



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



BYFORM I ET ZEN-PERSPEKTIV

En sammenfatning av arbeid med
GIS-baserte metoder for analyser og visualisering

ZEN REPORT No. 60 – 2024



Bendik Manum, Tobias Nordström, Lillian Sve Rokseth, Peter Schön, Astrid Bjørgen og
Hampus Karlsson | NTNU, SINTEF



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES

ZEN Report No. 60

Bendik Manum (NTNU), Tobias Nordström (NTNU), Lillian Sve Rokseth (NTNU og SINTEF), Peter Schön (NTNU), Astrid Bjørgen (SINTEF) og Hampus Karlsson (SINTEF)

BYFORM I ET ZEN-PERSPEKTIV

En sammenfatning av arbeid med GIS-baserte metoder for analyser og visualisering

Keywords: GHG emissions, urban form, GIS-models, network analysis, land use, diversity, active mobility, urban freight

ISBN978-82-536-1838-8 (pdf)

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | www.ntnu.no
SINTEF Community | www.sintef.no

<https://fmezen.no>

Preface

Acknowledgements

This report has been written within the Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (FME ZEN). The authors gratefully acknowledge the support from the Research Council of Norway, the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), SINTEF, the municipalities of Oslo, Bergen, Trondheim, Bodø, Bærum, Elverum and Steinkjer, Trøndelag county, Norwegian Directorate for Public Construction and Property Management, Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Norwegian Building Authority, ByBo, Elverum Tomteselskap, TOBB, Snøhetta, AFRY, Asplan Viak, Multiconsult, Civitas, FutureBuilt, Heidelberg Materials, Skanska, GK, NTE, Smart Grid Services Cluster, Statkraft Varme, Fornybar Norge and Norsk Fjernvarme.

The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods (ZEN) in Smart Cities

The ZEN Research Centre develops solutions for future buildings and neighbourhoods with no greenhouse gas emissions and thereby contributes to a low carbon society.

Researchers, municipalities, industry and governmental organizations work together in the ZEN Research Centre in order to plan, develop and run neighbourhoods with zero greenhouse gas emissions. The ZEN Centre has nine pilot projects spread over all of Norway that encompass an area of more than 1 million m² and more than 30 000 inhabitants in total.

In order to achieve its high ambitions, the Centre will, together with its partners:

- Develop neighbourhood design and planning instruments while integrating science-based knowledge on greenhouse gas emissions.
- Create new business models, roles, and services that address the lack of flexibility towards markets and catalyze the development of innovations for a broader public use; This includes studies of political instruments and market design.
- Create cost effective and resource and energy efficient buildings by developing low carbon technologies and construction systems based on lifecycle design strategies.
- Develop technologies and solutions for the design and operation of energy flexible neighbourhoods.
- Develop a decision-support tool for optimizing local energy systems and their interaction with the larger system.
- Create and manage a series of neighbourhood-scale living labs, which will act as innovation hubs and a testing ground for the solutions developed in the ZEN Research Centre. The pilot projects are Furuset in Oslo, Fornebu in Bærum, Sluppen and Campus NTNU in Trondheim, an NRK-site in Steinkjer, Ydalir in Elverum, Campus Evenstad, NyBy Bodø, and Zero Village Bergen.

The ZEN Research Centre will last eight years (2017-2024), and the budget is approximately NOK 380 million, funded by the Research Council of Norway, the research partners NTNU and SINTEF, and the user partners from the private and public sector. The Norwegian University of Science and Technology (NTNU) is the host and leads the Centre together with SINTEF.



<https://fmezen.no>



@ZENcentre



FME ZEN (page)

Summary

This report summarizes ZEN research on urban design and accessibility. With greenhouse gas emissions as the issue and urban neighbourhoods as the scale, the goal has been to develop analytical methods and evaluation tools for use by municipalities and other actors in planning at city and neighbourhood scale. This has provided two criteria for setting priorities in this work. One is to identify characteristics of urban form that directly or indirectly affect greenhouse gas emissions, as opposed to studies of urban form more generally or in other contexts. The second is that the aspects of urban form being studied should be within what is determined through planning, and which can also be analysed and evaluated on the basis of the information available in the relevant phases of project development and planning.

On this background, the work has consisted of three main parts: (1) identification of GIS-based methods for modelling and analysing urban form characteristics influencing greenhouse gas emissions, (2) testing and applying these methods in analyses and evaluations of urban development proposals with the ZEN pilots as cases, and (3) formulation of guidelines for planning both as input to specific urban development projects and as evaluation tools in the form of ZEN KPIs (Key Performance Indicators). The ZEN KPIs are an important part of ZEN in that they bring together the breadth of ZEN research in a tool for use in planning and project evaluation.

The process of developing the evaluation tools has taken place in collaboration with the ZEN pilot projects Sluppen (Trondheim), Bodø new city - new airport (Bodø) and Fornebu (Bærum). Based on input from the municipal planning departments related to factors like access to data, access to GIS expertise, clear compilation of results and the extent to which the municipalities are able to identify and determine the urban form characteristics included through planning maps or plan descriptions in municipal sub-plans or zoning plans, we have defined a set of indicators for evaluating urban form on neighbourhood and city scale. The indicators are applicable both in planning of entire new urban developments and in assessment and development of existing neighbourhoods.

With this, we hope to contribute to tools that will be useful both in planning and for assessing urban development proposals. To succeed with sustainable and attractive urban development, it is crucial that individual topics such as those we have specified in the indicators not only are assessed separately, but that synergies between different topics are emphasised. In both short- and long-term perspectives, it is important to think flexibility and mixed use when it comes to overall land use, allocation of street spaces, and also when deciding types and layouts of blocks and buildings.

Sammendrag

Denne rapporten sammenfatter ZEN-forskningen på byform og tilgjengelighet, et arbeid med vekt på GIS-baserte metoder for analyser og visualisering. Med klimagassutslipp som ramme og nabolag og bydeler som skala, har målet vært å utvikle analysemetoder og evalueringsverktøy for bruk av kommuner og andre aktører i konkret planlegging på område- og bynivå. Dette har gitt to kriterier for prioriteringene i arbeidet. Det ene er å identifisere egenskaper ved byform som direkte eller indirekte påvirker klimagassutslipp, dette til forskjell fra studier av byform mer generelt eller i andre sammenhenger. Det andre er at de aspektene ved byform som studeres, skal være innen det som bestemmes gjennom planlegging, og som dessuten kan analyseres og evalueres ut fra informasjonen som er tilgjengelig i de aktuelle fasene av prosjektutvikling og planlegging.

På denne bakgrunnen har arbeidet bestått av tre hoveddeler: (1) identifisering av GIS-baserte metoder for modellering og analyser av byformegenskaper av betydning for klimagassutslipp, (2) uttesting og anvendelse av disse metodene i analyser og evalueringer av byutviklingsprosjekter med ZEN-pilotene som case, og (3) formulering av retningslinjer for planlegging både som innspill til konkrete byutviklingsprosjekter og som evalueringsverktøy i form av ZEN-KPIer (Key Performance Indicators). ZEN-KPIene er en viktig del av ZEN ved at det samler bredden av ZEN-forskningen i evalueringsverktøy for bruk i konkret planlegging og prosjektevaluering.

Prosessen med å utarbeide evalueringsverktøyene har foregått i samarbeid med ZEN-pilotprosjektene Sluppen (Trondheim), Bodø ny by - ny flyplass (Bodø) og Fornebu (Bærum). Basert på innspill fra planavdelingene i kommunene, innspill knyttet til forhold som tilgang til data, tilgang på GIS-kompetanse, oversiktlig sammenstilling av resultater og i hvilken grad kommunene gjennom plankart eller planbeskrivelse i kommunedelplaner eller reguleringsplaner har mulighet til å identifisere og bestemme byformegenskapene som inngår, har vi definert et sett av indikatorer for evaluering av byform på område og nabolagsskala. Indikatorene er anvendelige både i planlegging av nye større utbygginger og i vurdering og utvikling av eksisterende nabolag.

Med dette håper vi å ha bidratt til verktøy som er nyttige både i arbeid med å utforme planer og for å vurdere konkrete planforslag. For å lykkes med bærekraftig og attraktiv byutvikling er det avgjørende at enkelttema som dem vi har presisert i indikatorene, ikke bare vurderes enkeltvis, men at det legges vekt på synergier mellom ulike tema. Både i korte og lange tidsperspektiv er det viktig å tenke fleksibilitet og blandet bruk når det gjelder overordnet arealdisponering, disponering av gaterom og ved valg av bygningstyper og bygningsutforming.

