



Innovasjonsrapport 2020

Forsknings-senteret for nullutslippsområder
i smarte byer (FME ZEN)



Fugleperspektiv over Mære landbruksskole. Foto: Zeiner Media

Introduksjon

Svein Olav Munkeby, NTE Marked AS, Leder Innovasjonskomiteen

Forskning og innovasjon er grunnpilaren i vår visjon om å utvikle bærekraftige områder med null klimagassutslipp. Innovasjonskomiteen skal bistå senterledelsen i dette arbeidet gjennom å etablere gode innovasjonsprosesser i grensesnittet mellom FME ZEN og de offentlige og industrielle partnerne i forskningssenteret. I 2018 ble det utarbeidet og vedtatt en innovasjonsstrategi, der et rammeverk for identifisering, klassifisering og oppfølging av innovasjoner er implementert. Du sitter nå med den første utgaven av FME ZENs innovasjonsrapport som skal gi en lettfattelig oversikt over alle innovasjonene som så langt er registrert. Rapporten beskriver 32 innovasjoner på ulikt TRL-nivå (Technology Readiness Level), og starter med de som er kommet lengst i utviklingen.

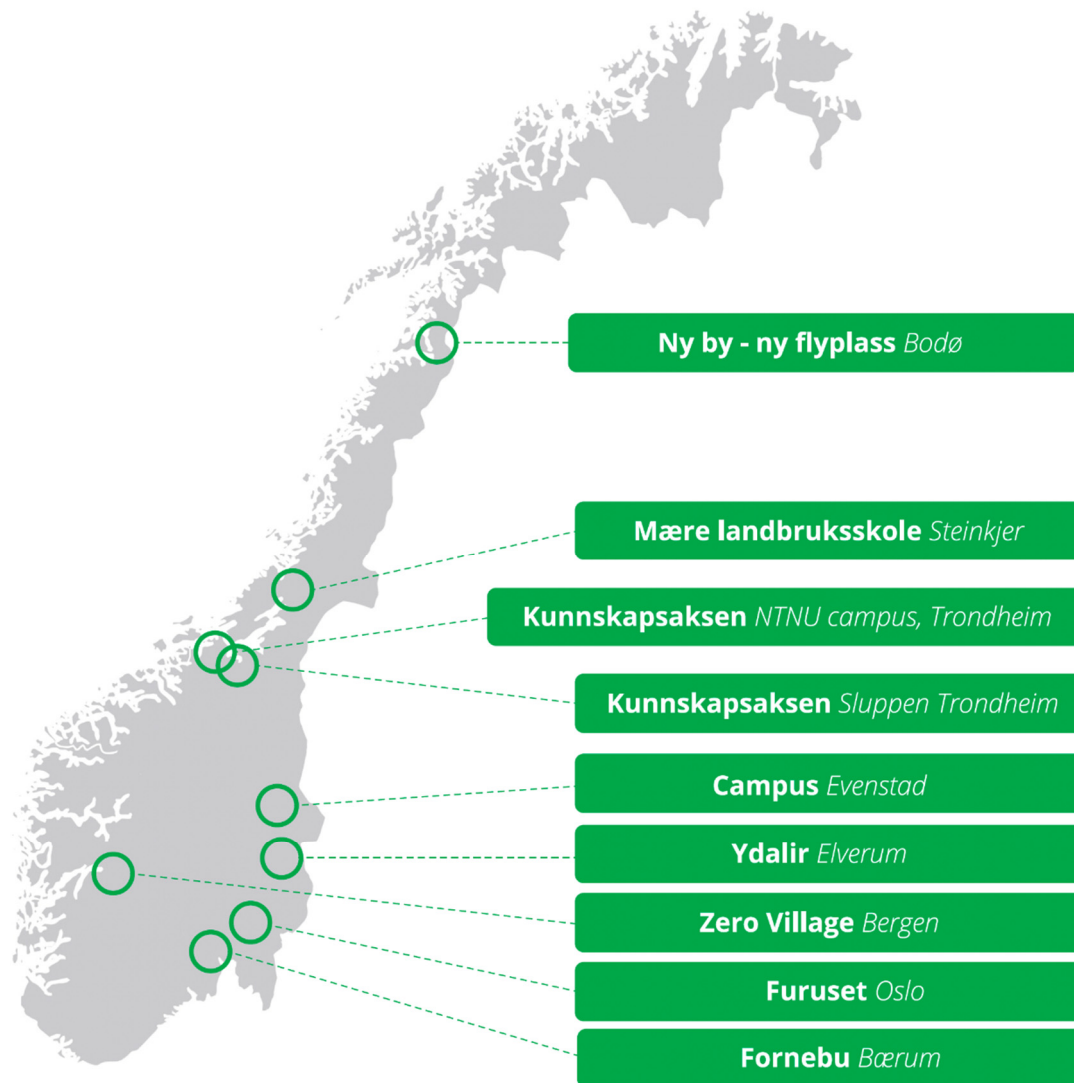
Vi håper at rapporten vil bidra til kunnskapsdeling, og at den i tillegg vil inspirere til nye innovasjoner.

God lesning!

Innovasjonskomiteen består av:

Svein Olav Munkeby, NTE Marked AS
Morten Dybesland, Statsbygg
Zdena Cervenka, Statsbygg
Elsebeth Holmen, NTNU
Anne Nuijten, NTNU
Stein Stoknes, FutureBuilt
Rakel Hunstad, Bodø kommune
Kai Haakon Kristensen, Bodø kommune
Terje Jacobsen, SINTEF Community
Ann Kristin Kvellheim, SINTEF Community

Forskningscenter for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN)



FME ZEN er et senter for miljøvennlig energi som skal utvikle løsninger for framtidens bygninger og byområder – løsninger som bidrar til at nullutslippsambudet kan realiseres. FME ZEN skal vare i åtte år (2017-2024), og budsjettet er på cirka 380 millioner kroner, finansiert av Norges forskningsråd, forskningspartnerne NTNU og SINTEF, og brukerpartnerne fra privat og offentlig sektor. NTNU er vertsinstusjon og leder senteret sammen med SINTEF Community og SINTEF Energi.

Forskere, kommuner, industri og statlige organisasjoner samarbeider i FME ZEN for å planlegge, utvikle og drifte områder med null klimagassutslipp, over levetiden til områdene. ZEN-senteret har ni pilotprosjekter fordelt over store deler av landet. Pilotprosjektene omfatter til sammen et areal på mer enn 1 million m² og totalt mer enn 30 000 innbyggere. Pilotområdene i FME ZEN er vår viktigste innovasjonsarena hvor innovasjoner testes og demonstreres.



Innovasjonsmål, definisjon & Technology Readiness Levels

Technology Readiness Levels (TRL)

- TRL 1: Grunnleggende prinsipper er observert
- TRL 2: Konseptet er formulert
- TRL 3: Konseptet er testet eksperimentelt og bevist
- TRL 4: Innovasjonsideen valideres under laboratorielignende forhold
- TRL 5: Innovasjonsideen valideres i et relevant miljø
- TRL 6: Innovasjonsideen demonstreres i relevant miljø
- TRL 7: En prototype demonstreres i et reelt miljø
- TRL 8: Innovasjonsideen er komplett og godkjent
- TRL 9: Innovasjonen er dokumentert i det miljøet den er ment å brukes

Kilde: Basert på Horizon 2020, arbeidsprogram 2018-2020

Et mål i FME ZEN er å omsette mer av kunnskapen og forskningsresultatene ved senteret til nytte og verdi for samfunnet, herunder næringsliv og offentlig sektor. I FME ZEN bruker vi følgende definisjon for 'innovasjon':

Innovasjon omfatter nye eller vesentlig endrede produkter, tjenester, prosesser, markedsføringsmetoder eller organisasjonsformer som tas i bruk for å oppnå verdiskaping og/eller samfunnsnytte.¹

I FME ZEN jobber forskere og partnere sammen i forskningsaktiviteter og i pilotområder for å utvikle, teste og demonstrere innovasjoner. Flere av disse innovasjonene er beskrevet i denne rapporten. Technology Readiness Levels (TRL) er en modenhetsskala som er brukt for å indikere på hvilket stadium av utviklingen en innovasjon er: teoriutvikling, laboratorietester (eller tilsvarende), og tester for å demonstrere at innovasjonen fungerer under relevante forhold eller under driftsmessige forhold. Et høyere TRL-nivå betyr at en innovasjon er testet og funnet egnet for bruk i større skala. Rapporten beskriver TRL-nivået for hver innovasjon på rapporteringstidspunktet. I forskningssenteret arbeider vi aktivt med oppfølging av hver enkelt innovasjon, i et samarbeid mellom partnere, forskere og med bistand fra TTO (Technology Transfer Office).

¹ Baserer seg på OECDs innovasjonsdefinisjon i Oslomanualen Oslo Manual – Guidelines For Collecting And Interpreting Innovation Data, 3rd Edition 2005



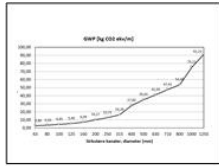

Høgskolen i Hedmark

Låven på campus Evenstad med solcellepanel på taket.
Foto: Tove Lauluten.

Innovasjoner fra FME ZEN

Innholdsfortegnelse

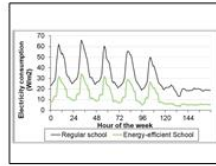
Introduksjon	3	eTransport moduler for akkumulatortank og sesonglager for varme.....	23
Forskningscenter for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN).....	4	LCA-modell og database for ZEN-prosjekter	24
Innovasjonsmål, definisjon & Technology Readiness Levels	5	Stock-flow modell for scenario- analyse av ZEN-prosjekter	25
Innovasjoner fra FME ZEN.....	7	ZENIT	26
LCA-bibliotek for ventilasjonskomponenter	9	ZENIT-R.....	27
Toveis elbillading (Vehicle-to-grid, V2G) i Norge	10	Utslipsverktøy for nullutslippsbygninger (ZEB GHG Tool).....	28
PROFet – Aggregert lastprofilestimator for områder	11	Driftsmodell: verdien av fleksibilitet for en bygning med fleksible komponenter	29
Finansielle strategier og tiltak som støtter utviklingen av ZEN.....	12	ZEN definisjon og nøkkelindikatorer	30
Verktøykasse for risikoreduksjon ved utvikling av nullutslippsområder	13	ZEN KPI vurderingsverktøy	31
Referanseverdier for klimagassutslipp fra materialbruk i bygninger.....	14	Smart bruk av lavkostnads sensorteknologi til optimalisering av behovsstyrt ventilasjon	32
Videreutvikling av verktøyet EMPIRE (Storskala modellering av europeisk kraftmarked).....	15	Europeisk kapasitetsutvidelse og ZEN.....	33
Optimalisering av fjernvarmesystemer	16	Likevektsmodell for å vurdere og designe lokale markedsmekanismer i ZEN.....	34
Tariffmodell: hvordan strømkunder reagerer på ulike prismekanismer.....	17	IKT-arkitektur for ZEN KPI datahåndtering.....	35
ZEN definisjonsveileder	18	Energifleksibilitetsmerket	36
Model Predictive Control (MPC) av bygg og nabolag	19	Karakterisering av dynamisk termisk komfort	37
PI-SEC Scenario Calculator	20	Modell for minimum energi- og effektbehov for ventilasjon	38
LCA av betong- og trekonstruksjoner.....	21	Modell for optimal design av nettariffer.....	39
Batterimodul til eTransport	22	Fleksibilitet gjennom styring og design av kundesentraler i fjernvarmenettet.....	40



TRL 7-8



TRL 7



TRL 6-7



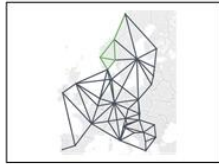
TRL 5-7



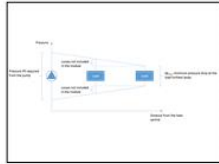
TRL 3-7



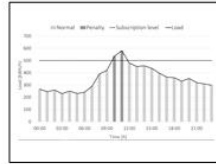
TRL 5-6



TRL 5



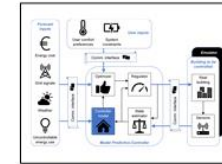
TRL 5



TRL 5



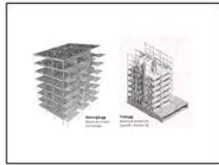
TRL 4-5



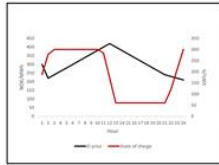
TRL 4-5



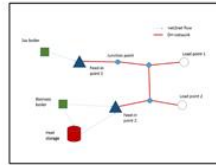
TRL 4-5



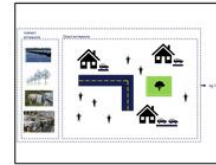
TRL 4-5



TRL 4



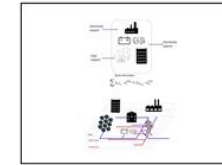
TRL 4



TRL 4



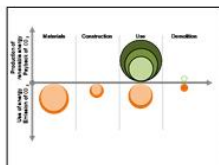
TRL 4



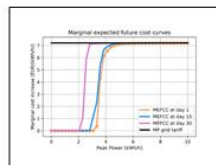
TRL 4



TRL 4



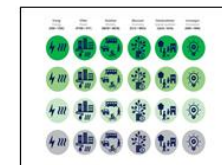
TRL 4



TRL 4



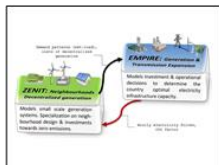
TRL 3-4



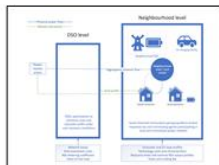
TRL 3-4



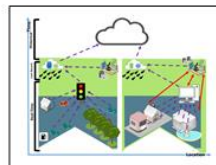
TRL 3-4



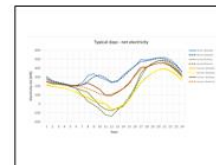
TRL 3-4



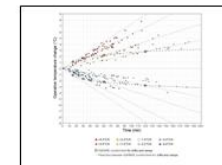
TRL 3-4



TRL 3-4



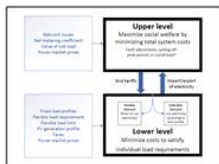
TRL 3-4



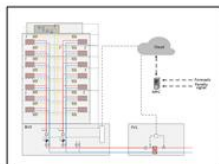
TRL 3-4



TRL 3-4

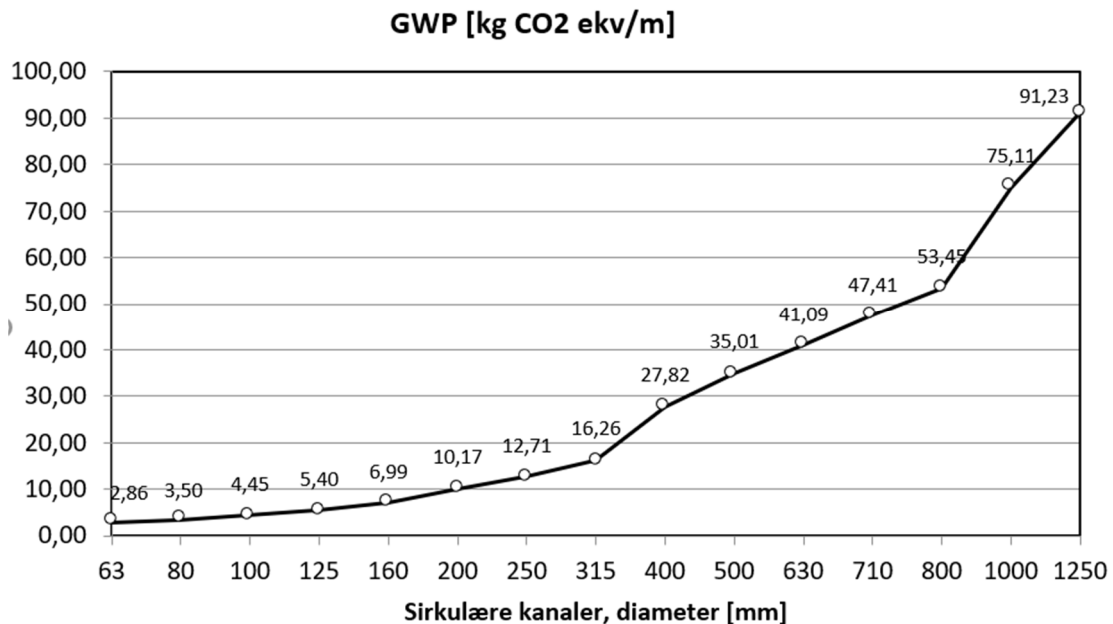


TRL 3-4



TRL 3-4

LCA-bibliotek for ventilasjonskomponenter



Utslipp per meter sirkulær kanal i ulike dimensjoner (kg CO₂-ekvivalenter/per meter kanal).

