kompakt utbygging i Leangen-området gir en klar fordel for utslipp fra materialbruk, energi og transport sammenlignet med en referanseutbygging ellers i Trondheim kommune.