INNHold

Preface	3
Summary	4
Sammendrag	4
1. Introduksjon.....	8
2. Bakgrunn	11
2.1 Byform og klimagassutslipp.....	11
2.2 Byform som romlig struktur.....	12
2.3 Byform og bylogistikk.....	13
2.4 Tilgjengelighet og tetthet som nettverksbaserte byformegenskaper.....	15
2.5 Modeller og variabler	16
2.5.1 Byens gater og rom som nettverksmodeller	16
2.5.2 Tilgjengelighet målt som avstand til målpunkter	18
2.5.3 Tilgjengelig målt som hva som nås innen en gitt avstand.....	18
2.5.4 Egenskaper ved vei-/gatenettverket i seg selv.....	19
2.5.5 Variabler som kombiner nettverksegenskaper og «origin-destination data».....	21
3. Metoder	22
3.1 Dataverktøy	22
3.2 Identifisering av GIS-baserte variabler for byformegenskaper viktige for utslipp.....	22
3.3 Datagrunnlag og GIS-modellering	23
3.3.1 Nettverksmodeller	23
3.3.2 Befolkningsdata og data om bygninger	23
3.3.3 Målpunkter /destinasjoner	24
3.3.4 Data for bylogistikk.....	24
3.4 Analyser av konkrete FME ZEN-prosjekter.....	25
3.4.1 Sluppen: Uttesting av GIS-mål og sammenligning av tre prosjektforslag	25
3.4.2 Fornebu: Analyse av og innspill til et konkret byutviklingsforslag	25
3.4.3 Bodø: Analyse av byutviklingsforslag i større skala	25
3.4.4 Ydalir: Testing og evaluering av ZEN KPI for byform og arealbruk.....	25
3.5 Byform KPI (Nøkkellindikatorer)	26
3.6 Modell for scenarioanalyser av effektbehov for bygninger og belastning på energisystem	27
3.7 Metodeutvikling i nettverksbaserte tilgjengelighetsanalyser.....	28
4. Resultater.....	29
4.1 Utvalgte resultater fra analyser av FME ZEN-prosjekter.....	29
4.1.1 Sluppen.....	29
4.1.2 Fornebu.....	31
4.1.3 Bodø	34

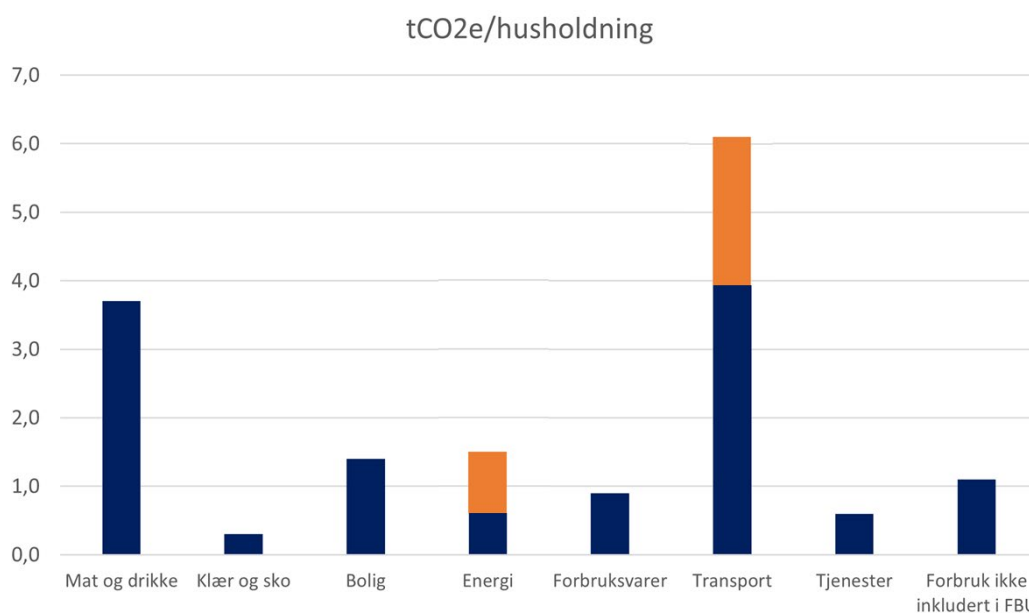
4.1.4	Ydalir.....	36
4.2	Tilgjengelighetsanalyser for bylogistikk	36
4.3	Nøkkellindikatorer (ZEN KPIer, Key Performance Indicators)	37
5	Diskusjon.....	39
5.1	Behovet for verktøy tilpasset fasene i formell planlegging	39
5.2	Byform, logistikk og mobilitet	40
5.3	Hva er ønsket tetthet?	41
5.4	Videreutvikling av metodene	42
5.4.1	Sammenheng mellom endret arealbruk og klimautslipp	42
5.4.2	Byform og mikroklima	42
5.4.3	Byform, bygningstyper, energibruk og energieffekt	42
5.4.4	By og land	42
5.5	Behov for helhetlig tenking om arealbruk, funksjonsblanding og fleksibilitet	43
	Referanser	44

1. Introduksjon

Denne rapporten sammenfatter ZEN-forskningen på byform og tilgjengelighet, et arbeid med vekt på GIS-baserte metoder for analyser og visualisering. Arbeidet har vært utført gjennom PhD-prosjekter i ZEN WP-6 og WP-1, i samarbeid med WP 1.2.2. om utvikling av modeller for scenarioanalyser av byform og energibehov, i samarbeid med WP 1.1 om utarbeidelse av ZEN-KPIer og i nært samarbeid med ZEN-pilotene i WP6 både som case for analyser og for samarbeid med senterets kommunepartnere i arbeidet med ZEN-KPIer.

FME-ZEN har som mål å utvikle analytiske rammeverk og verktøy for planlegging av design av nullutslippsområder, Zero Emissions Neighbourhoods. Med klimagassutslipp som overordnet ramme og med nabolag og bydeler som skala, har målet for arbeidet med byform i ZEN vært å utvikle analysemetoder og evalueringsverktøy for bruk av kommuner og andre aktører i konkret planlegging på område- og bynivå. Dette har gitt to viktige kriterier for prioriteringene i arbeidet. Det ene er vektlegging av egenskaper ved byform som direkte eller indirekte påvirker klimagassutslipp, dette til forskjell fra studier av byform mer generelt eller i andre sammenhenger. Det andre er at de aspektene ved byform som studeres, skal være innen det som bestemmes eller i stor grad påvirkes gjennom planlegging, og som dessuten kan analyseres og evalueres ut fra informasjonen som er tilgjengelig på de aktuelle fasene i prosjektutvikling og planlegging. Byform har både direkte og indirekte effekter på klimagassutslipp. Eksempler på direkte påvirkning er bygging av bygninger og infrastruktur og endring av omfang av natur som karbonlager. Eksempler på indirekte påvirkning er at ulike varianter av byform kjennetegnes ved ulike varianter av bygningstyper og funksjoner som igjen gir ulike klimagasseffekter fra bygningene i bruk, og at ulike varianter av byform dessuten påvirker både næringstransport og personlig transport med hensyn til både kjørelengder og reisemåter. Transport utgjør en helt vesentlig andel av de totale klimagassutslippene. (fig. 1.1) Det er dessuten verd å bemerke at de egenskapene ved byform og tilgjengelighet som framheves som viktige med tanke på klimagassutslipp, slik som nærhet til by- eller bydelssentrum, nærhet til offentlig kommunikasjon, et finmasket gatenett og aktive fasader med innganger på gatenivå, i stor grad samsvarer med hva som framheves som viktig for attraktiv byutvikling og for bærekraft i videre forstand enn bare utslipp (Cleasson et al., 2016; IPCC, 2023; Heyman, 2023).

Kommunene har ansvar for overordnet samfunnsutvikling gjennom kommuneplanlegging, er pådriver i klimaomstillingen og har videre fokus på folkehelse og miljø for å skape og utvikle gode og attraktive byer. Gjennom fysisk planlegging og utforming av gateareal er det mulig å kombinere teknologiske tiltak med reguleringsmekanismer som i sum kan bli kraftfulle virkemiddelpakker for å legge til rette for en attraktiv byform, som samtidig kan bidra til lavere klimagassutslipp som følge av all slags mobilitet (Bjørger & Ryghaug, 2022). Kommunenes rolle er å avveie og vurdere areal knyttet til logistikk og mobilitetsformål opp mot andre formål og hensyn som del av byplanlegging (Statens Vegvesen, 2023).



Figur 1.1. Husholdningers estimerte klimafotavtrykk per forbrukskategori. Bidrag fra direkteutslipp (orange) og indirekte utslipp (blå), hvor FBU refererer til forbruksundersøkelsen som gjennomføres av SSB (Etter Steen-Olsen et al., 2021).

Tilsvarende som at plattformen for datagrunnlag og informasjonsutveksling mellom profesjonene i bygningsprosjektering i dag er BIM-modeller (Building Information Modeling) i form av programvareverktøy som Archicad eller Revit, så er GIS (Geografiske Informasjon Systemer) den viktigste plattformen for datagrunnlag og informasjonsutveksling innen planlegging på område- og bynivå. For å bidra til tverrfaglig anvendelige verktøy, har arbeidet med byform i FME ZEN derfor prioritert GIS-baserte modeller og metoder.

På denne bakgrunnen består arbeidet med byform i FME ZEN av følgende tre hoveddeler: (1) identifisering av GIS-baserte metoder egnet for modellering og analyser av byformegenskaper som har betydning for klimagassutslipp, (2) uttesting og anvendelse av disse metodene i analyser og evalueringer av byutviklingsprosjekter med prioritering av ZEN-pilotene som case, og (3) formulering av veiledninger og retningslinjer for planlegging både som innspill til konkrete byutviklingsprosjekter og som evalueringsverktøy i form av ZEN-KPIer (Key Performance Indicators). ZEN-KPIene er en viktig del av FME ZEN ved at det samler hele bredden av forskningen i et verktøy for bruk i konkret planlegging og prosjektevaluering.

Rapportens struktur er at denne innledningen følges av kapittel 2 som beskriver teoretisk og metodisk grunnlag for arbeidet med byform i FME ZEN og gir en oversikt over noen nettverksbaserte byformvariabler. Kapittel 3, metoder, redegjør for datagrunnlag, for de konkrete byformvariablene vi har anvendt for å modellere ulike aspekter ved avstander, tetthet og tilgjengelighet, og for mål og metoder for analysene og prosjektevalueringene som arbeidet har inkludert. Deretter redegjøres det for arbeidet med ZEN-KPIer, og til sist forklares utprøving av noen nye nettverksbaserte variabler. Kapittel 4 presenterer utvalgte resultater fra analysene og evalueringene av ZEN-pilotene, sammenfatter ZEN-KPIene for byform og viser til sist noen resultater fra arbeidet med noen nye nettverksbaserte variabler. Kapittel 5 diskuterer noen utvalgte tema mer i detalj.