Mangel på god miljøinformasjon om tekniske installasjoner er en generell svakhet i miljøvurderinger av bygg. Strategier for å bøte på manglende informasjon har vært 1) å bruke generiske data, men hvor det er usikkert hvor representative dataene er både for dimensjoner og type komponenter, 2) å anta et generelt utslippspåslag eller 3) å utelate installasjonene fra miljøvurderingen.

Nå blir behovet for gode utslippsdata for installasjoner stadig viktigere, ettersom utslipp fra byggematerialer, komponenter og energibruk reduseres samtidig som mange av disse gevinstene muliggjøres gjennom økt bruk av tekniske installasjoner.

Vi har derfor utviklet et LCA-bibliotek for standard ventilasjonskomponenter, med et bredt utvalg av komponenter og dimensjoner. Dermed kan ventilasjonssystemer inkluderes som en del av miljøvurderingene for både nybygg og rehabiliteringer, for boliger og næringsbygg. Det vil gjøre det tydelig hvor mye valg av ventilasjonsløsning har å si for CO₂-utslippene, både utslipp fra selve ventilasjonssystemet og eventuell optimering av utslipp fra materialer versus energibruk i drift. LCA-biblioteket kan brukes av de som gjør miljøanalyser av bygninger og nullutslippsområder.

TRL: 7-8

Kontaktperson
[Håvard Bergsdal](#)

Toveis elbillading (Vehicle-to-grid, V2G) i Norge



Bildet viser V2G ladestasjon på Campus Evenstad. Foto fra Statsbygg.no

Statsbygg har realisert toveis elbillading ved ZEN-pilot Campus Evenstad, det vil si at batteriene i elbiler nå kan levere strøm tilbake til bygg eller strømnnett. De mange elbilene i Norge utgjør et stort reservelager av strøm som blant annet kan utgjøre et supplement eller alternativ til nettinvesteringer.

ZEN studerer prosessen mot etablering av Vehicle-to-grid (V2G) og mulige barrierer for innføring av teknologien. V2G er ikke tidligere demonstrert i Norge, og erfaringene fra Evenstad har gitt oss kunnskap og erfaring fra innkjøp, installering og drift av løsningen.

Statsbygg startet innkjøpsprosessen i etterkant av en ZEN-workshop om smarte ladesystemer i nullutslippsområder i 2017. SINTEF og Multiconsult har bidratt til realiseringen, som har fått tilsagn om Enova-støtte under programmet "Introduksjon av ny teknologi i bygg og områder". Multiconsult var ansvarlig for innkjøpsprosessen, som var komplisert og tok tid på grunn av et umodent marked. Prototypen ble levert av Nissan / AME i 2019, mens programvare ble utviklet av norske Meshcrafts. Etter en vellykket uttesting av teknologien kunne Statsbygg i oktober 2019 melde i en pressemelding at "Nå kan norske el-biler levere strøm".

Erfaringer fra den videre uttestingen vil gjøres tilgjengelig, og kan bidra til å skape nye løsninger innen energisystemet.

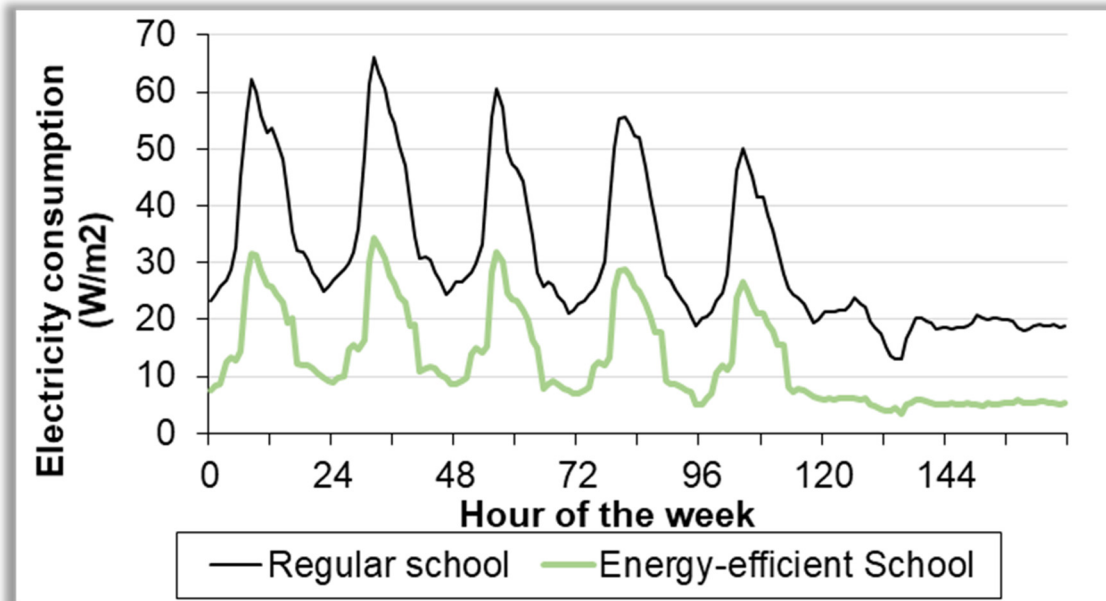
Lekang Sørensen, Åse; Sartori, Igor; Andresen, Inger (2018), Smart EV Charging Systems to Improve Energy Flexibility of Zero Emission Neighbourhoods, Cold Climate HVAC Conference
Sørensen, Å.L., Jiang, S., Torsæter, B.N. & Vøller, S. (2018) Smart EV charging systems for zero emission neighbourhoods, ZEN Report 5, NTNU/SINTEF

TRL: 7

Kontaktpersoner

[Åse Lekang Sørensen](#), [Zdena Cervenka](#), [Øystein Holm](#), [Judith Thomsen](#)

PROFet – Aggregert lastprofilestimator for områder



Eksempel på lastprofil fra PROFet: Predikert elektrisk last for et vanlig og et energieffektivt skolebygg, begge med elektriske panelovner.

Denne innovasjonen er et verktøy som genererer aggregerte lastprofiler for elspesifikt og termisk energibehov for ulike nabolag og klima. Formålet er å gi bedre og raskere tilgjengelig kunnskap til både bygningsdesigner og energisystemdesigner for riktig dimensjonering av komponenter, og for å kunne minimere kostnader.

Verktøyet er basert på en statistisk modell utviklet fra en database med timebaserte energimålinger. Det består av mer enn 300 uavhengige datakilder som til sammen representerer 2.5 millioner m² gulvareal fra flere steder i Norge. Dette fordelt på 11 bygningskategorier, både husholdninger og næringsbygg. Verktøyet planlegges å tilgjengeliggjøres både som web-verktøy for direkte bruk, og som API (Application Programming Interface) for integrasjon i annen programvare.

For å kunne planlegge og utforme energisystem på forskjellig skala, fra nabolag til by, på regionalt og nasjonalt nivå, er vi avhengig av å estimere de samlede aggregerte lastprofilene til gitte bygninger. I tillegg, med nybygg og energieffektiv renovering av eksisterende bygninger, kan ikke målinger brukes direkte, og dermed er det behov for estimater. Ofte er slike estimater avhengige av simuleringer, selv om det er kjent avvik mellom simulert og reell bygningsytelse. Lastprofilmodellen gjør det mulig å overkomme denne barrieren. Verktøyet gir bedre kvalitet og høyere detaljnivå ved modellering av energibehov i et nabolag og kan drastisk redusere tidsbruken som benyttes til dette i dag.

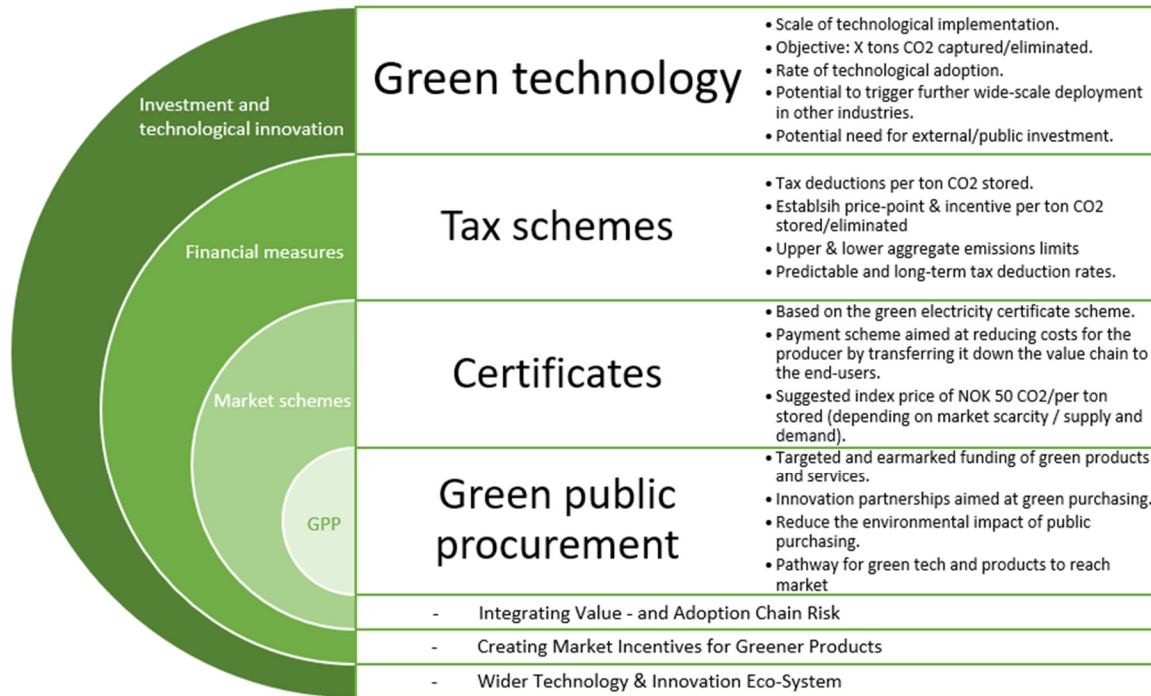
Lindberg, Bakker and Sartori (2019). Modelling electric and heat load profiles of non-residential buildings for use in long-term aggregate load forecasts, Utilities Policy, Vol.58, pp.63-88.

TRL: 6-7

Kontaktpersoner:

[Igor Sartori](#), [Karen Byskov Lindberg](#)

Finansielle strategier og tiltak som støtter utviklingen av ZEN



Holistisk analyseverktøy for utvikling av ZEN strategi og virkemiddelpakke.

Denne innovasjonen består i hovedsak av finansielle strategier og virkemidler som støtter utviklingen av nullutslippsområder. Strategiene og virkemidlene utvikles gjennom forskning og case hvor vi sammen med ZEN-partnere analyserer konkrete problemstillinger.

Foreløpig har vi analysert strategier og markedstiltak for å redusere klimafotavtrykket fra betong. Gjennom dette arbeidet har vi kommet frem til flere virkemidler (se illustrasjon) som skal hjelpe bedrifter utvikle grønne forretningsmodeller. Ved å gjøre flere slike analyser og mer forskning er målsettingen å komme frem til et sett av ulike metoder, tiltak og modeller som ZEN-aktører kan implementere eller la seg inspirere av.

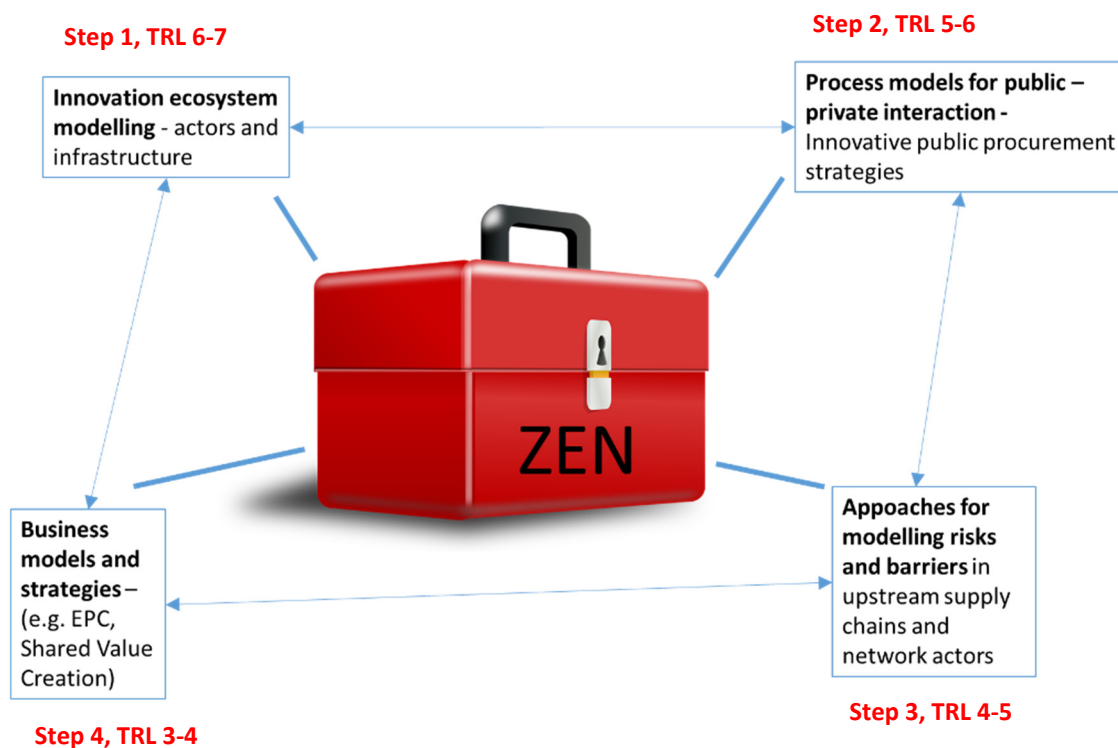
Brukerne av denne innovasjonen er både myndigheter og beslutnings-takere, men også bedrifter og organisasjoner som skal adoptere grønn teknologi. Med utgangspunkt i blant annet en spørreundersøkelse om innovasjonssystemet kan bedriftene analysere flere nivåer av verdikjeden og deretter utvikle en «virkemiddelpakke» for deres grønne produkt eller service. Denne virkemiddelpakken hjelper bedrifter å analysere det teknologiske innovasjonssystemet, samt aspekter knyttet til finansiering, marked og regulering. I tillegg til å hjelpe bedrifter med innovasjonssystemanalyse, fokuserer man også på mulighetsrommet for nye markedskanaler gjennom, for eksempel, grønne og innovative offentlige anskaffelser.

Stokke og Kvellheim, (2020). *Strategies and business models to support the transition to low carbon concrete*. ZEN Report 23, 2020, NTNU/SINTEF.

TRL: 5-7

Kontaktperson
[Raymond Stokke](#)

Verktøykasse for risikoreduksjon ved utvikling av nullutslippsområder



ZEN-samarbeid verktøykasse: offentlig - privat samarbeid, innovasjonsøkosystem, og forretningsmodeller og strategier.

Denne verktøykassen gir støtte gjennom prosessen med utvikling av et nullutslippsområde. Formålet er å bidra til en arbeidsprosess og samhandlingsform som gir størst mulig sannsynlighet for å lykkes med utviklingen av et nullutslippsområde.

Verktøykassen består av fire deler:

- I del en kartlegges aktører og relasjoner mellom dem, samt viktige fysiske og teknologiske delsystemer (innovasjonsøkosystem). Hvem er interessenter i utviklingen av nullutslippsområdet?
- I del to utvikles det prosessbeskrivelser, analyse- og organiseringsmodeller for offentlig-privat samarbeid og offentlige anskaffelser.
- I del tre modelleres risiko og usikkerhet i ulike deler av verdikjeder og nettverk med hensyn til å kunne sette inn avhjelpende og risikoreducerende tiltak i forbindelse med ZEN-relaterte innovasjoner.
- I del fire utvikles det spesifikke forretningsmodeller og strategier for å få til bærekraftige løsninger som skaper verdi for alle involverte parter.

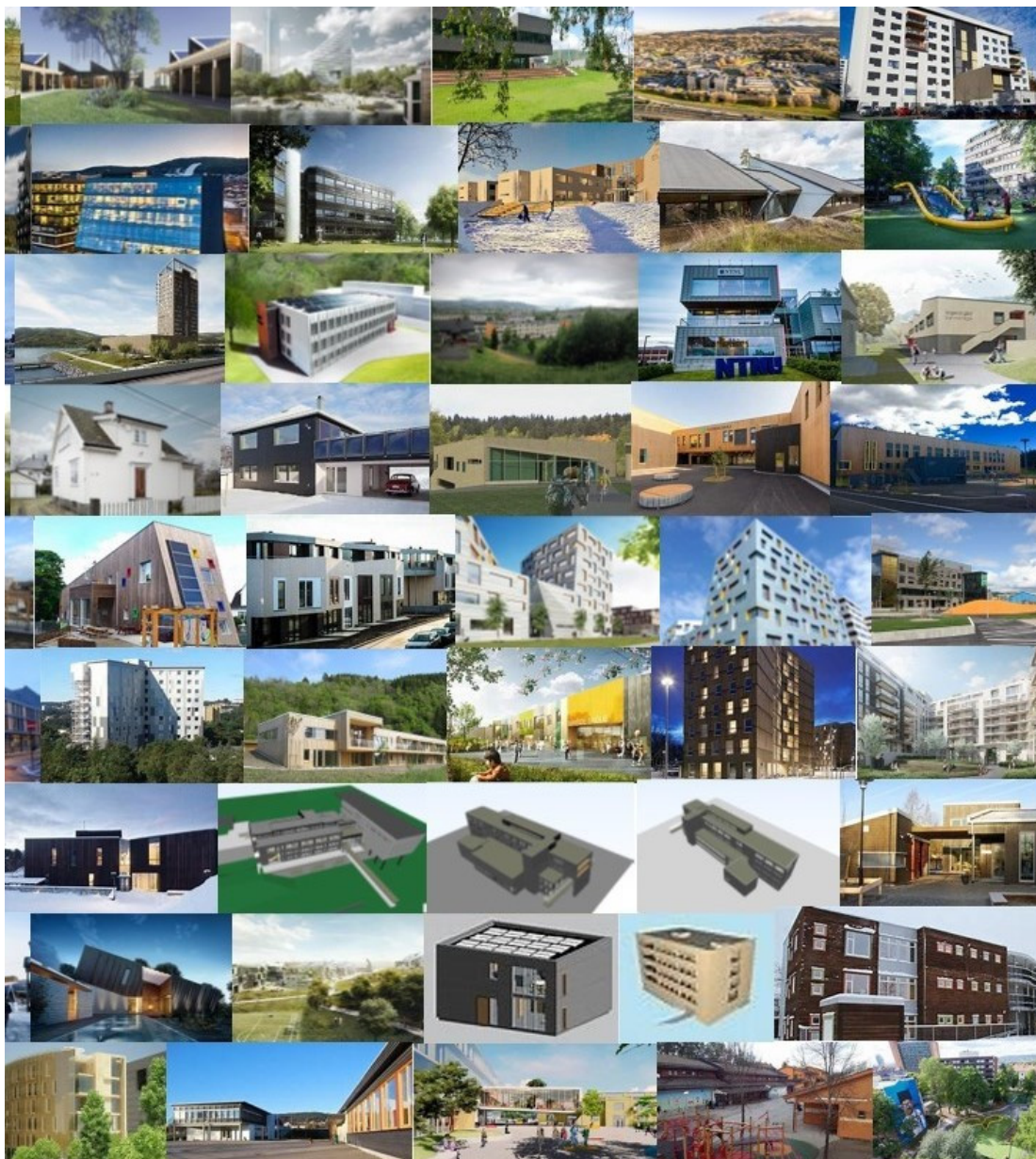
Tanken bak verktøykassen er at verktøyene fra de fire rommene i kassen supplerer hverandre og at det er størst mulighet for å lykkes med prosjektet dersom alle delene tas i bruk. Det er først og fremst offentlige aktører (eksempelvis kommuner eller andre offentlige foretak) som kan benytte seg av disse innovasjonene, men gjerne i samhandling med private aktører (eksempelvis utbyggerne, eiendomsmeidlerne, entreprenører osv.).

Process models for public-private interactions: Hasan A. M. Hamdan and Luitzen de Boer 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 352 012013

TRL: 3-7

Kontaktperson

[Luitzen de Boer, Hasan Hamdan, Elsebeth Holmen](#)



Referanseverdier for klimagassutslipp fra materialbruk i bygninger

Tidligere forskning viser at energieffektive bygninger har en høyere andel av klimagassutslipp fra materialbruk (55-87%) hvorav ca. 65% av disse utslippene kommer fra bygningskroppen. Derfor har ZEN utviklet et forslag til klimagassreferanseverdier for bruk i byggeteknisk forskrift. Forslaget baseres på innsamlet livsløpsanalyser for over 130 bygninger i Norge. Datagrunnlaget er kvalitetssikret og brukes for å generere referanseverdier for maks tillatt klimagassutslipp fra materialbruk i bygninger. Disse verdiene brukes bl.a. av FutureBuilt i utforming av nye klimagasskriterier for lavutslippsbygg.

Potensiell effekt av innovasjonen er en reduksjon i klimagasser fra materialbruk i bygninger. Dette kan hjelpe Norge med å nå nasjonale klimamål gjennom tiltak i bygg- og anleggssektoren.

Wiik, M.K.; Selvig, M.; Fuglseth, M.; Resch, E.; Lousselet, C.; Andresen, I.; Brattebø, H.; Hahn, U. (2020). Klimagasskrav til materialbruk i bygninger. Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger. ZEN Rapport Nr. 24, NTNU/SINTEF.

TRL: 5-6

Kontaktperson

[Marianne Kjendseth Wiik](#)



Videreutvikling av verktøyet EMPIRE (Storskala modellering av europeisk kraftmarked)

EMPIRE er et verktøy for å analysere effektene av variabel kraftforsyning fra sol og vind på investeringen i det europeiske kraftsystemet. Det vil gi politikere, områdeutviklere og investorer bedre forståelse av samspillet mellom de ulike komponentene i kraftsystemet.

Modellens styrke er å knytte sammen langsiktige investeringshorisonter med kortsiktig drift og usikker tilgjengelighet av kraftsystemkomponenter i ett og samme modellrammeverk. Komponentene omfatter forsynings-, lagrings-, og overføringskapasitet i kraftsystemet, og komponentene er aggregert på et nasjonalt nivå. I ZEN videreutvikles EMPIRE med funksjonalitet som gjør at vi kan si noe om hvordan kraftsystemet vil påvirkes når nullutslippsområder blir mer utbredt i Europa. Mer spesifikt inneholder videreutviklingen en modul som tillater analyse av forsyning og bruk av varme i bygg, ladning av elektriske kjøretøy, og fleksibelt energiforbruk i nullutslippsområder.

Verktøyet er utviklet av blant andre Christian Skar, som en del av hans doktorgradsavhandling.

Backe, S., Korpås, M., & Tomsgard, A. Heat and electric vehicle flexibility in the European power system: A case study of Norwegian energy communities. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 125, 106479. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106479>

TRL: 5
Kontaktperson
[Stian Backe](#)



Illustrasjon av EMPIRE-modellens geografiske oppløsning. Strekene representerer strømutsveksling mellom kraftmarkedene.

Optimalisering av fjernvarmesystemer

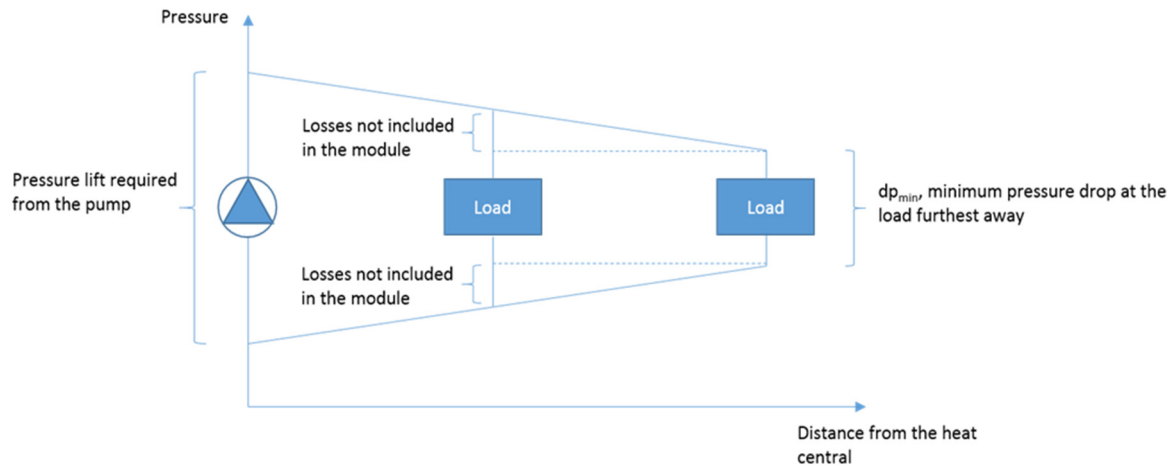
Fjernvarme er en viktig del av fremtidens fossilfrie energisystem. Med fjernvarme kan energikilder som ellers ville forblitt ubrukte, benyttes til oppvarming av bygninger. Fremtidens fjernvarmesystem vil benytte seg av flere distribuerte spillvarmekilder eller fornybare varmekilder. Den oppgraderte fjernvarmemodulen i verktøyet eTransport tillater evaluering av slike system i og med at den tillater strømming til begge retninger i et rør, noe som er relevant når flere varmekilder er til stede i et fjernvarmenett. Dette muliggjør bedre planlegging av lokale fjernvarmesystem med distribuerte varmekilder for energibedrifter og områdeplanleggere.

Fjernvarmemodulen er en lineær beskrivelse av et fjernvarmesystem som består av en eller flere varmekilder, et distribusjonsnett med rør og knutepunkt, lastepunkt og eventuelt varmelager. Den forbedrede modulen inkluderer blant annet

- varierende massestrøm som er avhengig av varmebehovet;
- trykk som en variabel, med visse grenser for minimalt og maksimalt trykk og minimum trykkfall ved lastepunktene;
- pumpekraft på grunn av trykktap i rør og ved lastepunkter (se figur) som en del av objektivfunksjonen;
- beregning av varmetap i rør basert på turtemperaturen og utetemperaturen.

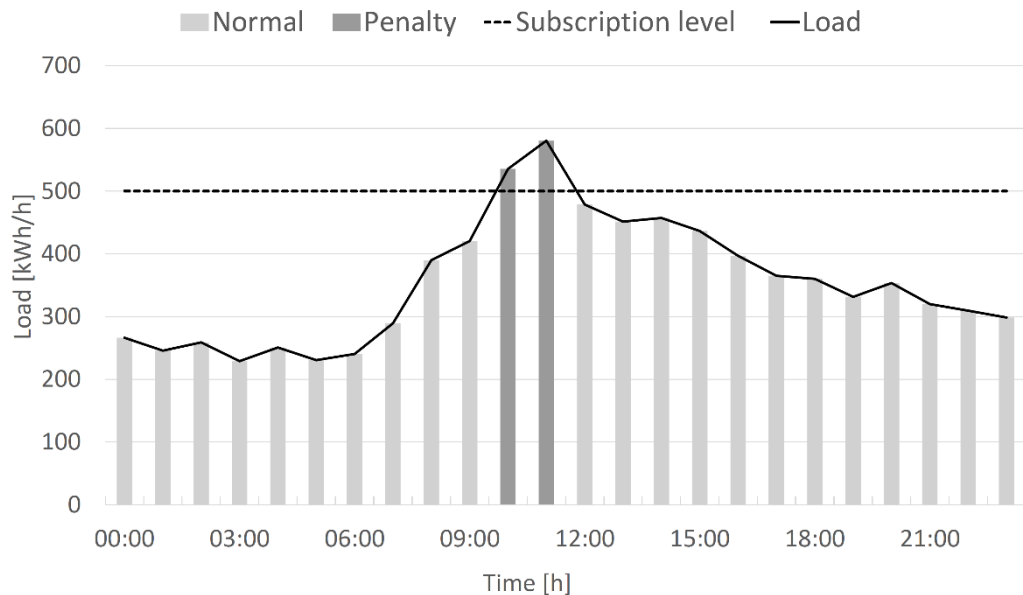
Kvalsvik, K. og Kauko H. (2018), "Linear optimization of district heating systems", ZEN REPORT No. 9 – 2018.

TRL: 5
Kontaktperson
[Hanne Kauko](#)



Trykktap som funksjon av avstand fra varmesentral, og trykktap i forbrukspunkt.

Tariffmodell: hvordan strømkunder reagerer på ulike prismekanismer



Illustrasjon av tariffmodellen 'abonnert effekt' som brukes i modellverktøyet. Timesforbruk som undergår abonnert grense ('Subscription level') vil gi normale kostnader, mens forbruk som overstiger grensen vil gi ekstra kostnader.

Tariffmodellen brukes til å forutsi hvordan utforming av prismekanismer (her i form av ulike tariffstrukturer) påvirker strømbruk dersom energifleksibilitet utnyttes for å minimere kostnader. Modellen omhandler også samspillet mellom utvikling og drift av bygg og områder, og hvordan disse kan koordinere seg mot nettselskapene. Tariffmodellen er anvendt i fire case-studier så langt, hvor det benyttes målt strømforbruk fra ZEN pilotområde campus Evenstad og anslåtte tariffpriser fra NVE for de ulike tariffstrukturene. Denne tariffmodellen tas også i bruk i EU-prosjektet +CityXChange og skal brukes videre i pilotområder i Trondheim. Modellen videreutvikles med flere tariffstrukturer, samt at varme vil inngå som produkt.

Kundene av modellen er hovedsakelig regulatorer og nettselskaper som ønsker å forstå konsekvensene av strømkunders kostnadsminimerende respons til ulike nettleiestrukturer som innføres. Modellen kan også manuelt brukes til å planlegge billigste strømbruk i nær framtid for forbruker som respons til ulike strømvavtaler og tariffstrukturer.

Modellen er utviklet av stipendiat Stian Backe som en del av doktorgradsprosjektet tilknyttet FME ZEN.

Backe, S., (2020) Reproducible model to compare individual and coordinated demand response with dynamic and static power grid tariffs, MendeleyData, v1.

TRL: 5

Kontaktperson
[Stian Backe](#)

THE ZEN DEFINITION – A GUIDELINE FOR THE ZEN PILOT AREAS

VERSION 1.0

ZEN REPORT No. 11 – 2018



ZEN definisjonsveileder

I FME ZEN utvikles en veileder for måling og rapportering av klimagassutslipp for bygg og områder. Veilederen består av kriterier og indikatorer som skal omsettes i praktiske prosesser. Veilederen skal hjelpe utførende aktører med å ta ZEN-definisjonen i bruk og beskriver hvordan vurderingskriteriene og nøkkelindikatorene (klimagassutslipp, energi, effekt, mobilitet, økonomi, stedskvaliteter og innovasjon) kan planlegges for, vurderes og følges opp i ZEN pilotprosjekter. Hver indikator er delt opp i ulike kategorier og tilhørende måleenheter. Veilederen skal kunne brukes av planleggende og utførende aktører i ulike planfaser. Innholdet gir en beskrivelse av relevante evalueringsmetoder, og gir en oversikt over data som er nødvendig for å gjøre evalueringene. Innholdet i veilederen utvikles i tråd med ZEN-definisjonen og oppdateres etter behov over senterets levetid.

Wiik, M. K., Fufa, S. M., Baer, D., Sartori, I. & Andresen, I (2018) The ZEN definition – a guideline for the ZEN pilot areas. Version 1.0, ZEN Report 11, NTNU/SINTEF.