Grundigere presentasjoner av analysene og evalueringene av prosjekter i de ulike ZEN-pilotene er å finne i følgende ZEN-memos:

- ZEN Memo 19 *Spatial indicators evaluation of Bodø-vest (WP-6)*
Nordström, T., Rokseth, L., S., Green, S. og Manum, B. (2020)
- ZEN Memo 20 *Spatial indicators evaluation of Sluppen (WP-6)*
Nordström, T., Rokseth, L., S., Green, S. og Manum, B. (2020)
- ZEN Memo 21 *Spatial indicators evaluation of KDP 3 Fornebu (WP-6)*
Nordström, T., Rokseth, L., S., Green, S. og Manum, B. (2020)
- ZEN Memo 32 *Spatial indicators Evaluation of Bodø Nyby (WP-6)*
Nordström, T., Rokseth, L., S. og Manum, B. (2021)
- ZEN Memo 35 *Nye broer i Trondheim (WP-1)*
Manum, B., Nordström, T., Rokseth, L., S. and Schön, S. (2021)
- ZEN Memo 50 *Byform og bylogistikk i arealplanlegging. Uttesting av indikatorer i reguleringsplanarbeid.* Nordström, T., Rokseth, L., S., Bjørgen, A., Karlsson, H., Manum, B og Schön, P. (2023)

For mer informasjon om ZEN-KPIene og om ZEN-piloten Ydalir, se følgende ZEN-rapporter:

- ZEN Rapport 46 *Nullutslippsområder i smarte byer. Definisjon, vurderingskriterier og nøkkelindikatorer (Versjon 4.0. Norsk, 2022; Wiik, et al., 2022)*
- ZEN Rapport 44N *ZEN Definisjonsveileder for ZEN pilotområder (Versjon 3.0 Norsk, 2022; Wiik, et al., 2022)*
- ZEN Rapport 51 *Ydalir. Testing av alle ZEN nøkkelindikatorer i en ZEN-pilot (2023;*

Deler av arbeidene er dessuten presentert i følgende publikasjoner:

- Lausset, C., Rokseth, L. S., Lien, S. K., Bergsdal, H., Tønnesen, J., Brattebø, H., & Sandberg, N. H. (2022). Geo-referenced building stock analysis as a basis for local-level energy and climate mitigation strategies. *Energy and Buildings*, 276, 112504.
- Rokseth, L. S., Manum, B., & Nordström, T. (2019). Properties of Urban Form Influencing Carbon Emission - Implementing a GIS-based Method. *Proceedings of the 12th Space Syntax Symposium*. art. no 161
- Rokseth, L. S., Heinen, E., Hauglin, E. A., Nordström, T., & Manum, B. (2021). Reducing private car demand, fact or fiction? A study mapping changes in accessibility to grocery stores in Norway. *European Transport Research Review*, 13(1). doi:10.1186/s12544-021-00500-7
- Rokseth, L. S., & Manum, B. (2021). Patterns of dwelling types, location, and spaciousness of living in Norway. Critical remarks on the practice of measuring energy performance per floor area only. *Buildings*, 11(9), 394. doi:10.3390/buildings11090394
- Rokseth, L. S., Manum, B., & Nordström, T. (2019a). Assessing cities: Applying GIS-based methods for mapping cross-scale spatial indicators. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 352. doi:10.1088/1755-1315/352/1/012055

2. Bakgrunn

2.1 Byform og klimagassutslipp

I sin rapport fra 2022 framhever FN's klimapanel at byform og arealbruk (*the spatial structure, land use patterns and the shape of buildings, streets and open public space*) kan bidra betydelig til reduksjon av klimagassutslipp. Bidragene kan skje gjennom reduksjon av energibehov og materialforbruk, gjennom økt elektrifisering og gjennom karbonopptak knyttet til vegetasjon. IPCC presiserer at byform ikke bare er viktig gjennom direkte utslipp fra bygging av bygninger og infrastruktur, men også fordi byform påvirker livsstil inkludert transportvalg (Edenhofer et al., 2014).

Kompakt byform i kombinasjon med grøntarealer og funksjonsblanding minsker energibruk pr. person. Dette gjelder særlig energibruk til transport og til bygninger og infrastruktur. Indirekte vil disse byformegenskapene også spare verdifulle ressurser og bedre opptaket av karbon gjennom vegetasjon (Pörtner et al., 2022).

IPCC viser dessuten til hvordan kompakt byform med grøntarealer og funksjonsblanding kan skape synergieffekter til andre viktige urbane utfordringer som sosial rettferdighet (blant annet knyttet til bilavhengighet og energikostnader), helse (mer aktiv mobilitet, mindre luftforurensning, bedre mental helse), lokal matforsyning, forbedring av biologisk mangfold og klimatilpasning og i tillegg gi økonomiske effekter knyttet til verdistigning og til mindre kostnader til kjøling og oppvarming. Gitt disse utfordringene som god byform kan være med å løse, så er det stort behov for strategier som både reduserer klimautslipp og gir forutsetninger for bærekraftig og attraktiv byutvikling i bredere perspektiver. Her i Norge redegjør blant annet publikasjoner fra TØI (Transportøkonomisk institutt) for strategier for bærekraftig transport (Hegsvold et al., 2022) og mer i detalj om sammenhenger mellom byutvikling, fortetting og transport (Hagen et al., 2017; Tennøy et al., 2021; m fl.). Retningslinjer egnet for å evaluere konkrete byutviklingsforslag er vanskeligere å finne, men et eksempel er arbeidene fra Bourdic et al. (2012). For å bidra til verktøy egnet for analyser og evalueringer i konkret byforming og planlegging, utarbeidet de en sammenfatning av byformvariabler som er viktige for energibruk og klimagassutslipp. Variablene var systematisert under hovedtemaene arealbruk, mobilitet, vann, biologisk mangfold, rettferdighet, økonomi, avfall, kultur/trivsel, energi og bioklima. Basert på byformegenskapene presisert av IPCC og inspirert av denne mer detaljerte variabellisten, har vi i arbeidet med byform i FME ZEN spesifisert et utvalg byformvariabler som ved hjelp av GIS-baserte metoder kan registreres i tidlig planfase av byutviklingsprosjekter (Rokseth et al., 2019; Rokseth et al., 2019a). De neste kapitlene beskriver teori- og metodegrunnet for studiene av byform i FME ZEN nærmere, mens kapittel 3 forklarer hvordan de GIS-baserte variablene er identifisert og anvendt i studiene av FME ZENs pilotområder.

2.2 Byform som romlig struktur

Byplanlegging og byutvikling handler om overordnet arealdisponering, om bygningstyper og deres funksjoner og om veier og annen infrastruktur som knytter funksjoner og steder sammen i både liten og stor skala. Som svar på ulike situasjoner og basert på ulike politiske, økonomiske og sosiale intensjoner, har det opp gjennom historien blitt utviklet ulike modeller for byutvikling. En viktig epoke i dette var urbaniseringen knyttet til industrialiseringen i Europa på 1800-tallet som resulterte i ekstrem bolignød (Engels, 1845). Et byplanideal for å avhjelpe dette var hagebyene, The Garden City, med modeller for byutviklingen i form av nye og sunne byer i landlege omgivelser i de etablerte byenes omland (Howard, 1898). Senere kom de mer omgripende og radikale ideene og prosjektene til Le Corbusier (1933) om frittstående bygninger i parkmessige landskap, med lys og luft til forskjell fra trangboddheten i de historiske bykjernene og med veianlegg tilpasset bilens frie bevegelse som transportmåte. Idealene ble anvendt i ulike skaler fra sanering og ny bebyggelse i eksisterende byområder, til planlegging og bygging av nye bydeler utenfor eksisterende bebyggelse, og til komplette nye byer med Brasilia som det kanskje mest slående eksempelet.

Etter hvert som modernismens idealer opp gjennom etterkrigstiden ble rådene ikke bare for byutvikling, men også for bygningsutforming, vokste også kritikken, - en kritikk mot monofunksjonelle boligområder med skjematisk bygninger uten detaljering, mot «urban sprawl» frakoblet byens mangfold og attraksjoner, mot sanering av sosialt velfungerende bomiljøer og mot en privatbilbasert samfunnsutvikling. Noen viktige referanser i denne kritikken er New York sosiologen Jane Jacobs' «The death and life of the great american cities» når det gjelder modernistisk byplanlegging og bysanering spesielt (Jacobs, 1961). Jan Gehls utdyping av behovet for planlegging og bygningsutforming som legger til rette for «Livet mellom husene» (Gehl, 1971), Christoffer Alexander som anga retningslinjer for konkret formgivning på alle nivåer fra bygninger i detalj og til bynivå (Alexander, 1977) og «less is a bore» (Venturi et al., 1977) som spiller på Mies van der Rohes «less is more» når det gjelder arkitektonisk uttrykk. Spesielt Jacobs påpekte blant annet hvordan bygningstyper og gatenettutforming i samspill utgjør forutsetningene for attraktive byer som komplekse og velfungerende romlige strukturer.

Byers romlige strukturer er et tema som utover på 1980- og 90-tallet ble inngående studert innen fagfeltet betegnet «space syntax» hvor det ble utviklet teorier og metoder som med et arkitekturperspektiv belyste konfigulative egenskaper ved rom og romsammenstillinger som har betydningen for bruk og opplevelse. Fagfeltet kan betegnes som «spatial morphology» fordi temaet var teorier og metoder for å studere form, struktur og sammenhenger mellom rom, dette til forskjell både fra studier av bygninger som fysisk form, studier av byform som visuelle inntrykk og studier av gater og veier bare som infrastruktur for trafikk. Et grunnleggende begrep i space syntax er «space syntax integration», en variabel som beskriver et romlig elements grad av sentralitet i forhold til øvrige elementer i en romlig struktur, eksempelvis for en gate i forhold til en bys totale nettverk av gater (Hillier, 1996; Hillier & Hanson, 1984; Manum, 2006 pp. 66-81; van Nes & Yamu, 2021). Denne egenskapen ved et enkeltelements plassering i et romlig nettverk er også beskrevet som «reach» (Peponis et al., 2008). En annen variabel som beskriver egenskaper ved enkeltelementer relativt til nettverket elementet inngår i er «choice» (Hillier et al., 2012) eller «betweenness» (Cooper, 2017; Freeman, 1977). For mer om disse nettverksbaserte variablene, se kapittel 2.4.