TRL: 4-5

Kontaktpersoner

[Marianne Kjendseth Wiik](#), [Judith Thomsen](#)

Model Predictive Control (MPC) av bygg og nabolag

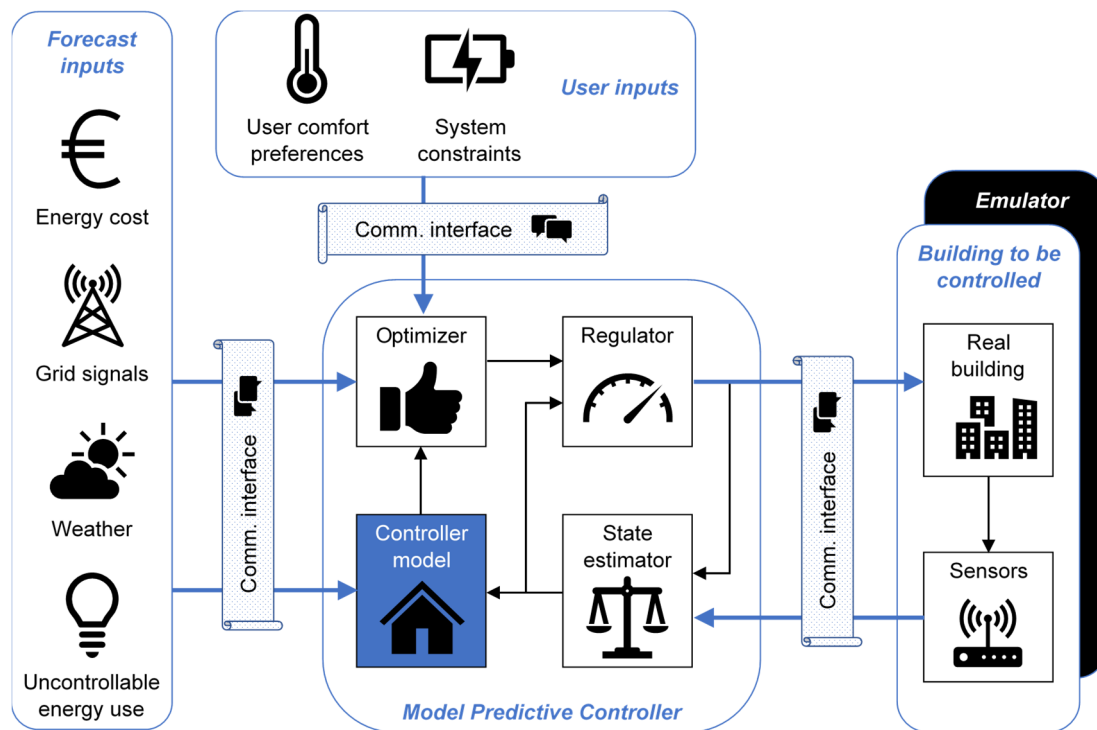


Diagram over potensiell utnyttelse av MPC i bygg.

MPC er en styringsalgoritme som aktiviserer energifleksibiliteten som finnes i bygg og nabolag.

MPC brukes for å optimalisere driften av bygg med forskjellige mål, som for eksempel å minimere energikostnader, minimere CO₂ utslipp knyttet til energibruk, maksimere selvforbruk av lokal solproduksjon eller jevne ut spisslast for å avlaste nettet. MPC skal kunne implementeres i eksisterende sentraldriftsanlegg (SD-anlegg) både lokalt og i skybaserte løsninger.

Utnyttelse av fleksibilitetspotensialet via MPC-applikasjoner i bygg og nabolag kan derfor redusere driftskostnadene for brukerne, redusere investeringskostnader i energinettet, øke systemvirkningsgraden i energinettet, samt redusere karbonfotavtrykket til energisystemet.

Metoden baseres på såkalte "grey-box" modeller av bygninger, dvs. modeller som er delvis fysisk og delvis datadrevne, og bruk av prediksjoner av værforhold, brukeradferd og energipris. MPC baserer seg på "receding horizon control", dvs. driften optimaliseres over en gitt horisont – typisk en dag – med høy tidsoppløsning, typisk 15-60 minutter.

Innovasjonen inneholder både selve utviklingen av "grey-box" modeller for komponenter i bygnings- og nabolagsenergisystem – som er den mest krevende delen – og utvikling av algoritmer for implementering av kontrollmodellene i et MPC rammeverk.

Walnum, H., Lindberg, K. and Sartori, I. (2018) Influence of inputs knowledge on Grey-box models for Demand Response in Buildings, IBPSA Nordic BuildSim-Nordic conference 2018.

TRL: 4-5

Kontaktpersoner

[Igor Sartori](#), [Harald Taxt Walnum](#), [Laurent Georges](#)



Utgave 2. desember 2019

BRUKERVEILEDNING PI-SEC SCENARIO CALCULATOR

Hvordan benytte scenariokalkulatoren
til å planlegge smarte energisamfunn?

Harald Taxt Walnum, Synne Krekling Lien, Åshild Lappegard
Hauge og Karen Byskov Lindberg



PI-SEC Scenario Calculator

Scenariokalkulatoren er et Excel-basert beslutningsstøtteverktøy for planlegging og evaluering av ZEN-prosjekter. Målgruppen for scenariokalkulatoren er først og fremst kommuneansatte som er involvert i planprosessen, men også konsulenter kan gi input til kalkulatoren hvis kommunen trenger hjelp. Per nå benyttes scenariokalkulatoren av forskere i ZEN for oppfølging av flere av ZEN-pilotene. Verktøyet ble først utviklet i forskerprosjektet PI-SEC (Planning instruments for smart energy communities), og videreutvikles gjennom testing på pilotene i ZEN. I tillegg til forbedringer basert på brukererfaringer, gjøres det tilpasninger til ZEN indikatorsettet.

Scenariokalkulatoren kan brukes både for planlegging av helt nye områder, og oppgradering av eksisterende områder i tidligfase-planlegging. Ved å koble energi og utslipp fra bygg og infrastruktur til de overordnede målene for området, øker verktøyet planleggenes kunnskap om hva som er nødvendig av tiltak for å nå målet. Det plasserer også tydelig ansvar hos de ulike aktørene, siden resultatene knytter seg til de konkrete byggene og tiltakene.

Kalkulatoren fungerer ved at man legger inn informasjon om bygg, transport og infrastruktur i området, og regner deretter ut hvordan området skårer på valgte indikatorer. Det er mulig å legge inn ulike scenarier for tiltak og utviklingstrekk i området, og deretter studere hvordan ulike valg påvirker energibruk og utslipp i området, og hvilke tiltak som må gjøres for å nå ulike mål.

Verktøyet og brukerveiledning kan lastes ned herfra:

<https://www.sintef.no/prosjekter/pi-sec/>

TRL: 4-5

Kontaktpersoner

[Harald Taxt Walnum](#), [Synne Krekling Lien](#)



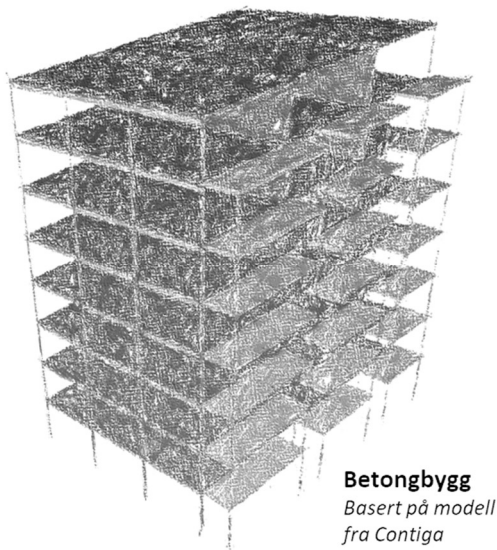
LCA av betong- og trekonstruksjoner

Det har vært en kontinuerlig debatt om miljøegenskapene til tre versus betong de siste tiårene, men begge materialene har sine styrker og svakheter. Materialene må sees i sammenheng med både bygg og område. For å kunne utvikle nullutslippsbygg i et nullutslippsområde er det nødvendig å kunne analysere hvilke parametere som er bestemmende for høyt/lavt nivå av klimafotavtrykk. Dette kan brukes til å identifisere handlingsrommet for å kutte klimagassutslipp i en bygningskontekst som underlag for å gjøre vurderinger på områdenivå.

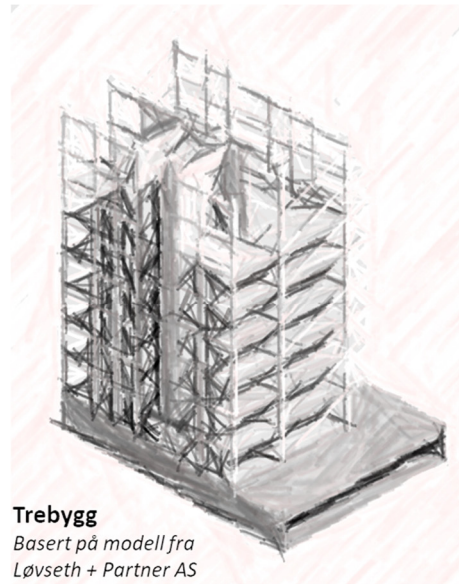
I dette arbeidet utvikles det en metode for å gjennomføre følsomhetsanalyser av bygninger basert på data hentet fra BIM-modeller. En parametriske modell utvikles for å utforske miljøegenskapene til byggematerialer i et livsløpsperspektiv. Modellen vil demonstreres ved å analysere to varianter av et bygg, en med bærekonstruksjon i tre og en med bærekonstruksjon i betong. Bygget er et virtuelt, men realistisk, bygg. Formålet med metoden er å gi bedre beslutningsstøtte i tidlig fase for byggherrer, entreprenører, arkitekter og materialleverandører.

TRL: 4-5

Kontaktperson
[Christofer Skaar](#)



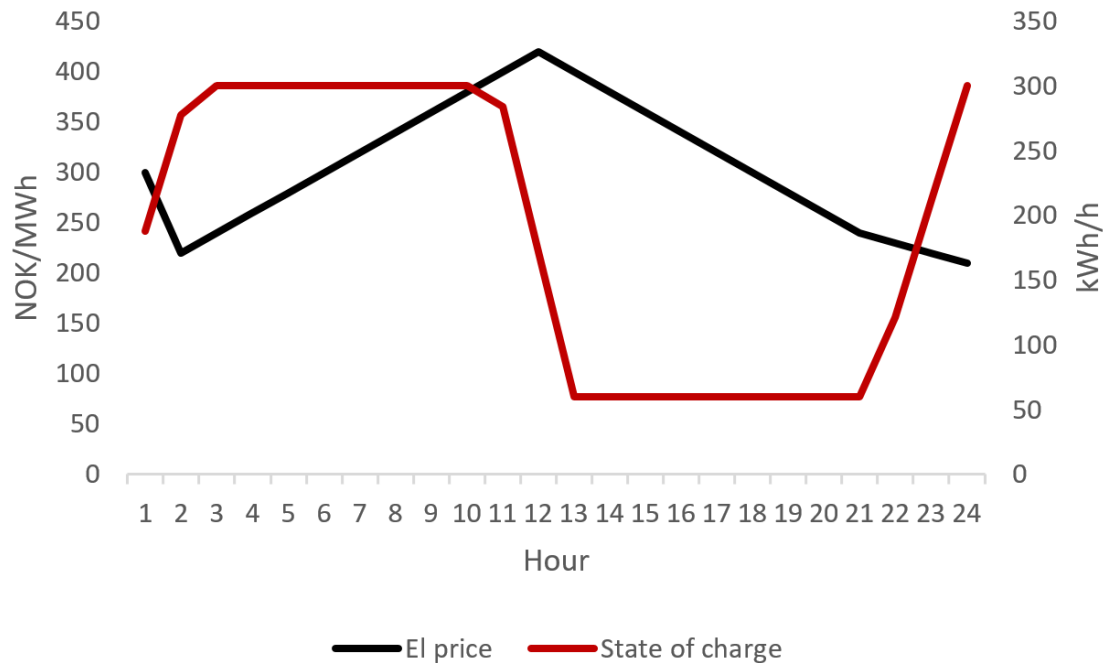
Betongbygg
Basert på modell fra Contiga



Trebygg
Basert på modell fra Løvseth + Partner AS

Illustrasjon basert på modeller fra Contiga og Løvseth + Partner AS.

Batterimodul til eTransport



Opplading og utlading av batterimodul i testcase. Figuren viser oppførsel til et batteri i eTransport modellen i ett døgn sammen med modellens elektrisitetspris.



Bruk av batterier hos forbrukere er en mye diskutert mulighet for å innføre mer fleksibilitet i kraftsystemet. Ved å produsere egen strøm og lagre i batteri, kan en større del av kraftforbruket bli egenprodusert. Dette kan i mange tilfeller være økonomisk lønnsomt, men lønnsomheten er avhengig av tariffstrukturen.

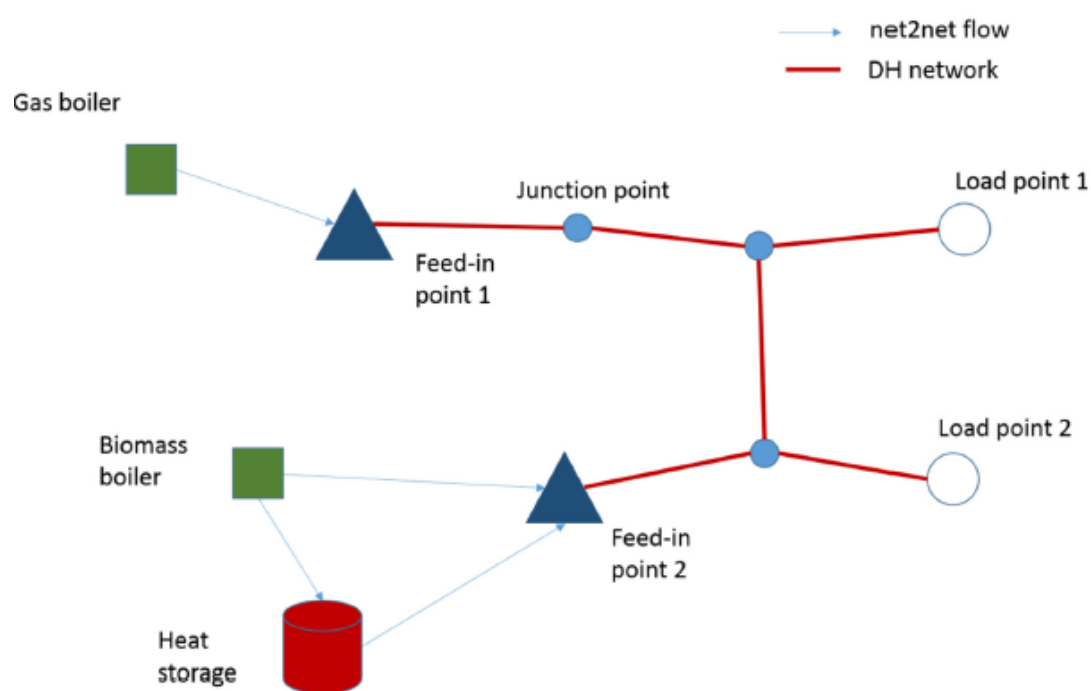
Det er derfor utviklet og innlemmet en egen batterimodell i eTransport. Selve modulen er forholdsvis enkel. Den viktigste restriksjonen er at oppladingsnivået må være det samme ved starten og slutten av en representativ dag i en sesong. Verdien av denne innovasjonen er først og fremst at implementasjonen har skjedd i et eksisterende verktøy som gjør det mulig å sette batterier inn i et helhetlig energisystem med optimalisering både på drifts- og investeringsiden. I tillegg til lønnsomhet kan en undersøke hvordan batterier samspiller med andre komponenter i et lokalt kraftsystem, som egenproduksjon fra solceller, og strømnettet. Målgruppe er alle brukere av eTransport, det vil si i hovedsak forskere og konsulenter innenfor energiområdet i Norge og utlandet.

Kolstad, M. L. (2018), "eTransport battery module", ZEN MEMO No. 12 – 2018.

TRL: 4

Kontaktperson
[Ove Wolfgang](#)

eTransport moduler for akkumulatortank og sesonglager for varme



Varmelager koblet i et enkelt fjernvarmenett med to varmesentraler og to forbrukspunkter.