Slike nettverksbaserte modeller for romlige sammenhenger har vist seg å være spesielt anvendelige for studier av byens sammenhengende rom av gater og plasser og identifiserer egenskaper som er viktige for byens potensial til å fungere på ulike måter, som hvor det foregår livlig handel og omfang av ulike

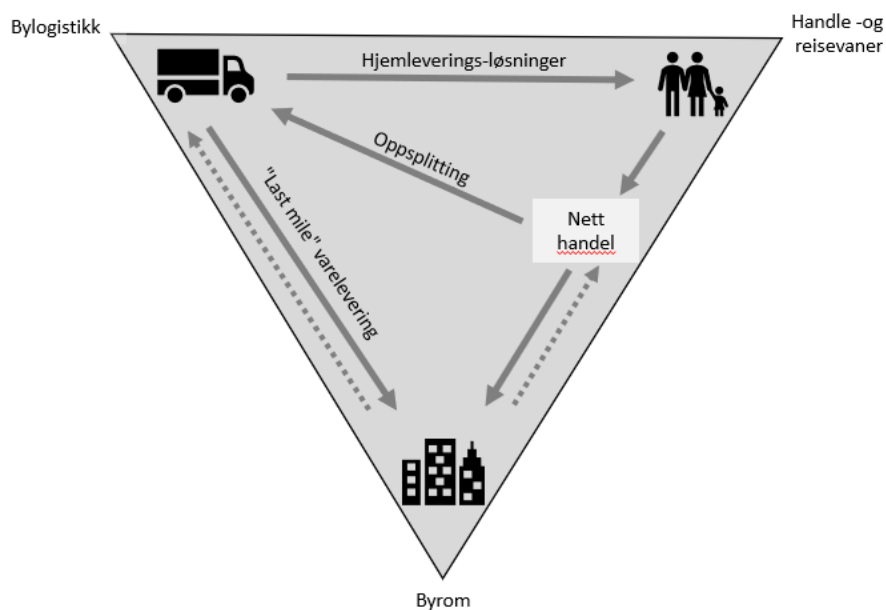
typer bevegelse og trafikk. To tidlige eksempler på dette er avhandlingene til Marcus (2000) og Van Nes (2002) som studerte henholdsvis Stockholm og Oslo. Siden da har ulike fagfelt med interesse for byform og gatenettverk utviklet teorier og modeller som inkluderer topologiske nettverksegenskaper tilsvarende som space syntax integration, og som ved hjelp av GIS-basert programvare har kombinert dette i dataverktøy velegnet for å analysere romsammenhenger på bynivå. I Skandinavia har miljøer på KTH og på Chalmers bidratt betydelig i denne utviklingen av GIS-baserte nettverksanalyser metoder for studier av byform og tilgjengelighet (<https://www.smog.chalmers.se/research>, <https://www.spacescape.se/>). I samarbeid med dette miljøet har også NTNU bidratt, først i forskningsprosjektet Brøset Toward Carbon Neutral Settlement (<https://brozed.wordpress.com/br%C3%B8set-a-carbon-neutral-housing-settlement-in-trondheim-norway/>) og siden 2017 innen FME-ZEN som sammenfattes i denne rapporten.

Denne rapporten omhandler ikke detaljerte teorier for nettverksanalyser, men redegjør i kapittel 2.4 og 2.5 for noen grunnleggende egenskaper ved gater og veier forstått som nettverk og romsammenhenger og forklarer de viktigste variablene som vi har anvendt i studiene av ZEN-pilotene.

2.3 Byform og bylogistikk

Endringer i forbrukeradferd med økt netthandel og varelevering nærmere hjemmet påvirker både reise- og handlemønstret og dermed bruk av gater og byrom. Flere og flere varer går utenom den tradisjonelle butikkhandelen og leveres i stedet direkte til forbruker via hentepunkt eller hjemlevering, noe som medfører store endringer i hele logistikk- og transportkjeden.

Sammenhengen mellom persontransport og vare- og tjenestemobilitet (bylogistikk) og hvordan dette påvirker arealbehov, er beskrevet i Bjørgen et al., (2021). Figur 2.1 viser et rammeverk for å forstå sammenhengen mellom utforming av byrom som påvirker reise og handlevaner, og bruken av byen.



Figur 2.1: Rammeverk for sammenhenger mellom bylogistikk, handle- og reisevaner, og byrom.

Tradisjonelt mottar butikkene store partier varer som selges som enkeltvarer videre til kunder som frakter disse med seg hjem. Med netthandel skjer oppdelingen av varepartiene allerede på avsenderens lager. Leverandørene håndterer og pakker mange flere bestillinger, og transportnæringen frakter og sorterer langt flere, men mindre kolli enn ved butikkbasert handel. Arealbehov og aktivitet flyttes dermed fra butikkene til utleveringssteder og til boligområder. Endringen bidrar i sum til flere vare- og lastebiler i byen og økt samlet trafikkarbeid for nyttetransporter.

I lys av økt netthandel og nye hjemleveringsløsninger er det viktig å sette av areal til vare- og tjenesteleveranser og arbeidskjøretøy til f.eks. håndverkere og hjemmetjenesten i tidlig fase i områdeplanlegging og se det i sammenheng med andre egenskaper knyttet til byform (Hatling, 2021). Samtidig må slike areal "skjermes" i forhold til oppholdsområder og bevegelsesfrihet for barn, og løsninger utvikles slik at antall kjørebevegelser reduseres. Barnefamilier tiltrekkes av grønne arealer, gåvennlige nærmiljøer og korridorer med god kvalitet som kan gi mere bevegelsesfrihet og som samtidig oppleves som trygge og attraktive. Aktive reisevalg, trafiksikre lekearealer og folkehelse i kombinasjon med enkel hverdagslogistikk er sentrale element for at barnefamilier skal trives (Bø et al., 2023). Med økt kunnskap om logistikk, og oppmerksomhet på utviklingstrendene som påvirker våre handle -og reisevaner kan lokale myndigheter legge til rette for logistikk- og mobilitetsløsninger i arealplanlegging, som i sum kan redusere miljøbelastningen og bidra til attraktive byrom (Statens Vegvesen, 2023).

2.4 Tilgjengelighet og tetthet som nettverksbaserte byformegenskaper

I planlegging og byforming handler tilgjengelighet om hvor lett eller vanskelig det er å nå steder eller funksjoner. Tilgjengelighet avhenger av utgangspunktets plassering i forhold til destinasjon og forbindelsene mellom disse og hva dette gir av reiseavstander, reisetider, utgifter og opplevelser.

Grunnlagsdata og dermed også variabler er som regel aggregert på arealenheter, i Norge med grunnkretser eller rutenett som på 250 x 250 m som typisk arealenhet. Tetthet av befolkning eller bygninger brukes ofte som forenklet mål på tilgjengelighet. Befolkingstetthet kan da regnes som antall bosatte pr 250 x 250 meter arealenhet. Høy tetthet antas å gi grunnlag for mange funksjoner eller attraksjoner innen kort avstand. Dette er ofte riktig, men bare når tetthet er kombinert med reell adkomst på veier, gater eller hva som måtte være egnet nettverk (Vale et al., 2016). I tilfeller uten forbindelser egnet for aktuell bevegelse, for eksempel når veier oppleves som meget trafikkfarlige, kan tetthet være meget misvisende som mål på reell tilgjengelighet (Knight & Marshall, 2015). Arealaggeerte data har dessuten ulempen kalt «the Modified Area Unit Problem» (MAUP), som innebærer at verdien på en variabel påvirkes av størrelsen på arealenhetene og hvor grenselinjene mellom arealenhetene settes (Berghauer Pont and Haupt, 2021, pp. 90-91).

Et alternativ til å bruke tetthet som aggregert mål på tilgjengelighet, er å måle tilgjengelighet som adresse- eller gatespesifikk variabel basert på avstander i nettverket. Prinsipielt kan det da skilles mellom tre typer adresse- eller gatespesifikke variabler på tilgjengelighet. Den første er det tradisjonelle målet på avstand fra et sted til et annet, fra «origin» til «destination» («O-D distance»), for eksempel fra hjem til skole eller til arbeidsplass, hvor hjem er «origin» og skole og arbeidsplass er «destinations». Den andre er hva som er tilgjengelig innen en bestemt avstand («amounts within a catchment area»), som antall bosatte innen en bestemt avstand fra en bestemt type butikk eller antall arbeidsplasser innen en bestemt avstand fra et boligområde, og dette kan også innbefatte tilgjengelig variasjon innen en avstand («cumulative opportunitites» som «retail diversity» eller liknende). En tredje type er å beskrive tilgjengelighet som egenskaper ved nettverket i seg selv, altså uten å gå inn på hvilke funksjoner som er plassert hvor, eksempelvis som antall gater (veilenker) eller antall gatekryss tilgjengelig innen en definert avstand. Denne siste typen kan brukes for å beskrive tilgjengelighet «fra alle steder til alle steder» og er grunnlaget for de tidligere nevnte nettverksvariablene som «integration» og «betweenness». Se mer om disse i kapittel 2.4.

I studier av byform og transport skilles det mellom nettverk for ulike typer mobilitet. Kollektivtransport kan gå på skinner med sitt helt egne nettverk, biltrafikk har sitt veinett, og ikke-motorisert eller aktiv mobilitet (som er gåing og sykling) har ofte et mer finmasket nettverk som kan inkludere stier og snarveier og hvor infrastruktur for motorisert transport kan være barrierer. For bylogistikk handler det om hvilke muligheter et nettverk tilbyr for å nå varemottakere og muligheten for å stoppe for å laste/losse varer. Hvilket nettverk som benyttes for å bestemme avstander eller tilgjengelighet avhenger derfor av hvilken type bevegelse eller transport som er temaet. Nettverksbaserte tilgjengelighetsvariabler er velegnet for å registrere lokale nyanser i tilgjengelighet og forskjeller i tilgjengelig mellom ulike reisemåter, noe som gjør dem nyttige i studier av byform knyttet til bygningstyper, tomteutnyttelse og vei- / gatenettsutforming ned i helt lokal skala.

2.5 Modeller og variabler

Foruten informasjonen som normalt ligger i GIS-kartene som er tilgjengelige via kommuner eller fra andre karttjenester, så krever detaljerte tilgjengelighetsanalyser en del supplerende informasjon. Dette gjelder typer og plassering av veier, gater og andre forbindelser, det gjelder befolkningsdata med tilstrekkelig geografisk oppløsning og det gjelder kartgrunnlag og beskrivelser av byutviklingsprosjektene som skal studeres. Kapittel 3.3 forklarer datagrunnlaget og metodene for de GIS-baserte byform-modellene vi har benyttet i FME ZEN mer i detalj.

De neste sidene beskriver bakgrunnen for nettverksmodellene og variablene som kan skilles i tre typer, hvor det ene er «avstand til», det andre er «tilgjengelighet innen en avstand» og det siste er ulike egenskaper ved nettverket i seg selv. For å unngå misforståelser ved at noen av de originalt engelske metodespesifikke betegnelsene kan ha andre betydninger i norsk dagligtale, er noen betegnelser beholdt på engelsk.

2.5.1 Byens gater og rom som nettverksmodeller

Format og innhold i modellene av vei-/ gate-nettverk avhenger både av hvilket verktøy som brukes for analysene og av hva som er målet med analysene. Betydningen av omfang eller hastighet på biltrafikk er et eksempel. Dersom temaet er barns tilgjengelig til lekeplass, bør det sjekkes at rutene som inngår i modell er tilstrekkelig skjermet fra biltrafikk, mens modell av sykkelruter for studier av arbeidsreiser kan inkludere sykkelruter som markert felt ikke nødvendigvis fysisk adskilt fra veibane.

Grunnlagsdataene for nettverksmodellene avhenger av detaljeringsgrad og etterrettelighet på tilgjengelige data og består i praksis ofte av veidata fra veidatabase (*Nasjonal vegdatabank (NVDB) - Dataportalen*, 2023), OpenStreetMap (Boeing, 2020) eller spesielle kart av for eksempel sykkelruter spesielt og til sist kontroll mot virkeligheten ved bruk av ortofoto og befaringer. Ved krysninger er det viktig å sikre at modelleringen fanger opp hva som er reelle koblinger mellom ruter, slik som et tradisjonelt kryss av bygater, og det som kan se ut som et kryss på kartet, men hvor elementene i virkeligheten ikke er forbundet, eksempelvis ved broer og underganger.

Digitalt og geometrisk format på nettverksmodell avhenger av programvarene som brukes, og ulike analyseprogrammer har ulike prosedyrer for å konvertere mellom ulike formater på nettverksfiler. Programmet PST (Place Syntax Tool; Ståhle, 2010; Stavroulaki et al., 2019), som er velegnet for å analysere avstander og andre nettverksegenskaper i kombinasjon med ulike data for bygninger på adressepunkter, har utgangspunkt i space syntax teori og er basert på nettverksmodeller i form av såkalte «axial maps» eller «segment maps». Dette er 2-dimensjonale modeller hvor veigeometriene er forenklet til å være sammensatt av rette linjer. Se nærmere beskrivelser i etterfølgende kapittel. Programvaren sDNA, som er utviklet for å analysere byform og trafikk, benytter nettverksmodeller hvor forbindelser mellom kryss er representert som 3-dimensjonale polylinjer. sDNA er velegnet for analyser av store nettverksmodeller og kan håndtere nettverksegenskaper som er ulike i veiens to retninger. OSM-nettverk (OpenStreetMap) kan brukes direkte i sDNA. OSM-modeller dekker vanligvis de fleste gang- og sykkelveier, men kan være inkonsistent når det gjelder kategorisering av vei- og sykkelnettverkstyper og kan ha varierende kvalitet både mellom land og mellom regioner (Bres et al., 2023; Quattrone et al., 2014). Mens «axial maps» («aksialkart») og «segment maps» («segmentkart») er egnet til å representere topologiske aspekter ved byform relatert til opplevelse av romsammenhenger, orientering og hvor ulike aktiviteter finner sted, bruker transportstudier ofte kartmodeller basert på OSM eller veisenterlinjekart (Cooper & Chiaradia, 2015; Marshall et al., 2018).

«Axial map» eller egentlig «axial-line map» er en modellering av gater og rom opprinnelig utviklet av Hillier og Hanson m.fl. innen fagfeltet Space Syntax (Hillier, 1996; Hillier & Hanson, 1984). Kort fortalt så er «axial maps» forenklete gatekart bestående av “axial lines” som representerer fysiske gaterom man i virkeligheten både kan overskue og bevege seg i. Linjene tegnes «så langt som man kan se», noe som innebærer at linjene kan bli lange og gå gjennom mange kryss, eksempelvis Prinsens gate / Elgeseter gate i Trondheim, mens andre, fordi gateløpet svinger, kan være kortere enn avstanden mellom to kryss. Figur 2.2 viser et eksempel på bykart med tilhørende «axial map». Som figurene viser, er linjene tegnet som overlappende i stedet for at linjene slutter i kryssingen med andre linjer, hvor kryssende/overlappende linjer betyr at linjene er forbundet. Bakgrunnen for denne tegnemåten er at det er avgjørende for analysene at linjene i modellen henger sammen i nettverk i samsvar med virkelige gater og veier. Dersom linjene var tegnet fra punkt til punkt uten overlapp, ville det pga. kartgrunnlagets forhistorie være mange tilfeller hvor linjene ser ut til å være forbundet, men hvor de ikke er det, kanskje bare med millimeterfeil.

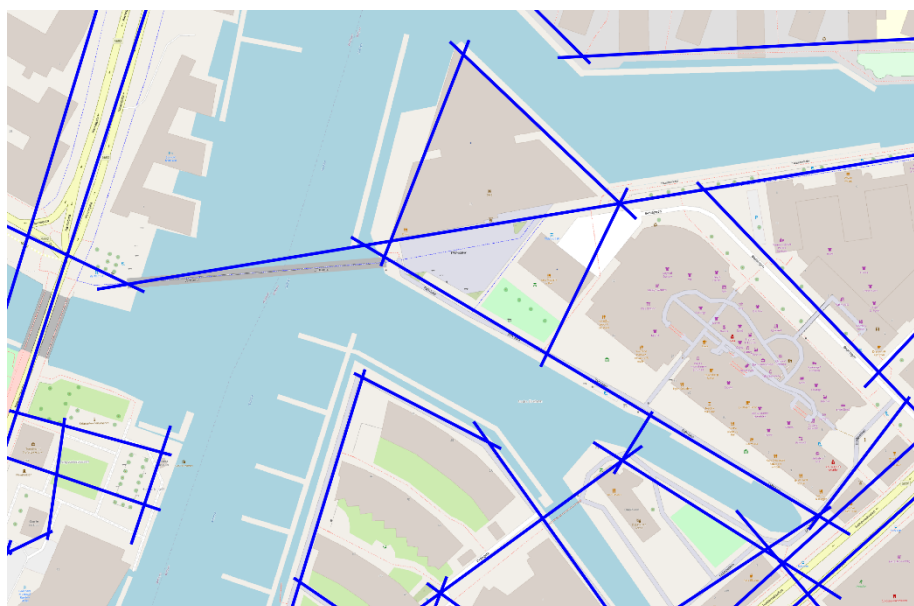


Fig 2.2: Kartutsnitt av Trondheim med gangveier og fortau som «axial-line map» (Fra Manum et al., 2021 - ZEN Memo 35)

«Segment map» er en kartmodell som er generert fra «axial map» ved at “axial-lines” som går kontinuerlig gjennom flere kryss deles i segmenter som er forbundet i kryssene. «Segment map» kan genereres direkte fra «axial map» med PST (Place Syntax Tool) eller annen programvare. Buet veigeometri modellert som «segment map» basert på «axial map» vil gi en fasettert geometri bestående av rette segmenter hvor hvert segment er et element i modellen, dette til forskjell fra polylinje-baserte modeller hvor et veielement mellom to kryss har samme geometri som virkelig vei.

2.5.2 Tilgjengelighet målt som avstand til målpunkter

Avstand i betydningen distanse mellom bestemte steder kan måles som luftlinje eller som lengde langs reiserute. I begge tilfellene kan avstandene entes måles i tre dimensjoner, eller de kan forenklet måles som på kart, som horisontal avstand. Dersom temaet er bokkvalitet og frisk luft fra en skog eller av støy fra en motorvei, så vil avstand i luftlinje fra bolig være et fornuftig mål. Dersom temaet er tilgjengelighet fra bolig til barneskole eller fra arbeidsplass til bussholdeplass, vil avstand langs gangrute være et viktigere distanssmål. I studier av byform med tanke på tilgjengelighet til attraksjoner og daglige gjøremål, så vil avstander langs rute normalt være mer relevant enn avstand i luftlinje, og dette gjelder spesielt i situasjoner med store barriereeffekter, slik som forårsaket av elver eller av jernbaner og motorveier. I studiene av byform i FME ZEN er det lagt stor vekt på modellering av gatenettverk slik at GIS-verktøyene gir pålitelige data for avstander langs vei-/gatenett.