Termisk energilagring muliggjør økt fleksibilitet i energiproduksjon og dermed reduserte kostnader og utslipp for både fjernvarme og elektriske nett. To moduler for termisk energilagring er utviklet i eTransport: døgn- og sesonglagring av varme. Døgnlageret er modellert som en akkumulatortank, som gir muligheten til å redusere toppplastbehov og flytte laster på timesbasis. Lageret kan lades med både termisk (vannbåren) og elektrisk energi, og gir dermed også muligheten til å evaluere fleksibiliteten mellom elektriske og termiske energisystem som et slikt lager tilbyr. Et sesonglager av varme gir muligheten for å lagre overskuddsvarme, eksempelvis fra søppel- forbrenning om sommeren, til bruk for oppvarming av et område om vinteren. Selv om sesonglageret på lik linje med andre moduler brukes for å optimalisere energiforbruk på døgnbasis, har modulen variabilitet over lengre tidsskala slik at mengden varme som kan tas ut fra, og puttes inn i lageret, er avhengig av sesongen. I tillegg har modulen et visst varmetap over et år. Modulen kan brukes av konsulenter, områdeplanleggere, energibedrifter og forskere for å evaluere lønnsomheten av et termisk lager i et lokalt energisystem.

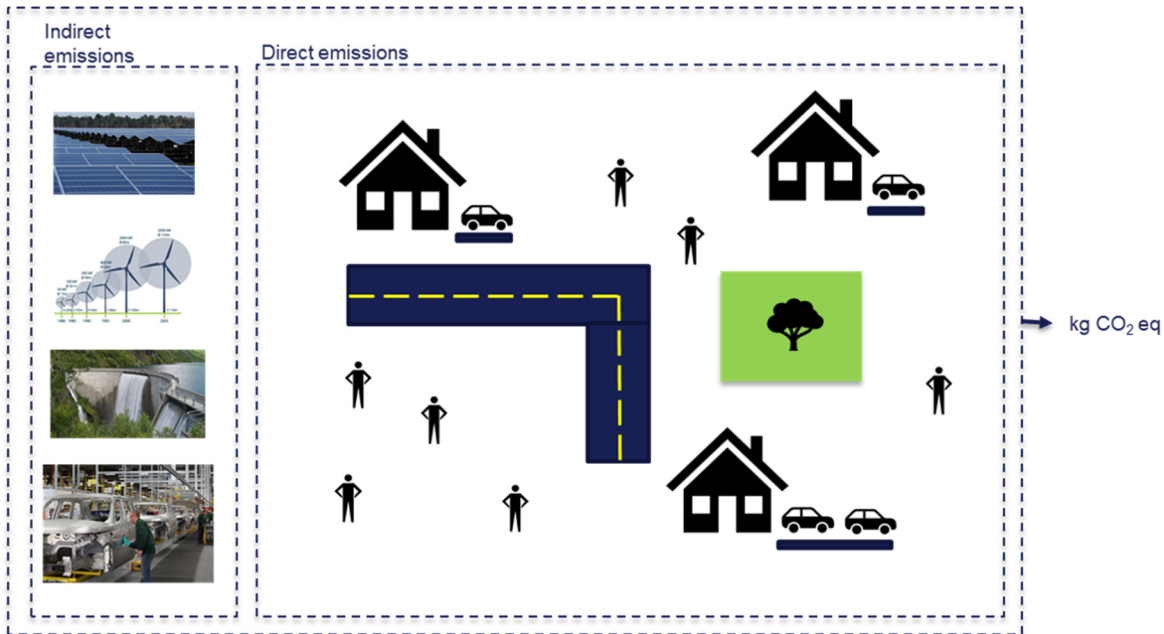
Kauko, H. L. P. (2018), "eTransport modules for diurnal and seasonal heat storage: User guide and technical documentation", ZEN MEMO No. 15 – 2019.

TRL: 4

Kontaktperson

[Hanne Kauko](#)

LCA-modell og database for ZEN-prosjekter



Bygninger, infrastruktur og mobilitet er eksempler på elementer i et ZEN-prosjekt som LCA-modellen skal estimere direkte og indirekte klimagassutslipp for.

Innovasjonen er en metodikk med beregningsmodeller og database for å kunne utføre konsistente livsløpsvurderinger (LCA) av et ZEN-prosjekt. Den er egnet til å vurdere omfanget av klimagassutslipp og deres utslippsskilder over livsløpet til et prosjekt. Metodikken består av ulike verktøy tilpasset kompleksiteten på et områdenivå, inkludert inventar for LCA-database for bruk i eksisterende og fremtidig LCA-programvare. Dette inkluderer utslipp fra bygg, infrastruktur og mobilitet, og med spesiell vekt på detaljert dokumentasjon og statistisk behandling av klimagassutslipp fra materialbruk over hele levetiden for bygg. LCA-studier på områdenivå er foreløpig utført for pilotprosjektene Ydalir og Zero Village Bergen.

Denne innovasjonen er viktig fordi myndigheter og markedet etterspør stadig mer av nullutslippsløsninger, som må analyseres og dokumenteres ved LCA-verktøy. Målgrupper for innovasjonen er dermed planleggere, prosjektutviklere, rådgivningsfirma og forskere.

Lausset, C.; Borgnes, V.; Ellingsen, L.A-W.; Strømman, A.H.; Brattebø, H. (2019). Life-cycle assessment methodology to assess zero emission neighborhood concepts. A novel model. ZEN Report No 12, 2019.

Resch, E.; Lausset, C.; Brattebø, H.; Andresen, I. (2020). An analytical method for evaluating and visualizing embodied carbon emissions of buildings. Building and Environment, 168, 106476.

TRL: 4

Kontaktperson

[Helge Brattebø](#), [Carine Lausset](#), [Christofer Skaar](#), [Eirik Resch](#)



NTNU Gløshaugen med varmenett, som eksempel på et område som er testet med dynamisk stock-flow modell for scenarioanalyse.

Stock-flow modell for scenarioanalyse av ZEN-prosjekter

Innovasjonen er et verktøy for langtidsanalyse av utviklingen av bygningsmassen i et område, og hvordan rehabilitering, riving og nybygging påvirker den samlede materialbruk og energibruk, og resulterende klimagassutslipp. Verktøyet benytter såkalt dynamisk stock-flow materialstrømsanalyse for scenariomodellering av energibruken i bygningsmassen i et område, og bygger på mangeårig forskningsarbeid. Hensikten er å estimere hvordan ZEN-prosjekter bidrar til å nå mål for klimagassutslipp mot 2050. Verktøyet vil videreutvikles i to retninger, koblet mot livsløpsanalyse (LCA) for klimagassutslipp og mot livsløpskostnadsanalyser (LCC). Verktøyet er i sin eksisterende form anvendt for pilotprosjektet NTNU Campus Gløshaugen og for et hypotetisk ZEN-prosjekt.

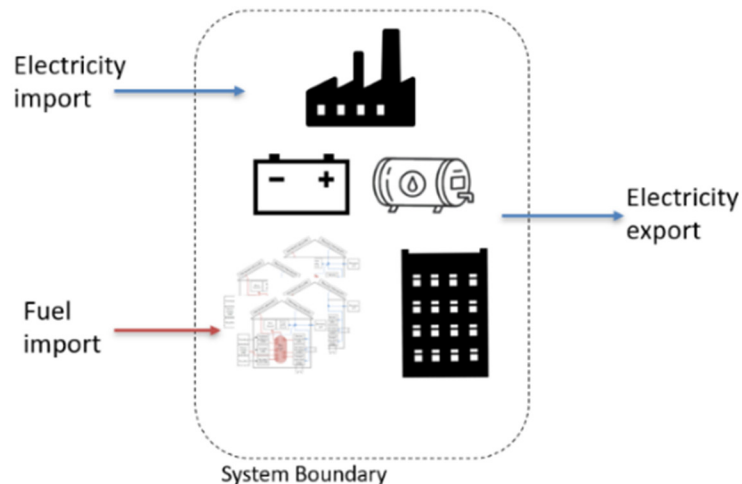
Verktøyet er viktig i planlegging og vurdering av løsninger for videreutvikling av eksisterende områder og utbygging av nye, fordi det vil legges økt vekt på at disse skal bidra til nullutslippssamfunnet, og scenarioanalyser kan avdekke hva som blir de mest effektive løsningsalternativ, gitt ulike mulige utviklingstrekk fremover for prosjekter med lange tidshorisonter. Målgruppen for av verktøyet er primært forskere, mens resultatene vil være av primær nytte for planleggere, utbyggere og rådgivere.

Næss, J.S.; Sandberg, N.H.; Nord, N.; Vestrum, M.I.; Lausset, C.; Woszczek, A.; Rønneseth, Ø., Brattebø, H. (2018). Neighbourhood building stock model for long-term dynamic analysis of energy demand and GHG emissions. General model description and case studies. ZEN Report No. 1, 2018, NTNU/SINTEF.

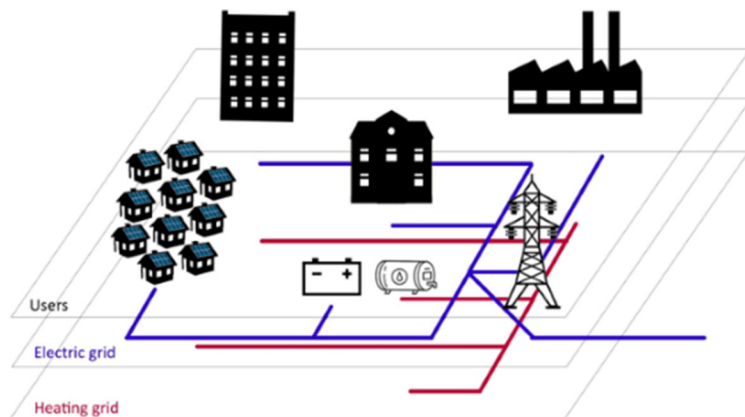
TRL: 4

Kontaktperson

[Nina Sandberg, Helge Brattebø](#)



$$\sum_i f_{CO_2i} \cdot y_i^{imp} = f_{CO_2el} \cdot y_{el}^{exp}$$



ZENIT

ZENIT er en modell for å lage et kostnadsoptimalt energisystem for nye nabolag med ambisjon om å oppnå nullutslipp på slutten av levetiden. Modellen gjør det mulig for byplanleggere og bydelsutviklere å identifisere komponenter i energisystemet (type teknologier, drivstoff og størrelser) tidlig i prosjektfasen.

Modellen tar utgangspunkt i el-spesifikt forbruk, romvarme og varmt vann i bygg samt klimaforholdene (temperatur, solinnstråling). Basert på kostnadene med alternative energiløsninger beregner modellen kostnadsoptimal drift og utvikling av energisystemet. Modellen er formulert i et Python-skript og bruker optimaliseringsløseren Gurobi. Modellen er i kontinuerlig utvikling og har blitt brukt til å lage flere konferanse- og tidsskriftartikler. Både forskere og byplanleggere kan bruke dette verktøyet.

D. Pinel, S. Bjarghov and M. Korpås, "Impact of Grid Tariffs Design on the Zero Emission Neighborhoods Energy System Investments," 2019 IEEE Milan PowerTech, Milan, Italy, 2019, pp. 1-6.

D. Pinel, "Clustering methods assessment for investment in zero emission neighborhoods", energy system, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 121, 2020, 106088, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106088>.

TRL: 4

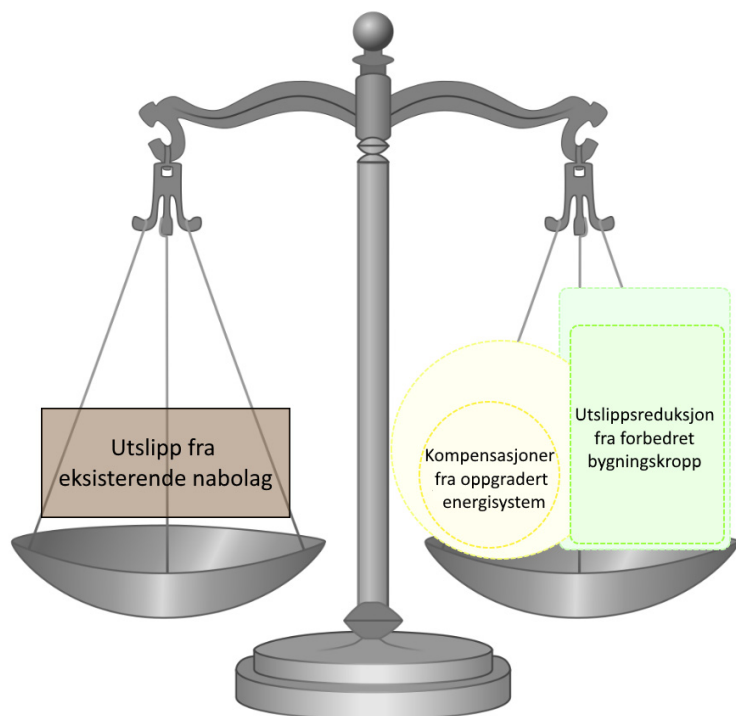
Kontaktperson

[Dimitri Pinel](#)



Grenser av ett eksempel energisystemer og de strømmingene som er viktige i netto nullutslippsbalanse.

Kostnadseffektiv nullutslippsbalanse i eksisterende nabolag



Illustrasjon av spørsmålet som besvares av verktøyet: Hvordan kan oppgradering av bygningskropp og energisystem balanseres for å møte nullutslippskriterier på en kostnadsoptimal måte?

ZENIT-R

ZENIT-R er en variant av ZENIT-modellen og gir svar på hvordan oppgradering av bygningskropp og energisystem kan balanseres for å møte nullutslippskriterier på en kostnadsoptimal måte. Modellen gjør det mulig for byplanleggere og bydelsutviklere å identifisere tiltak tidlig i prosjektfasen.

For å redusere utslippene fra eksisterende bygningsmasse, tillater ZENIT-R å undersøke hvordan man kan få til et nullutslippsområde med utgangspunkt i et område med eksisterende bygningsmasse. Modellen tar høyde for nye bygninger og tar hensyn til eksisterende bygninger og mulighetene for oppgradering av dem sett i sammenheng med områdets energisystem. Det er viktig å vite hvor mye man skal fokusere på henholdsvis energisystemet og på oppgradering av bygningskroppen for å oppnå nullutslipp på en kostnadsoptimal måte, og ZENIT-R vil bidra til å belyse denne utfordringen.

ZENIT-R er formulert i et Python-skript og bruker optimaliseringsløseren Gurobi. Verktøyet er i kontinuerlig utvikling og vil bli presentert i en konferanseartikkel.

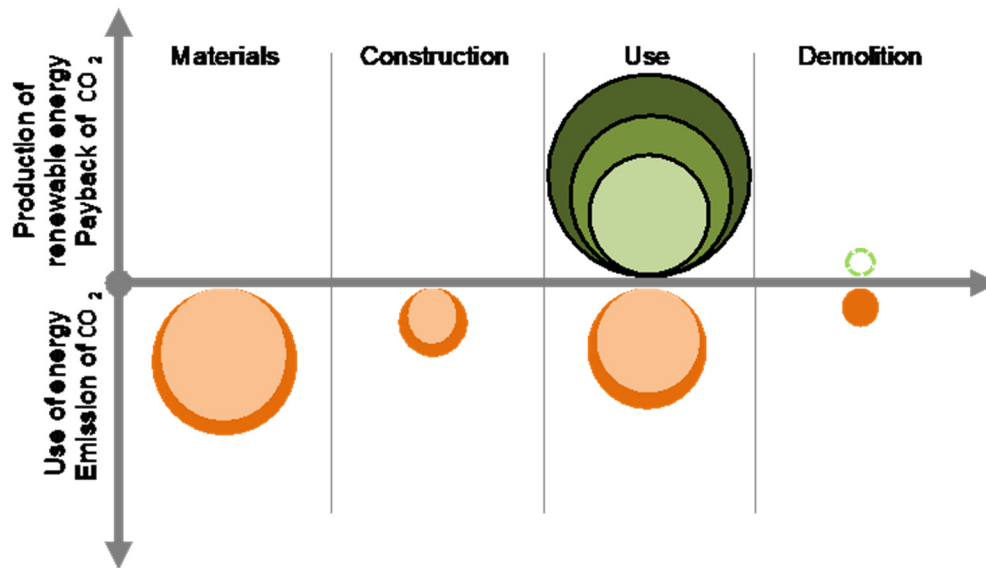
TRL: 4

Kontaktperson

[Dimitri Pinel](#)



Utslippsverktøy for nullutslippsbygninger (ZEB GHG Tool)



Verktøyet beregner klimagassutslippene fra bygninger i.h.h.t. ZEB-OM ambisjonsnivået, for å få kunnskap om hvordan utslipp fra materialproduksjon og energibruk i drift (ekskl. bygging og riving) som angitt i oransje farge kan gjøres minst mulig, og kompenseres ved økt produksjon av fornybar energi som kan gi netto energi eksportert ut til andre formål.

ZEB GHG Tool ble utviklet i løpet av ZEB-senteret, som et Excel-basert regneark. Formålet var å beregne klimagassutslipp fra bygninger på ZEB-OM ambisjonsnivå, dvs. inklusive utslipp fra materialproduksjon (modul A1-A3), utskiftninger i driftsfasen (modul B4) og energibruk i driftsfasen (modul B6). Verktøyet gjør bruk av data fra miljøvare-deklarasjoner og er bygget etter en struktur som gir god transparens mht hvilke bygningsdeler og livsløpsmoduler utslipp stammer fra, og vil støtte utførende aktører i ulike prosjektfaser for å designe og bygge komponenter, bygninger, installasjoner og områder med netto nullutslipp.

Det vurderes hvordan dette verktøyet kan videreutvikles til bruk for ZEN-prosjekter, dvs. slik at det kan analysere utslipp fra bygninger og installasjoner på områdenivå, og brukes for å beslutninger om teknologi og utforming av bygg og områder for å strekke seg mot null utslipp.

Wiik, M.K.; Schlanbusch, R.D.; Kristjansdottir, T.; Wiberg, A.H. (2017). ZEB Tool Manual, User Guide. The Research Centre on Zero Emission Buildings, Memo, NTNU/SINTEF.

TRL: 4

Kontaktperson

[Marianne Kjendseth Wiik](#)

Driftsmodell: verdien av fleksibilitet for en bygning med fleksible komponenter

Vi utvikler en modell som gjør det mulig å se hvor mye man kan spare ved å utnytte mulighetene for fleksibel strømforsyning i en bygning, på kort og lang sikt. Det gjør det enklere for strømkunder og nettselskaper å planlegge og analysere driften av bygningen.

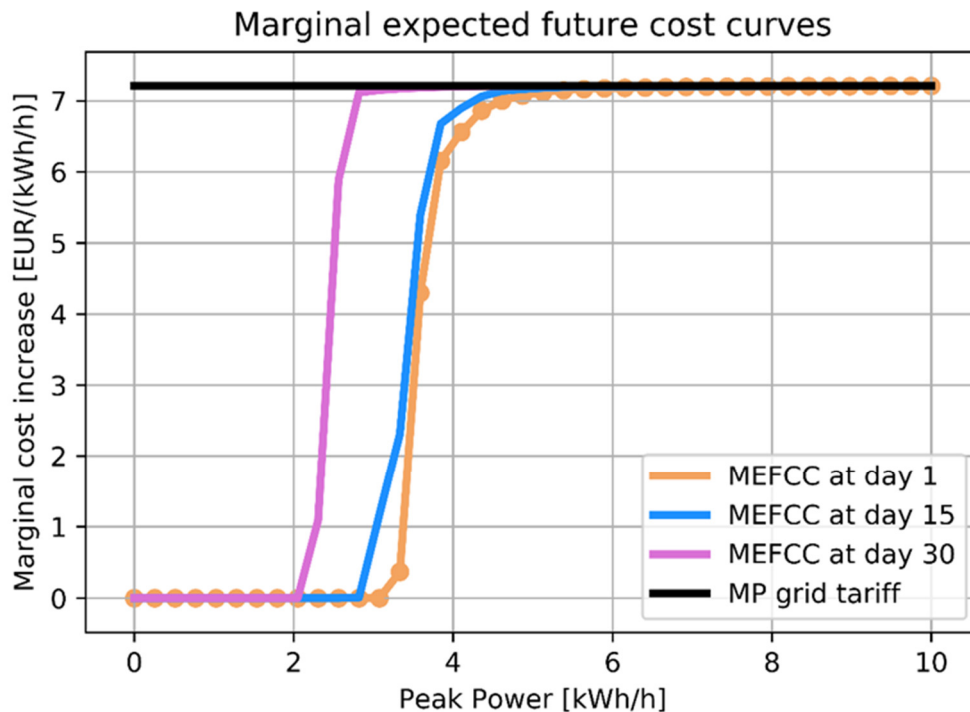
For å kunne styre smarte fleksible enheter (som elbillading og romoppvarming i en bygning) på en lønnsom måte, er man avhengig av å kunne beregne prisingen en periode fram i tid. Kostnaden mot slutten av perioden avhenger av driften av bygningen, spesielt hvis en skulle inkludere sluttpriser som avhenger av bruksmønstret gjennom hele perioden. Modellen tar for seg en lengre driftsperiode, fra en måned til et år, og beregner strømforbruket fram i tid og viser hvordan driften av fleksible enheter, for eksempel når man velger å lade elbilbatteriet eller skru opp varmen i bygningen, påvirker kostnadene for resten av perioden. Kostnadene visualiseres som en kostnadskurve, som viser konsekvensene av å endre bruken av fleksible enheter, gjennom en variabel, som kan være en intern CO₂-balanse, høyest effektimport eller batteritilstanden til en elbil. Verdien av å bruke fleksibilitet måles mot denne variabelen slik at det gjøres en kostnadsoptimal vurdering.

Modellen er utviklet av NTNU ved stipendiat Kasper Thorvaldsen som en del av doktorgradsprosjektet hans tilknyttet FME ZEN og FME CINELDI.

Thorvaldsen, Kasper; Bjarghov, Sigurd; Farahmand, Hossein (2020), "Representing Long-term Impact of Residential Building Energy Management using Stochastic Dynamic Programming", 2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAAPS).

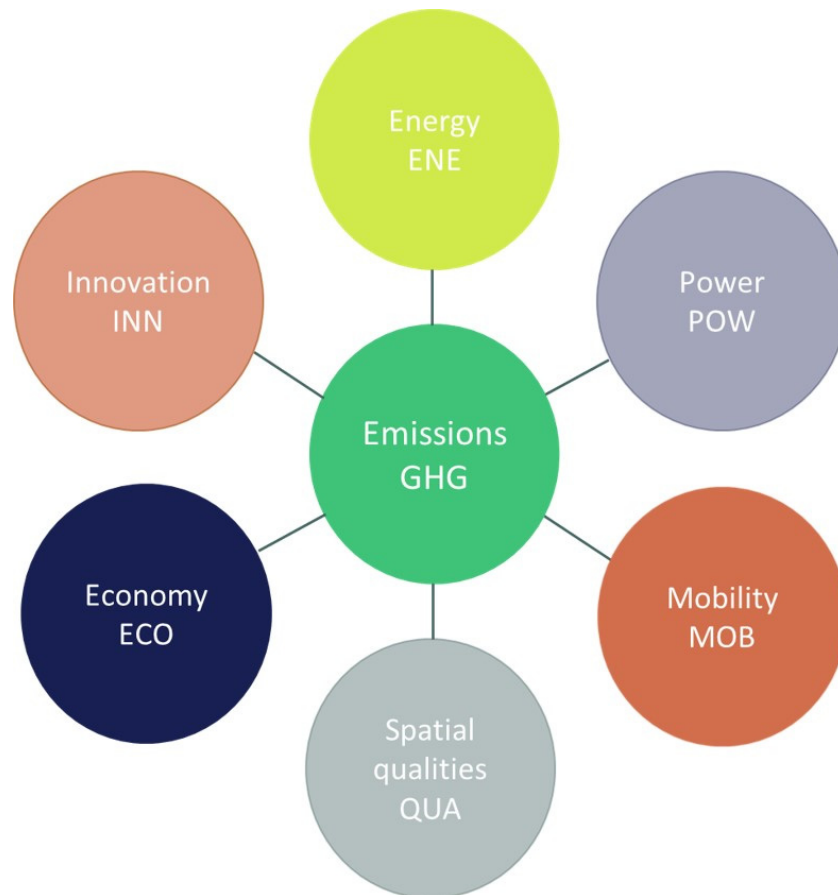
TRL: 4

Kontaktperson: [Kasper Thorvaldsen](#)



Marginal kostnadsøkning for fremtidig drift av bygget basert på høyeste effekttopp, over flere dager i en måned. Her er målt effekt over 1 måned brukt som langsiktig prissignal.

ZEN definisjon og nøkkelindikatorer



Kvalitetskategorier som inngår i ZEN-definisjonen, og som det utvikles kriterier og nøkkelindikatorer (KPIer) for.

ZEN-definisjonen og nøkkelindikatorer (KPI) for kategoriene klimagasser, energi, effekt, mobilitet, stedsqualiteter, økonomi og innovasjon er utarbeidet i samarbeid med ZEN-partnere og skal testes videre gjennom hele forskningscenterets periode. Innovasjonen forventes å bli mye brukt til planlegging, benchmarking og dokumentasjon av ZEN-prosjekter.

Definisjonen og nøkkelindikatorene vil ha betydelig påvirkning på at nye områder faktisk bygges etter ZEN definisjonsnivå med tanke på planprosess, løsninger, ambisjonsnivå, kriterier og dokumentasjon. Definisjonen kan potensielt påvirke forskriftsverket. Definisjonen skal anvendes i alle pilotprosjektene, og resultatene og erfaringene brukes for kontinuerlig forbedring av både definisjonen og indikatorene.

Innovasjonen bør nå TRL 6-7 etter 5 år, etter testing og justeringer i ZEN-pilotene.

Wiik, M.K.; Fufa, S.M.; Krogstie, J.; Ahlers, D.; Wyckmans, A.; Driscoll, P.; Brattebø, H.; Gustavsen, A. (2018). Zero emission neighborhoods in smart cities. Definition, key performance indicators and assessment criteria. Version 1.0 Bilingual version. ZEN Report No. 7, NTNU/SINTEF

TRL: 3-4

Kontaktpersoner

[Marianne Kjendseth Wiik](#), [Helge Brattebø](#)

ZEN KPI vurderingsverktøy

ZEN KPI vurderingsverktøy er et verktøy for bruk til flermålsanalyse for helhetlig vurdering av et ZEN-prosjekt opp mot de kriterier og nøkkelindikatorer (KPIer) som ZEN-definisjonen angir. Verktøyet skal også kunne brukes for benchmarking av hvordan et prosjekt vil prestere på KPIer i forhold til vanlige og/eller andre best-practice prosjekter i markedet.

Et godt fungerende verktøy vil trolig ha et betydelig potensial for bruk i markedet, fordi dette gir mulighet til en kvantitativ dokumentasjon, eller estimering, av hvordan et prosjekt vil prestere på ulike kriterier som man vet er viktige for utbyggere, kunder og andre interessenter

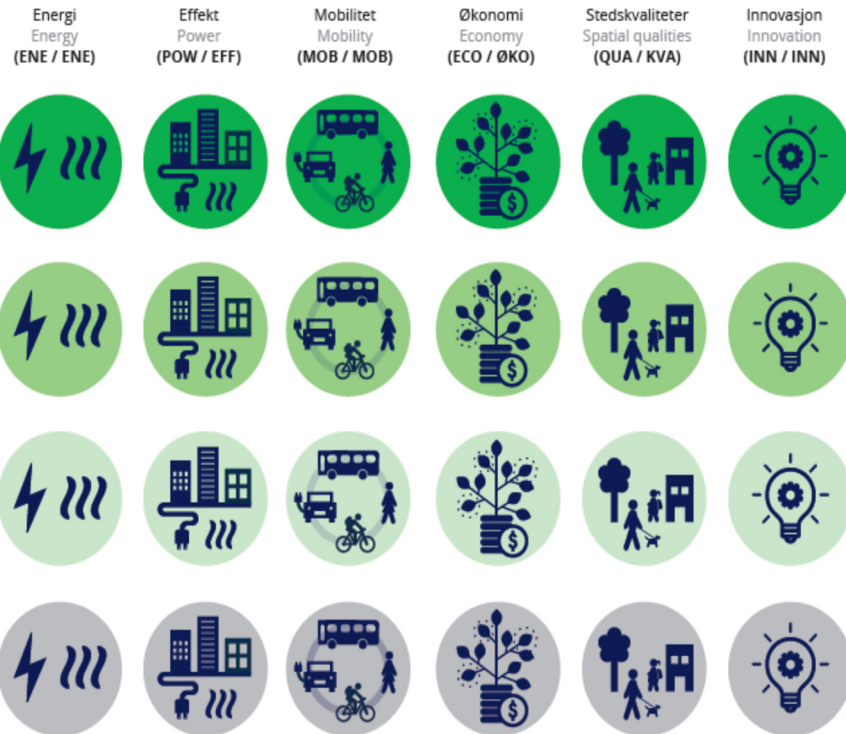
ZEN KPI vurderingsverktøy skal utformes og anvendes på en slik måte at det aktivt påvirker prosjekter i planleggingsprosessen til å strekke seg mot null utslipp av klimagasser, og slik at de også presterer best mulig på andre kriterier. Lykkes man med dette vil verktøyet kunne ha meget stor effekt, fordi det dokumenterer hvordan ZEN-prosjekter kan gi null utslipp, eller hva som begrenser dette og som må ha økt oppmerksomhet fremover. Verktøyet vil utprøves i pilotprosjekter i perioden 2020-2021. Enkeltindikatorer som inngår i verktøyet er allerede testet i flere piloter, og dette videreføres.

Wiik, M.K.; Fufa, S.M.; Krogstie, J.; Ahlers, D.; Wyckmans, A.; Driscoll, P.; Brattebø, H.; Gustavsen, A. (2018). Zero emission neighborhoods in smart cities. Definition, key performance indicators and assessment criteria. Version 1.0 Bilingual version. ZEN Report No. 7, NTNU/SINTEF.

TRL: 3-4

Kontaktperson

[Marianne Kjendseth Wiik](#)



Kvalitetskategorier som inngår i ZEN-definisjonen, og som det utvikles nøkkelindikatorer (KPIer) for.

Smart bruk av lavkostnads sensorteknologi til optimalisering av behovsstyrt ventilasjon



Fra målingene i et kontor. Den svarte boksen i forgrunnen inneholder en rekke ulike sensorer.



Ved behovsstyrt ventilasjon (DCV) brukes konsentrasjonen av CO₂ i rommet som en indikasjon for luftkvaliteten. Mengden friskluft styres slik at CO₂-konsentrasjonen ligger under et visst nivå, men dette er ingen garanti for at luften ikke inneholder andre helseskadelige partikler eller stoffer. Målinger i forskjellige typer bygninger viser at konsentrasjonen av forskjellige stoffer varierer basert på bruken av rommet, men også med den geografiske plasseringen.

Tanken er å utvikle en løsning som kan integrere flere rimelige sensorer for ulike typer skadelige stoffer, og bearbeide informasjonen fra disse slik at det kan gis konkret tilbakemelding til ventilasjonsviftene og spjeldenes regulatorer. Slik kan behovsstyrt ventilasjon gjøres mer energieffektiv samtidig som brukernes helse ivaretas. Brukere kan også installere en app som informerer om luftkvaliteten.

Tanken er å installere rimelige sensorer for måling av forskjellige antatt helseskadelige stoffer i rom og ventilasjonsanlegg og deretter bruke en maskinlæringsalgoritme som evaluerer konsentrasjonen av alle stoffene og tilpasser en ventilasjonskontrollstrategi til hvert tilfelle. Løsningen vil forbedre muligheten til å kontrollere inneluftkvaliteten uten økte kostnader, sammenlignet med en tradisjonell DCV. Målgruppen vil være leverandører av løsninger for bygningsautomatisering og prosjekterende ingeniører. Løsningen utvikles av PhD-student Maria Justo Alonso.