Algoritmene for å identifisere korteste rute til bestemte målpunkter er en viktig del av de fleste verktøy for GIS-baserte tilgjengelighetsanalyser. Når det gjelder avstand langs en rute helt i detalj, for eksempel gangavstand mellom en konkret bolig (som "origin") og en konkret butikk (som "destinasjon") så gjøres dette litt ulikt i ulike programmer. Dette har blant annet å gjøre med hvordan en bygning, som i GIS er et koordinatfestet punkt, kobles til vei-/gatesystemet som i GIS-modellen er et nettverk av linjer. Avviket mellom virkelig gangavstand og gangavstand beregnet av et dataprogram, avhenger av flere forhold, blant annet hvordan beregningsprogrammet helt på detaljnivå kobler adressepunkter til gatelinjer, hvor på gatelinjene avstander måles til og fra, gatenettverkets finmaskethet, plassering av bygninger på tomter og bygningers størrelse og inngangsplasseringer. For analyser på områdenivå og for analyser av mange adressepunkter vil disse detaljene sjelden være av betydning. I tilfeller hvor bygninger ligger nærmest andre veier enn der de har sine innganger fra, og hvor avstandene som måles er korte samtidig som veinettet er grovmasket, kan det være nødvendig å se nærmere på disse detaljene. I denne rapporten diskuteres ikke dette nærmere utover det som måtte være nødvendig for å forklare eller diskutere konkrete resultater.

Figurene 4.1 og 4.2 viser kart hvor bygningene er fargelagt etter gangavstand til henholdsvis Trondheim sentrum og til nærmeste bussholdeplass. Figur 4.6 viser bygningene på Fornebu fargelagt etter gangavstand til ulike destinasjoner.

2.5.3 Tilgjengelig målt som hva som nås innen en gitt avstand

I dette kapitlet beskrives to varianter av tetthets- og tilgjengelighetsmål definert som mengde eller sammensetning av befolkning innen en bestemt avstand gangavstand, nærmere bestemt «tilgjengelig befolkning» og «funksjonsblanding».

«Tilgjengelig befolkning» (en variant av befolkningstetthet)

Dette er et mål som skiller seg fra vanlig befolkningstetthet målt som antall personer per areal, ved at det for et eller for mange punkter, for eksempel adressepunktene for alle bygninger, angir antall bosatte eller antall arbeidsplasser (eller summen av begge deler) innen en bestemt avstand, vanligvis målt som gangavstand langs nettverket. Til forskjell fra befolkningstetthet målt som antall personer per areal, fanger dette opp for eksempel barriereeffekter av motorveier og elver. For mange fenomener i byliv og byutvikling, for eksempel hvorvidt et sted i byen har tilstrekkelig kunde grunnlag for velfungerende forretninger og kafeer på gateplan, er denne type mål på «tilgjengelig befolkning» langt mer relevant enn tradisjonell befolkningstetthet målt som antall personer per areal (Marcus, 2010). Figur 4.4 er et eksempel på tilgjengelig befolkning vist på denne måten.

Funksjonsblanding («land use diversity»)

En variant av målet «tilgjengelig befolkning» som har vist seg spesielt relevant for å belyse potensial for urbanitet, er grad av funksjonsblanding regnet som forholdet mellom antall bosatte og antall arbeidsplasser. UN Habitat anbefaler at minst 40 % av BRA (bruksareal) i et nabolag bør brukes til økonomisk formål (UN Habitat, 2014). I den svenske rapporten "Mäta stad" anbefales minst 30 %, dette basert på en gjennomgang av fordelingen bolig og arbeidsplasser i ulike svenske og norske byer (Ståhle et al., 2016). I praksis har mange norske kommuner ikke tilgang til GIS-data om BRA (bruksareal) for både boliger og arbeidsplasser. Som mål på fordeling bruker vi derfor i stedet antall bosatte og arbeidsplasser, siden disse dataene er mer tilgjengelig.

Funksjonsblanding kan dessuten være viktig for andel bærekraftig transport (Ewing & Cervero, 2010). Som disaggregert variabel som beskriver egenskap for hver enkelt adresse kan omgivelsenes funksjonsblanding beregnes som forholdet mellom antall beboere/bosatte og antall arbeidsplasser innen bestemte gangavstander, typisk mellom 400 og 1200 m (Hillier & Hanson, 1984; Hillier, 1996). Figurene 4.8 og 4.9 viser funksjonsblanding beregnet på denne måten for to av forslagene for byutvikling av Bodø.

2.5.4 Egenskaper ved vei-/gatenettverket i seg selv

"Reach" er en variabel som beskriver tilgjengelighet og urban tetthet. For hvert element, som kan være en «axial line», en «segment line» eller en veilenke mellom to kryss som en polylinje, så måler reach antall eller lengde på antall elementer (linjer eller lenker) som kan nås innenfor en gitt nettverksavstand fra enhver linje eller lenke (Peponis et al., 2008).

«Closeness centrality» beskriver hvor nært et sted er til alle andre steder i byen målt langs korteste vei (Bavelas, 1950; Cooper, 2015; Hillier & Hanson, 1988; Porta et al., 2006). Den korteste veien kan være definert som korteste topologisk avstand i betydningen antall romsprang eller antall veilenker, som ganske enkelt korteste vei i meter, som minste kumulative vinkelforandring, eller som en kombinasjon av disse ulike målingene (Shatu et al., 2019). De ulike tilnærmingene til sentralitet deler teorien om at noen steder er viktigere enn andre på grunn av grad av sentralitet i byens nettverk av gater (Porta et al., 2006).

«Space Syntax Integration», - et mål på sentralitet og orienterbarhet

En variant av «reach» er «Space Syntax integration» eller «romlig integrasjon», en variabel som beskriver sentralitet og orienterbarhet i gatenettverk. Det er en topologisk egenskap ved nettverket i betydningen at det ikke beskriver lengder eller avstander i metrisk forstand, men de enkelte elementers plasseringer i antall «linjesprang» fra de øvrige linjene i nettverket. Enkelt forklart består beregningene i at det for hvert linjeelement i et «axial map» telles hvor mange linjer som nås innen et bestemt antall «sprang» eller «retningsskifter». Antall sprang eller retningsskifter som telles, velges ut fra hensikten med analysene. «Radius n» betyr «global analyse» i den forstand at det for hver enkelt linje telles og oppsummeres avstand (antall sprang) til alle andre linjer i hele nettverket. Andre radier, typisk 3, 5 eller 10, innebærer at analyseprogrammet teller antall linjer som nås innen det respektive antall sprang. I programvare for beregning av space syntax integration slik som PST kan i det tillegg settes metriske avstandsbegrensninger målt som avstand langs nettverket, noe som innebærer at telleoperasjonene bare inkluderer linjer innenfor den valgte avstanden.

«Space Syntax integration» er en variabel som beskriver i hvilken grad hver enkelt linje i «axial map»-modellen er og oppleves som «romlig sentralt» eller som integrert i byens vei-/gatenettverk - dette til forskjell fra å være en segregert del av nettverket, noe som vil være tilfellet for siste «axial line» i en

lang og svingete blindvei. Ulike radier beskriver dette på ulike skalaer, hvor globale analyser (radius = n) fanger egenskaper ved nettverket som er relevante for biltrafikk, mens analyser med radius 3 eller 5 sprang og gjerne i tillegg metrisk radius på 500 eller 1000 meter, fanger nettverksegenskaper relevante for gangtrafikk og for grad av aktivt byliv på gateplan. Et godt eksempel på dette er Akkelies van Nes sine studier av Oslo hvor «Integration n / global integrasjon» sammenfaller med Oslos bilbaserte ringveisystem, mens «integrasjon radius 5» samsvarer med gatene man kjenner som de mest urbane med hensyn til omfang av gangtrafikk, butikker og kafeer, nærmere bestemt Karl Johans gate, Bogstadveien/Hegdehaugsveien og de nordgående gatene på Grünerløkka (Van Nes, 2002, s. 336 og 338).

«Betweenness» / «Choice», «Angular choice» og «Angular distance»

I nettverksteori er «betweenness» en variabel som beskriver i hvilken grad et element inngår i korteste rute mellom andre. I noen sammenhenger er variabelen betegnet «choice». I programmet PST beregnes «choice» på grunnlag av «segment map» og forteller da i hvilken grad hvert enkelt segment i nettverksmodellen inngår i korteste ruter mellom alle andre segmenter. «Choice» eller «betweenness» sier noe om gaters hierarki når det gjelder hvor direkte de ulike rutene er som forbindelser til omgivelsene, for eksempel mellom bydeler. Variabelen kan sies å representere et segments grad av «direkthet» som element i nettverket eller «grad av å være snarvei i nettverket». En billedlig framstilling er at variabelen beskriver hvor mye vann som ville rent gjennom hvert segment (eller hver veilenke) dersom en bestemt mengde vann rant fra hvert segment (eller hver veilenke) og til alle andre segmenter (eller veilenker). En variant av «choice» er såkalt «angular choice» som tar hensyn til vinkelendringer i forbindelsene mellom segmentene, derav betegnelsen «angular». «Angular choice» har vist seg spesielt relevant for å beskrive ruters potensial som sykkelruter, dette fordi «angular choice» fanger opp syklisters preferanse for sammenhengende fart til forskjell fra ruter med krappe svinger som krever oppbremsing eller stopp og ny akselerasjon. Tilsvarende som for «Space Syntax integration» kan PST beregne «angular choice» innen ulike metriske radier, hvor 3000 eller 5000 meter er typisk verdier for analyse av ruters potensial for sykling.

I programmet sDNA benyttes angular betweenness som en «hybrid» form av betweenness, som tar hensyn til både metriske distanser og vinkelendringer (f.eks. [Cooper et al., 2021](#); [Formolli et al., 2024](#)). I studiene av alternative plasseringer av nye broer over Nidelvs som vist i ZEN Memo 35 (Manum et al., 2021), er betweenness som inkluderer effekt av vinkelendringer målt på denne måten.