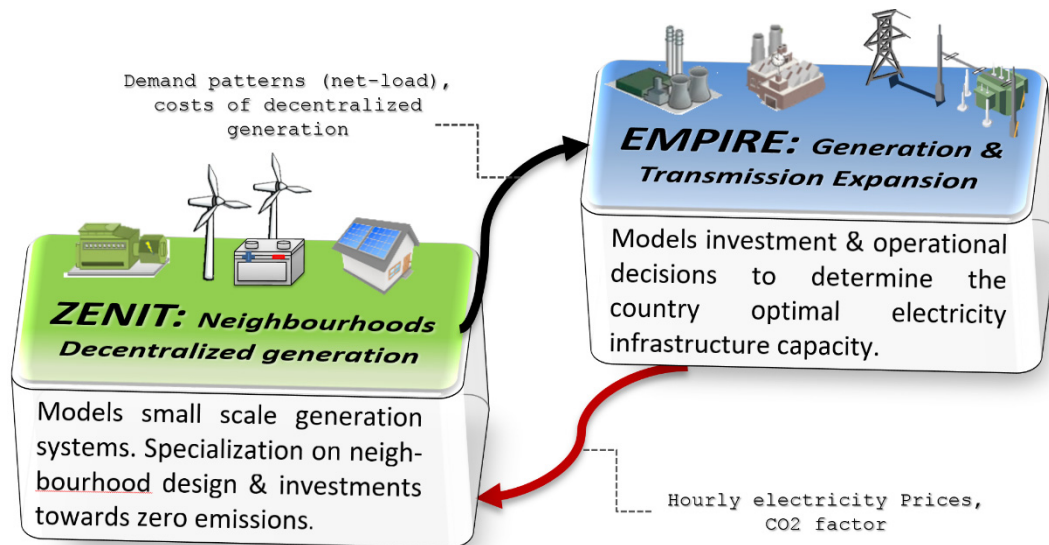
Justo Alonso, Maria; Dols, William Stuart, Mathisen, Hans Martin (2019), Using co-simulation between EnergyPlus and CONTAM to develop IAQ and energy-centric demand-controlled ventilation systems, AIVC.

TRL: 3-4

Kontaktperson

[Maria Justo Alonso](#)

Europeisk kapasitetsutvidelse og ZEN



Prinsipper ved soft-linking av ZENIT og EMPIRE.

Soft-linking av modellene ZENIT og EMPIRE gjør det mulig å studere samevolusjonen av produksjonskapasitet i ZEN og i det europeiske kraftsystemet. Soft linking av modeller er en måte å kombinere flere modeller med forskjellige skalaer (for eksempel romlig og tidsmessig). Ved å kombinere ZENIT og EMPIRE, en modell for å investere i energisystemet i nabolag og en modell for kraftkapasitetsutvidelse av Europa, er det mulig å få interessante innsikter. Hovedinnsikten ligger i virkningen av investeringer i ZEN kan ha på det fremtidige energisystemet i Europa. En annen fordel med denne metoden er at den gjør det mulig å studere hvordan det optimale energisystemet til ZEN påvirkes av endringene i det europeiske energisystemet og på tvers av europeiske land. Ideen om soft linking av disse modellene ble først forklart og testet i en konferanseartikkel presentert i 2018 på EEM og forbedres for en publikasjon i et tidsskrift i år.

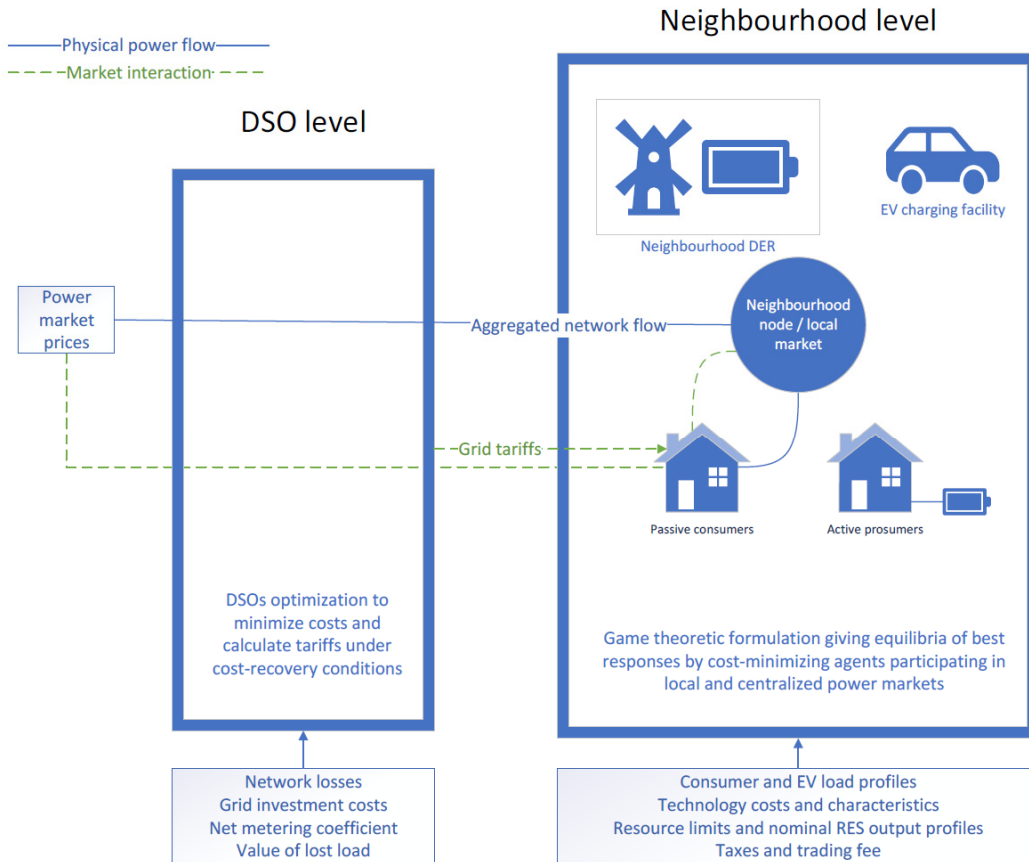
S. Backe, P. C. del Granado, A. Tomasgard, D. Pinel, M. Korpås and K. B. Lindberg, "Towards Zero Emission Neighbourhoods: Implications for the Power System," 2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM), Lodz, 2018, pp. 1-6.

TRL: 3-4

Kontaktperson

[Dimitri Pinel](#)

Likevektsmodell for å vurdere og designe lokale markedsmekanismer i ZEN



Det blir stadig flere fleksible ressurser og ressurser for energiproduksjon i distribusjonsnettet, som for eksempel styring av forbruk og bruk av batterier. Ved å utnytte fleksibiliteten innenfor et område er det mulig å koordinere forbruk og dermed utnytte nettet på en best mulig måte. Imidlertid mangler det insentiver som fremmer slikt samarbeid, så det er i dag mer lønnsomt å optimere energibruken individuelt bak hver måler, enn på nabolagsnivå.

Med bakgrunn i dette har vi i ZEN utviklet en spillteoretisk modell for å analysere lokale markedsmekanismer. Her analyserer vi konsekvensen av utforming av ulike nettariffer som gir kostnadsdekning for nettoperatøren. Modellrammeverket er i stand til å vurdere de samfunnsøkonomiske implikasjonene av å etablere lokale handelsmekanismer. Viktige indikatorer som total systemkostnad, nødvendig nettkapasitet, tariffnivå, og mengde fornybar energi, kan undersøkes basert på ulike regulatoriske rammeverk.

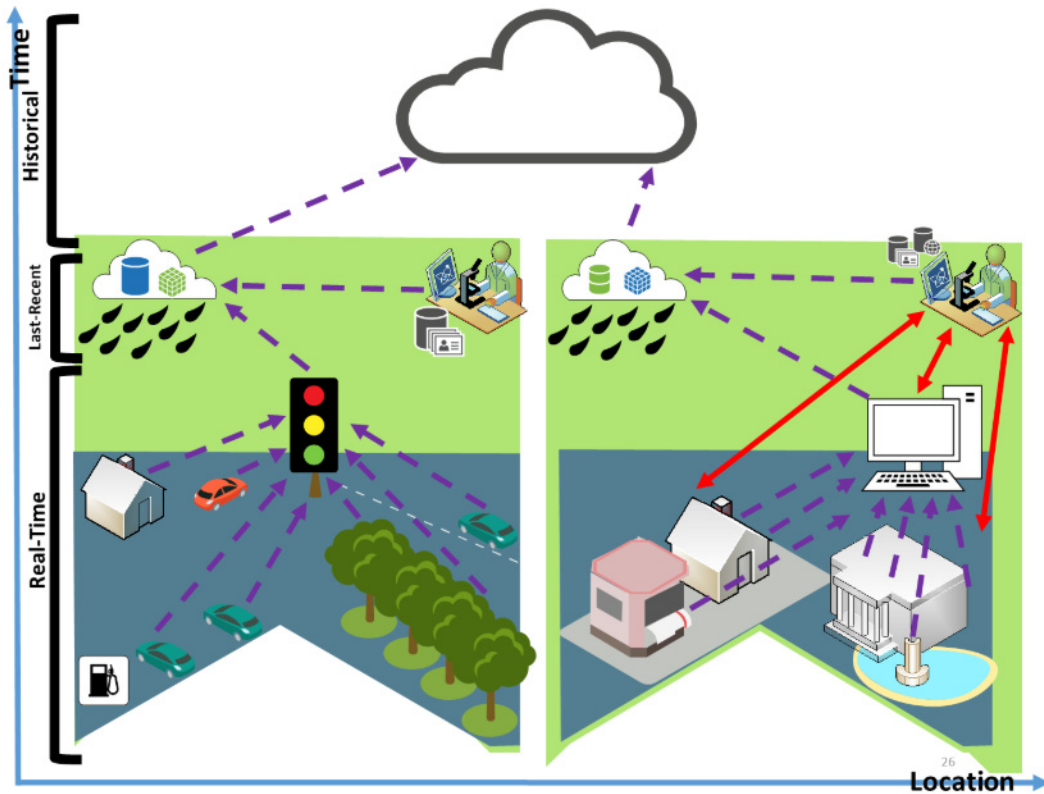
Modellens målgruppe er forskere som er interessert i temaet, aktører med ansvar for den regulatoriske utviklingen, samt nettselskaper.

TRL: 3-4

Kontaktperson
[Magnus Askeland](#)

Oversikt over modellstruktur.

IKT-arkitektur for ZEN KPI datahåndtering



Et konseptuelt bilde av «Distributed to Centralized Data Management» (D2C-DM) IKT-arkitektur.

Det er utviklet en overordnet IKT-arkitektur for datahåndtering for ZEN. Arkitekturen tar hensyn til data fra forskjellige fysiske (sensorer på bygg) og digitale kilder (simuleringsverktøy). "Distributed to Centralized Data Management" (D2C-DM) IKT-arkitekturen tar utgangspunkt i at ZEN består av piloter på ulike steder, og støtteverktøyene utviklet i ZEN har varierte datainnhold.

Arkitekturen støtter lokal lagring og analyse av data i "tåker", eller små skyer, i stedet for en sentral skybasert lagring, noe som kan resultere i bedre ytelse og reduserte risikoer knyttet til datasikkerhet. Dette gir muligheten til å lagre og behandle data lokalt, og samtidig gir det tilgang til å dele data med andre piloter og eksterne parter. Målgrupper for IKT-arkitekturen er alle som produserer og/eller bruker data (f.eks. partnere i pilotene og forskere i ZEN) og applikasjonsutviklere, da man bruker en eller flere data kilder fra ZEN (eksempelvis ZEN KPI verktøy).

Krogstie, J.; Ahlers, D. (2018) ZEN data management and monitoring: requirements and architecture. ZEN Memo 7, NTNU/SINTEF.

TRL: 3-4

Kontaktperson

[Sobah Abbas Petersen](#)

Energifleksibilitetsmerket

Energifleksibilitetsmerket for bygg og områder er inspirert av Energi-merkeordningen som forvaltes av Enova. Energifleksibilitetsmerket beskriver i hvilken grad et bygg/nabolag kan respondere på ulike signaler fra energinettet, som for eksempel energikostnader, CO₂-intensitet og flaskehals i energinettet. Energifleksibilitetsmerket skal bygge på nøkkelindikatorer (KPI-er) som skal utvikles og testes for å vurdere ZEN-fleksibilitet under kategorien 'Effekt' i ZEN-definisjonen. KPI-ene skal måle evnen bygninger og nabolag har til å avvike fra deres standard lastprofiler, og er derfor avhengige av referanselastprofiler for forskjellige bygningstyper.

Potensielle gevinster: selv i Norge, hvor fornybar energi kommer fra regulerbar vannkraft, er optimal utnyttelse av overførings- og distribusjonsnett en utfordring, ettersom investerings- og vedlikeholdskostnader er drevet av høye effekttopper som forekommer i kun korte tidsperioder. De samme utfordringene er til stede i fjernvarmenettene. En del av løsningen på disse utfordringene er et paradigmeskifte fra forsyningskontroll til etterspørselskontroll. Energifleksibilitetsmerket vil øke kunnskapen om hvor mye fleksibilitet som er tilgjengelig for strømmettet og varmenettet i bygg i et gitt område. Målgruppen er energiselskapene.

Junker, R.G. et al. (2018) Characterizing the energy flexibility of buildings and districts, Applied Energy, Vol. 225, pp. 175-182.

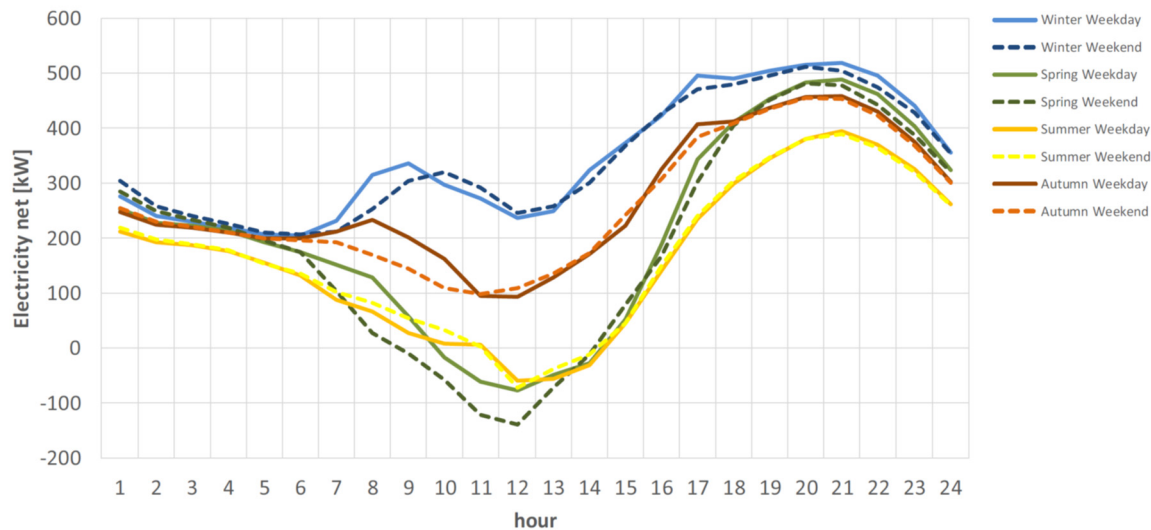
Krekling Lien and Venås (2020). Energy and Power in Ydalir - Testing of Key Performance Indicators for energy and power in a ZEN pilot during the planning phase. ZEN Report no 20 2020.

TRL: 3-4

Kontaktpersoner

[Igor Sartori](#), [Karen Byskov Lindberg](#), [Synne Krekling Lien](#)

Typical days - net electricity



Typiske timesprofiler for netto levert elektrisitet ZEN-området Ydalir.

Karakterisering av dynamisk termisk komfort

I hvor stor grad er det mulig å utnytte bygningers energifleksibilitet uten at det går ut over termisk komfort?

Det er gjort eksperimenter på opplevd termisk komfort og bruker-atferd for å øke forståelsen av hvordan, og hvor mye, brukeres termiske komfort påvirkes av raskt skiftende innetemperatur, med temperaturramper som varer fra 15 minutter til 2 timer. Hovedmålet er å etablere retningslinjer for utvikling av styringsalgoritmer for fleksibel oppvarming og kjøling av bygninger. Det er også et mål å se hvordan dette kan implementeres i bygningssimuleringsmodeller.

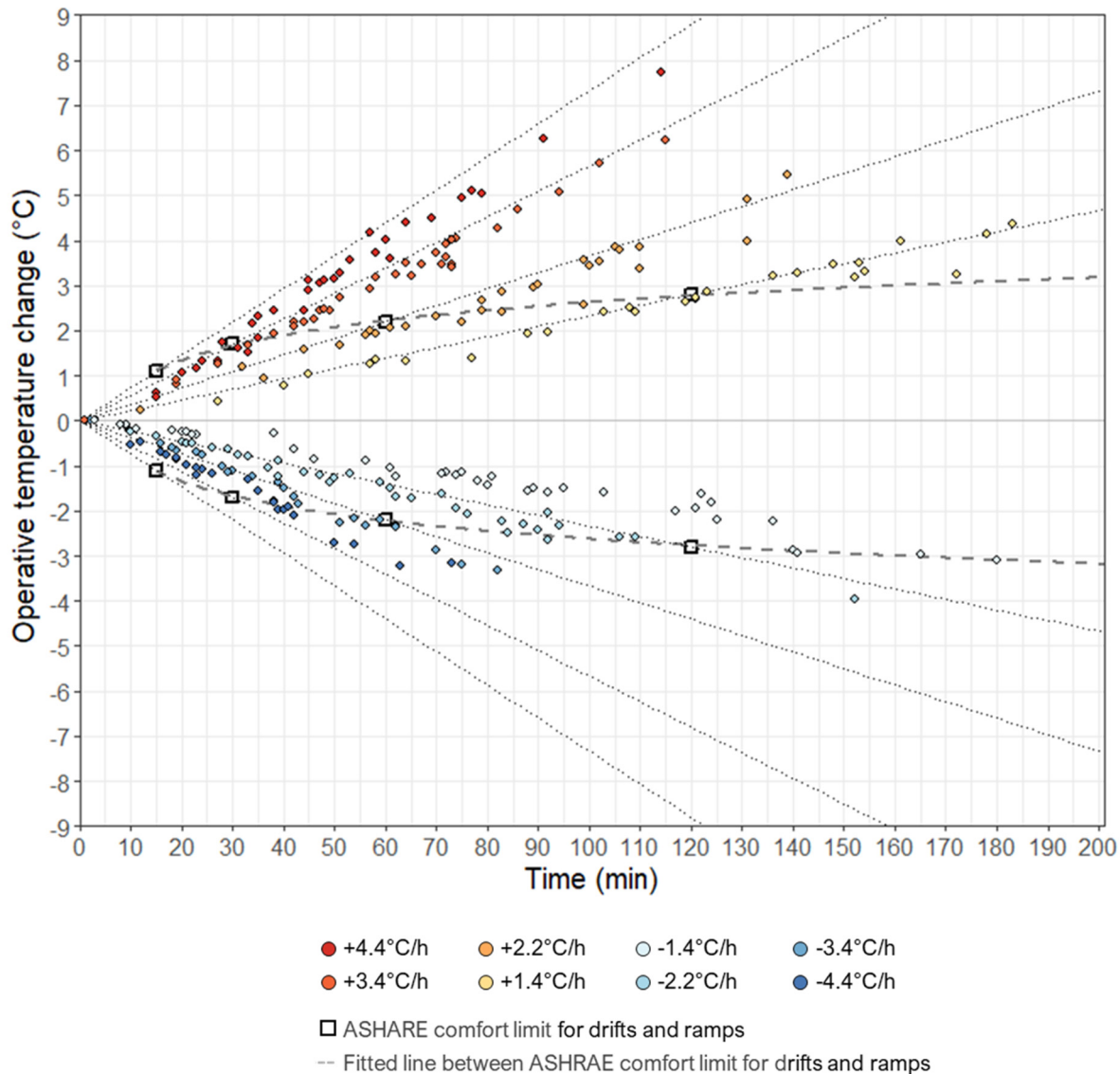
Potensielle gevinster:

Nåværende forskning innen bygningsvitenskap har som mål å iverksette strategier for å utnytte energifleksibiliteten til bygninger. Energifleksibilitet betyr å kunne flytte på energibruket til et bygg, time for time, til det som er gunstig for etterspørselen i energisystemet. En av de mest kostnadseffektive løsningene består av å utnytte bygningers termiske masse som varmelager. Siden alle bygninger har termisk masse innebygd i sine konstruksjoner, er det mulig å lagre en viss mengde indre energi her. Energibruk til oppvarming og kjøling av rom er viktige parametere for bygningens energibalanse, men disse parametere kan utsettes noen timer ved å bruke bygningens termiske masse, uten å påvirke beboernes termiske komfort betydelig.

Målgruppen er forsknings- og industrimiljøet av utviklere av løsninger for energifleksibilitet i bygninger.

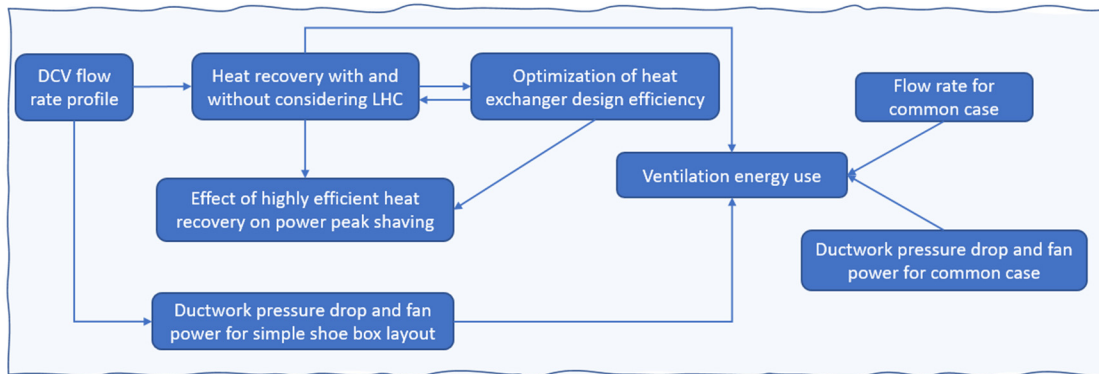
TRL: 3-4

Kontaktpersoner [Matteo Favero](#), [Salvatore Carlucci](#)



Eksperimenter på inneklime i ZEB-testceller: målinger av termisk ubehag ved oppvarming og kjøling med temperaturramper i korte perioder.

Modell for minimum energi- og effektbehov for ventilasjon



Beregningsverktøy for mer realistisk beregning av energibruk til ventilasjon.

Ny kunnskap om roterende gjenvinnere viser at dagens beste varmegjenvinningseffektivitet i beste fall er 80 prosent, og synker ved reduserte luftmengder. Det gjenspeiles ikke i verdiene som ofte brukes ved prosjektering, og som også er krav i TEK. Det betyr at behovsstyrt ventilasjon (DCV) ikke sparer så mye energi som beregnet på grunn av det skjulte effektivitetstapet ved lave luftmengder. Et riktig anslag på energiforbruk til ventilasjonen med DCV i kombinasjon med varmegjenvinning er nødvendig for å få en nøyaktig beregning av energibruk og utslipp av drivhusgasser.

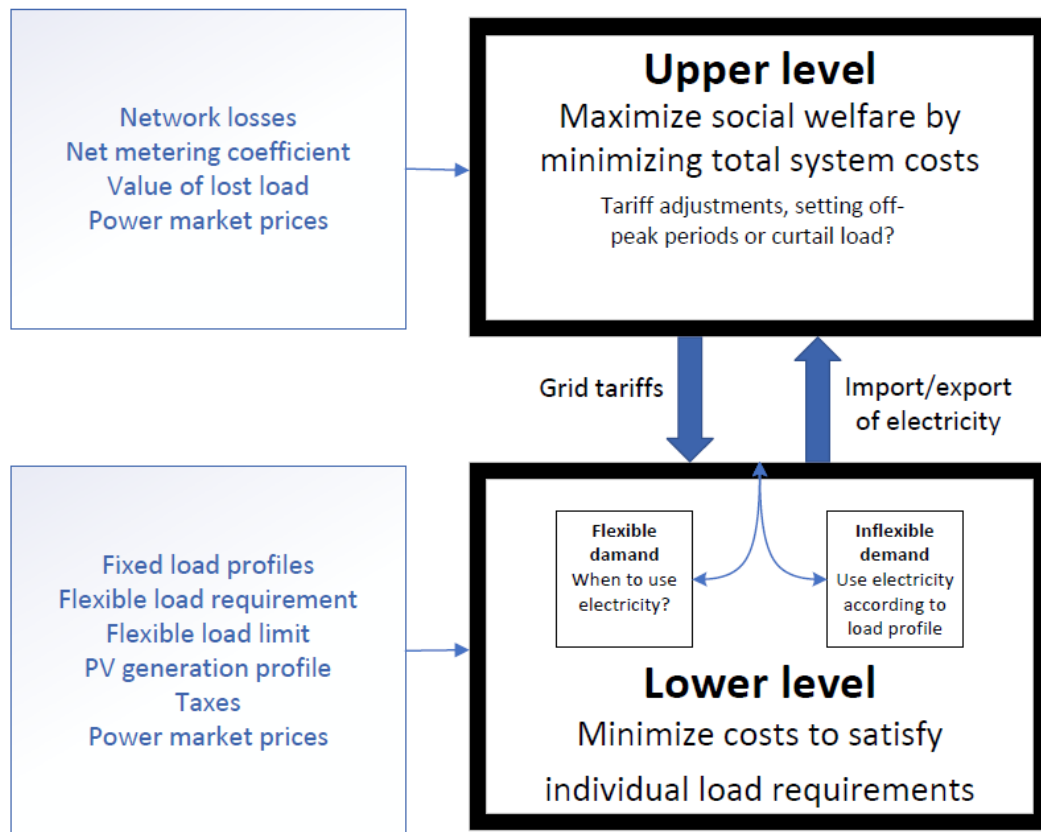
Nyutviklede teknologier for varmegjenvinning, hvor effektiviteten er forbedret fra mindre enn 80 prosent til 90 prosent, muliggjør reduksjon av maksimalt effektbehov til oppvarming av ventilasjonsluft. Imidlertid må alle parametere som virker inn på effektbehovet inkluderes i utviklingen av nye løsninger: bygningens termisk egenskaper, tilpasninger med tanke på termisk og atmosfærisk inn klima, komponenters regulerings-tekniske egenskaper med mer.

En ny modell innpasset i programvare for beregning av energi og effektbehov, som EnergyPlus eller IDA ICE, vil bli utviklet for å løse utfordringene beskrevet ovenfor. Kundene er designere, forskere og beslutningstakere som trenger beregningsverktøy for mer realistisk beregning av effekt- og energibehov samt utslipp.

TRL: 3-4

Kontaktperson
[Peng Liu](#)

Modell for optimal design av nettariffer



Oversikt over modellstruktur.

Etter hvert som sluttbrukerne i kraftsystemet blir stadig mer fleksible er det viktig å ta stilling til hvordan denne fleksibiliteten kan nyttiggjøres som en ressurs for nettet. I denne sammenhengen er nettariffer et viktig instrument som indirekte påvirker drift av fleksible ressurser. Derfor kan det være mulig å oppnå gevinster ved at nettariffene gir riktige insentiver for lastflytting.

I dette arbeidet utvikles en metode for optimal design av nettariffer med desentralisert beslutningstaking. Modellen som er utviklet tar hensyn til usikkerhet i etterspørsel, kraftpriser og fornybar produksjon. For å beskrive interaksjonen mellom nettoperatør og sluttkunder er dette formulert som en to-nivå modell med såkalt Stackelberg struktur. I tillegg er det utviklet en systemoptimeringsmodell for å kunne vurdere resultatene av den spillteoretiske formuleringen opp mot det samfunnsøkonomisk optimale utfallet.

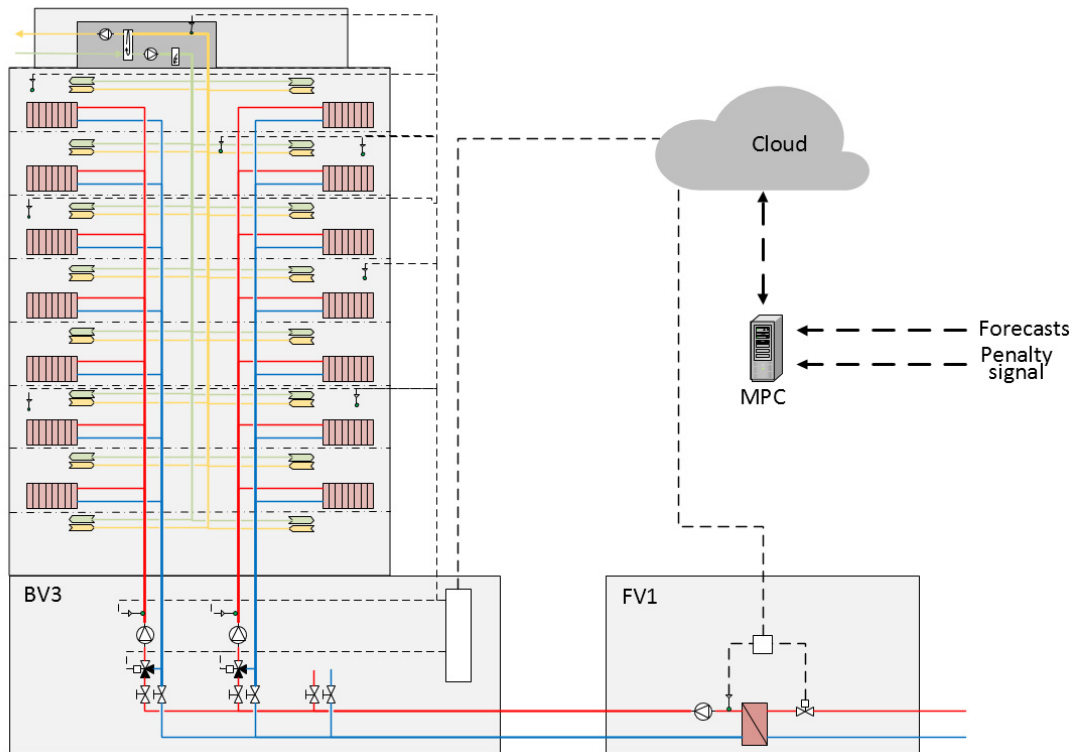
Hensikten med modellen er å si noe om hvor gode insentiver ulike tariffstrukturer teoretisk kan gi. Modellens målgruppe er forskere som er interessert i temaet, aktører med ansvar for den regulatoriske utviklingen, samt nettselskaper.

TRL: 3-4

Kontaktperson

[Magnus Askeland](#)

Fleksibilitet gjennom styring og design av kundesentraler i fjernvarmenettet



Oversikt over integrasjon av MPC i pilotbygg med fjernvarmekundesentral.

Mange eksisterende bygg har varmesystemer som kun kontrolleres med en sentralt styrt turtemperatur, som styres etter en utekompenseringskurve. Dette er en styringsmåte som ikke tar hensyn til faktisk innetemperatur, andre værphenomener (for eksempel solinnstråling) eller brukeradferd. Dette fører ofte til overforbruk av energi og overtemperatur i rommene. Denne innovasjonen består i styring av kundesentralen med en "Model Predictive Control" (MPC) algoritme. Ved hjelp av et mindre antall innetemperatursensorer og programvare for styring kan man kostnadseffektivt implementere smarte styringssystemer som kan redusere energiforbruk, forbedre inneklima og utløse fleksibilitetspotensialet i bygget og dets varmesystem. Design og styring av kundesentraler i fjernvarmenettet kan utløses av fleksibilitetspotensial i fjernvarmenettet, enten gjennom lokal energilagring i kundesentralen, eller gjennom utnyttelse av den termiske tregheten i byggene som forsynes av kundesentralen. Potensielle gevinster: Dersom byggeier styrer varmeanlegget selv, kan bedre styring av varmeanlegget gi direkte redusert energibruk og reduserte driftskostnader for byggeiere. Dersom prissignalet er bygget riktig opp, kan det også redusere drifts- og investeringskostnader for fjernvarmeselskapene. Dersom fjernvarmeselskapet styrer kundesentralen, kan fleksibiliteten brukes til å utnytte nettet bedre og dermed redusere behovet for spisslastfyring og investeringer i nettutbygging. Målgruppen er fjernvarmeselskaper.

TRL: 3-4

Kontaktpersoner
[Harald Taxt Walnum](#)



ZEN Report no 28
Innovasjonsrapport 2020 – Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN)
Redaktører: Ann Kristin Kvellheim, SINTEF Community, Sunniva Moum Danielsen, NTNU og Anne Nuijten,
NTNU

ISBN 978-82-536-1680-3
Forsidebilde: Pilotprosjekt Ydalir, bilde Elverum kommune.
Bilde side 2: Pilot prosjekt Zero Village Bergen. Illustrasjon Snøhetta. Utvikler ByBo AS
Hvis ikke annet fremkommer, er alle bilder og illustrasjoner i denne rapporten fra NTNU, SINTEF eller andre
ZEN partnere.
Copyright: Forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer (FME ZEN), 2020.



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>