2.5.5 Variabler som kombiner nettverksegenskaper og «origin-destination data»

Som nevnt over, så er «"betweenness" og «choice» variabler som beskriver i hvilken grad hvert enkelt element i et nettverk inngår i korteste rute mellom alle andre elementer. Virkelig bevegelse eller trafikk foregår derimot ikke likt fra alle til alle steder, men er en sum av bevegelser mellom bestemte steder, eksempelvis fra hjem til arbeid, til butikk, til fritidsaktiviteter eller til besøk hos venner. Derfor kan det ofte være ønskelig å vekte segmentene etter spesifikke funksjoner (Ståhle, 2008). «Attraction betweenness» i GIS-programmet PST er en slik variabel hvor linjesegmentene kan vektas i samsvar med andre variabler som for eksempel befolkning. Mens «betweenness» (eller «choice») kun beskriver i hvilken grad hvert segment i nettverket inngår i korteste/mest direkte ruter i nettverket, altså uten å ta hensyn til andre data enn nettverket i seg selv, så kan «attraction betweenness» ved å vektas med antall personer bosatt langs segmentene, si mer om potensiell trafikkmengde (Berghauser Pont & Marcus, 2015; Ståhle, 2008).

3. Metoder

3.1 Dataverktøy

Nødvendig datagrunnlag og hvilke variabler som studeres, henger nøye sammen med tilgjengelige verktøy i form av dataprogramvare. Utfra intensjonene om at både analyseresultater og prosjektets metodeutvikling skal være tilgjengelig for ulike fagmiljøer knyttet til byutvikling og ikke forutsetter kostbare profesjonsspesifikke dataverktøy, har vi valgt å bruke fritt tilgjengelig dataverktøy med «open source» i den grad dette har vært mulig. Anvendt GIS-programvare er QGIS (QGIS Development Team, 2021), Place Syntax Tool (PST; <https://www.smog.chalmers.se/pst>) for QGIS og sDNA (Cooper & Chiaradia, 2020), alt som fri nedlastbar programvare.

3.2 Identifisering av GIS-baserte variabler for byformegenskaper viktige for utslipp

Tabellen nedenfor oppsummerer de viktigste byformegenskapene vi har inkludert i GIS-variablene.

GIS-baserte variabler	Potensiell påvirkning på energibruk og utslipp
Tilgjengelighet til bysentrum	Avstand til sentrum er assosiert med en mindre andel privatbiltransport og kortere reiselengder (Ewing & Cervero, 2017).
Tilgjengelig befolkning	Økt befolkningstetthet samsvarer med økt andel gående og syklende (Burton, 2000; Churchman, 1999; Thomas & Cousins, 1996).
Funksjonsblanding	Funksjonsblanding reduserer andel bilreiser (Stead & Marshall, 2001) og øker sannsynligheten for gåing og sykling som reisemåte (Ewing & Cervero, 2010).
Tilgjengelighet til offentlig transport	Buss- og togbruk er relatert til nærhet til stasjon / busstopp (Ewing & Cervero, 2010).
Kryssningstetthet i gatenettet	Gatekryssstetthet påvirker interne avstander mellom målpunkter (UN Habitat, 2014) og det å velge å gå er sterkt relatert til kryssningstetthet (Ewing & Cervero, 2010).
Tilgjengelighet til offentlig grønt-område	I tillegg til at grønt i seg selv lagrer karbon, så har grøntareal stor effekt på helse og trivsel og dermed til områders attraktivitet (Stähle et al., 2016).

Tabell 3.1. Oversikt over byformegenskapene inkludert i GIS-variablene og deres bakgrunn.

3.3 Datagrunnlag og GIS-modellering

3.3.1 Nettverksmodeller

Kildematerialet for modellering av gatenettverk er kartgrunnlag fra kommunene, OpenStreetMap, OSM (Boeing, 2021), veisenterlinjer fra nasjonal vegdatabank (*Nasjonal vegdatabank (NVDB) - Dataportalen*, 2023) og orthofoto på Google Earth (Manum & Nordstrom, 2013; Rokseth et al., 2019). Fotgjengernetttverk som «axial maps» / aksialkart er modellert slik som beskrevet i kapittel 2.5.1 (se fig. 2.2) Modellen for Trondheim er basert på tidligere arbeid utført av NTNU og Spacescape AB (Manum & Nordstrom, 2013). Spesielt i området nær prosjektområdet som analyseres er modellene oppdatert i samsvar med endringer av veier og gangveier siden opprinnelig kart ble laget (Rokseth et al., 2019). Modellen av eksisterende situasjon på Fornebu er basert på aksialkart utarbeidet i tidligere studier av Oslo (Nordström et al., 2014). Dette kartet ble utvidet mot vest til å omfatte Fornebuhalvøya og omkringliggende områder i Bærum (Zen Memo 21; Nordström et al., 2020). Aksialkart av eksisterende situasjon i Bodø ble tegnet manuelt basert på fra ortofoto og OpenStreetMap (ZEN Memo 19; Nordström et al., 2020a).

Aksialkart for planforslagene som er analysert er tegnet på grunnlag av dokumenter fra kommunene. For tilfellet Sluppen i Trondheim var dette kart i PDF-format som ble konvertert til TIFF-filer og deretter georeferert til rasterlag i GIS, mens det for Fornebu og Bodø var CAD-tegninger som ble konvertert til shapefiler. Aksialkart for Ydalir og tilstøtende områder i Elverum kommune ble tegnet manuelt basert på fra ortofoto og OpenStreetMap.

3.3.2 Befolkningsdata og data om bygninger

Arealdata om eksisterende bygninger oppgitt som bruksareal (BRA) er hentet fra Geonorge (Geonorge, 2023). Befolkningsdata og data om antall ansatte for eksisterende situasjon ble hentet fra kartkatalogen (*Geonorge*, 2023). Disse dataene er på grunn av konfidensialitetsbegrensninger aggregert på et rutenett med en oppløsning på arealenheter på 250x250 meter (Strand & Bloch, 2009). Befolkningen i form av antall beboere og antall arbeidsplasser ble fordelt på bygninger og derved lokalisert i GIS-modellen ved å tilordne befolkningen til enten boligbygg eller kontor-/tjeneste-/arbeidsplassbygg innenfor hver arealenheter i henhold til bygningstyper beskrevet i den norske matrikkelen. Befolkningen ble fordelt likt på hver bygning innenfor hver arealenheter og geografisk plassert i tyngdepunktet av bygningens grunnplan. For arealenheter som inkluderer boliger av ulike typer, for eksempel eneboliger og boligblokker, representerer dette en feilkilde som er diskutert av Rokseth et al. (2021).

Tall på antall beboere og antall ansatte for de ulike planforslagene er basert på data om byggeareal og bygnings-funksjoner slik som dette foreligger i planforslagenes dokumenter.

3.3.3 Målpunkter /destinasjoner

For variabelen «tilgjengelighet til bysentrum» er et punkt i sentrum valgt som destinasjon. I studiene av Trondheim er dette torget med Olav Tryggvasson statuen, for Bodø er det Jernbanetorget, mens det for studien av Fornebu er Jernbanetorget i Oslo.

I tidlig fase planlegging er nøyaktig plassering av funksjoner som dagligvarebutikker, apotek og postkontorer sjelden bestemt, men planene inneholder vanligvis informasjon om ønsket plasseringer av lokalsenter eller transportknutepunkter som vil generere aktivitet i området og dermed gi grunnlag for lokalisering av servicefunksjoner i omkringliggende bebyggelse dersom prosjektet støtter opp om dette. Avhengig av detaljeringsgrad i tilgjengelige data, var adressene som ble brukt for å beregne nærhet til handel og tjenester, enten midtpunktet i et lokalsenter som definert i planen, eller, i tilfeller hvor butikker og tjenester ikke var plassert i planene, ved kollektivknutepunkter så lenge planlagte bygninger ved knutepunktet sannsynligvis vil kunne romme tjenestene. Ved kartlegging av eksisterende forhold ble lokalisering av handels- og tjenesteklynger basert på OpenStreetMap og informasjon gitt av kommunene.

Kollektivtrafikkholdeplasser er representert i GIS med et punktlag basert på åpne nasjonale data i formatet General Transit Feed Specification (GTFS) hentet fra Entur som inneholder koordinatfestede plasseringer av holdeplasser. Holdeplasser med færre enn fire avganger i timen i vanlig arbeidstid ble utelatt.

GIS-formatet på data for grønne offentlige rom er polygoner som dekker lekeplasser, parker og rekreasjonsområder. Dette ble hentet fra kommunale kartdata. Plasser mindre enn 1 dekar ble utelatt. For byutviklingsforslagene ble det tegnet polygoner basert på illustrasjonsplaner og kart i byutviklingsforslagene.

3.3.4 Data for bylogistikk

Å planlegge gode logistikk-løsninger i by- og boligområder krever kunnskap om de faktiske behovene, og fordrer at man etterspør data slik at man får bedre innsikt i parametere som antall leveranser, volum, lastbærere og kjøretøy. Det kan bidra til et bedre helhetsbilde av transportarbeidet knyttet til varedistribusjon lokalt og tilhørende arealbehov. På lokalt nivå bør kommunene aktualisere og legge til rette for vareleveringsløsninger i samspill med etablering av gode byrom. For å kunne oppnå det må bylogistikk inkluderes tidlig i planprosessen og areal settes av til vareleveringsfunksjoner (Bjørgen, 2021; Bjørgen & Ryghaug, 2022).

Det finnes en rekke datakilder som benyttes til studier innenfor gods- og varetransport. Noen eksempler er statistikk fra SSB (lastebilundersøkelse og varetransportundersøkelse), data fra transportører (sendingsdata og kjøretøydata), trafikkdata (trafikkfelt, autopass) og geografiske data (matrikkeldata).

For å undersøke hvor og hvordan nyttetransporten vil påvirke et nabolag/bydel må selvbetjente hentepunkt, varemottak og laste/lossesoner være stedfestet i prosjekteringsfasen. Funksjonen til ulike element og effekter som resultat av nyttetransport vil siden kunne analyseres med GIS-verktøy som for eksempel *reach* (beskrevet oven) basert variabler som er beskrevet over.

3.4 Analyser av konkrete FME ZEN-prosjekter

I FME ZEN inngår ni pilotområder spredt over Norge fra Bodø i nord og til Fornebu i Bærum i sør. Dette er pilotområder hvor løsninger for planlegging og utvikling av nullutslippsområder testes i samarbeid med senterets partnere som blant annet er de respektive kommunene. Pilotene omfatter områdeutviklingsprosjekter på til sammen mer enn 1000 dekar, med prosjekter som varierer både i areal og i stadium av planlegging. Som case for GIS-analysene har vi valgt ZEN-pilotområder som er av nabolags- eller bydelsstørrelse og som har hatt et tilstrekkelig datagrunnlag når det gjelder funksjoner/bygningstyper og utnyttelse/tetthet/bygningsarealer. ZEN-pilotene som ble valgt, er Sluppen og Kunnskapsaksen i Trondheim, Fornebuområdet i Bærum, byutvidelsen som erstatter eksisterende flyplassområde i Bodø og området Ydalir i Elverum. Avhengig av prosjektene kompleksitet og planleggingsmodell så inkluderer dette planforslag før regulering (Bodø, Ny by - ny flyplass (Bodø) og Sluppen (Trondheim), reguleringsplan (Ydalir, Elverum) og kommunedelplan (Fornebu, Bærum).

3.4.1 Sluppen: Uttesting av GIS-mål og sammenligning av tre prosjektforslag

Sluppen ligger 3 km sør for Trondheims historiske sentrum og inngår i FME ZENs pilotområde Kunnskapsaksen. Grunnlaget for analysene av Sluppen var tre alternative byutviklingsforslag fra en parallellkonkurranse bestilt av Trondheim kommune og gjennomført i 2017 for den planlagte utbyggingen av et areal på nærmere 1 km². Arbeidet besto i utprøving av GIS-variabler for å sammenligne de tre prosjektforslagene og ble gjennomført i tett samarbeid med Trondheim kommune som er piloter.

3.4.2 Fornebu: Analyse av og innspill til et konkret byutviklingsforslag

Det tidligere flyplassområdet Fornebu i Bærum ligger vest for Oslo i Bærum kommune og er planlagt å omfatte lokalsenter, bibliotek, kunst- og kulturanlegg, skoler, barnehager, helsetjenester og idrettsanlegg. Et viktig element i planen er utvidelsen av T-banesystemet som forbinder Fornebuhalvøya med Oslos T-banesystem. For dette området ble kommunedelplanen for Fornebu evaluert. Grunnlaget for GIS-modellen som representerer Fornebu i 2035 er kommunedelplanen (KDP 3) som dekker et areal på 3,2 km², supplert med mer detaljerte planer for enkelte områder hvor disse var tilgjengelige. Grunnlagsdata ble tilgjengeliggjort av Bærum kommune.

3.4.3 Bodø: Analyse av byutviklingsforslag i større skala

I Bodø ble det gjennomført en sammenlignende studie av tre planforslag for utbyggingsområdet «Ny by – Ny flyplass», som er planlagt by utvidelse på 3,4 km² med mål om å utvikle en kompakt by tett knyttet til eksisterende bydeler, der folk kan bo i nærheten av arbeidsplasser, skoler og daglige tjenester og det er attraktivt å velge gange, sykkel eller kollektivtransport som reisemåte. Grunnlaget for analysen var tre alternative byutviklingsforslag fra en parallellkonkurranse bestilt av Bodø kommune. Bodø kommune var involvert i arbeidet med tilrettelegging av underlagsdata. Basert på resultatene fra analysearbeidet ble det gitt innspill til kommunen til den videre planleggingen av området.

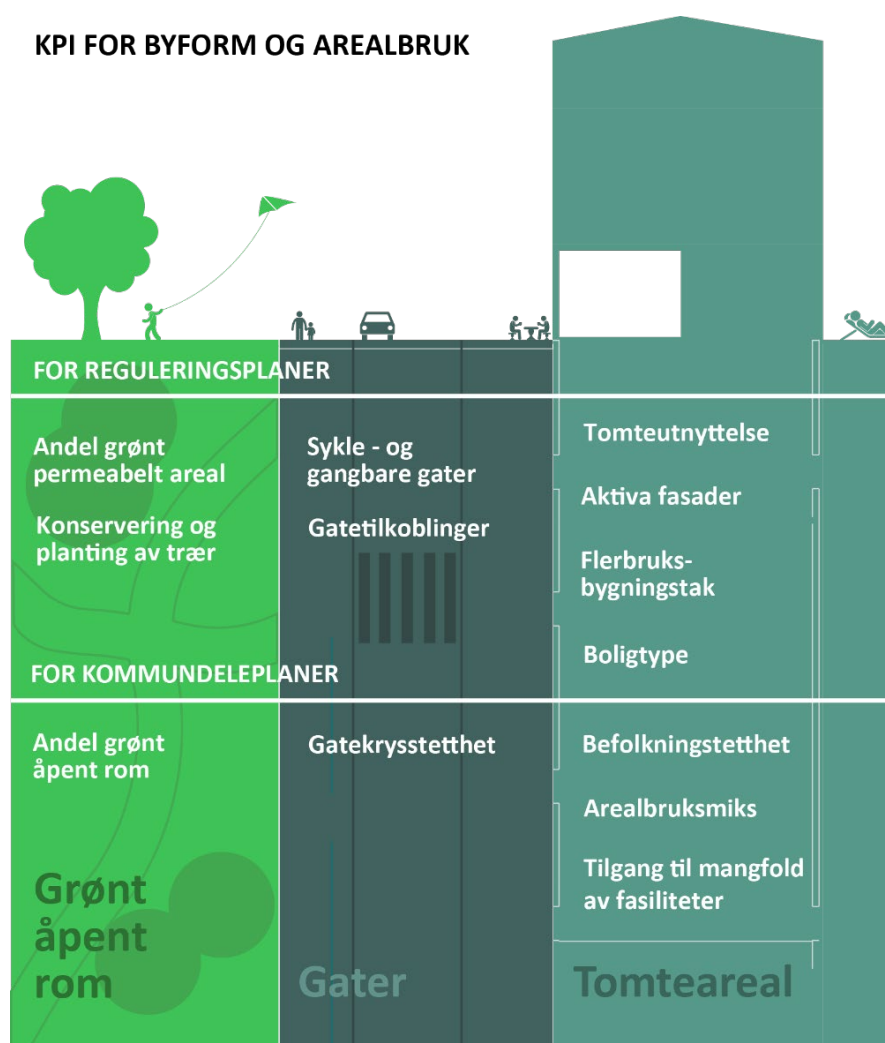
3.4.4 Ydalir: Testing og evaluering av ZEN KPI for byform og arealbruk

Elverum kommune og Elverum vekst er partnere i FME ZEN og representerer pilotområdet Ydalir, et område planlagt nordvest for Elverum sentrum hvor det er bygd en skole og barnehage i midten av området og hvor det rundt dette planlegges boliger. En områdeplan er utarbeidet for utbyggingen. Området består av utbyggingsfelter som selges av Elverum vekst og som er i ulike faser i planleggingen: Noen er allerede solgt og regulert, mens andre felter foreløpig ikke er solgt. Ydalir er utvalgt som pilotområdet hvor alle ZENs KPI er testet ut. For mer om Ydalir, se ZEN Rapport 51 (Wiik et al., 2023).

3.5 Byform KPI (Nøkkellindikatorer)

I ZENs definisjonsveileder er det identifisert nøkkellindikatorer for byform og arealbruk egnet for å evaluere ZEN-prosjekter i overordnede arealplaner (kommuneplan og kommunedelplan) og i mer detaljert reguleringsplanarbeid. Valg av indikatorer er basert på at de skal kunne sammenstilles med utgangspunkt i tilgjengelige GIS-data på det aktuelle stadiet i planleggingen og at de kan styres gjennom bestemmelser og retningslinjer i kommunale arealplaner. Alle beregninger utføres ved hjelp av åpen kildekode geografiske informasjonssystemer (GIS).

En viktig referanse for valg av byformegenskaper har vært IPCC-rapporten «Mitigation Of Climate Change» (Shukla et al., 2022). Rapporten fremhever behovet for en mer kompakt, tilgjengelig og samtidig grønn byutvikling for å redusere energiforbruket, forbedre forholdene for elektrifisering og øke lagringen av karbon. Andre referanser har vært UN Habitats prinsipper for bærekraftige nabolag (UN Habitat, 2014), Klimanorm Sluppen (Andresen et al., 2021), Citylab Action Guide (SGB Council, 2018) og Futurebuilts kriterier for grønn mobilitet (Fuglseth & Resch, 2021) og sosial bærekraft (Bratseth & Sletner, 2021).



Figur 3.1. Prinsipp for nøkkellindikatorer tilpasset to faser av planlegging.

Nøkkellindikatorerne er delt inn i to sett. Det første settet er indikatorer for evaluering av byform på områdenivå og inkluderer nettverksbaserte mål på tetthet og tilgjengelighet, mens det andre settet

gjelder prinsipputformingen av individuelle bygninger, gater og plasser. De to settene er utformet for å støtte planleggere i å fokusere både på potensialet som tidligfase planlegging kan sette rammene for, og i å utnytte dette potensialet gjennom detaljplanlegging og prosjektering i senere faser.

Prosessen med å velge nøkkelindikatorer har foregått i to trinn. Først har vi foreslått en liste over indikatorer og eksemplifisert disse for pilotprosjektene Sluppen (Trondheim), Bodø Nyby (Bodø) og Fornebu (Bærum). I neste steg diskuterte vi disse indikatorene med representanter fra planavdelingene i kommunene. Basert på innspill om enkel sammenstilling av resultater, tilgang til data, tilgang på GIS-kompetanse, og i hvilken grad kommunene gjennom plankart eller planbeskrivelse i kommunedelplaner eller reguleringsplaner har mulighet til å identifisere og bestemme byformegenskapene som inngår i indikatorene, har vi definert KPIene slik som de nå foreligger. Figur 3.1 viser prinsippet for nøkkelindikatorer tilpasset henholdsvis kommunedelplan-fase og reguleringsplan-fase. For mer informasjon om utvalgte nøkkelindikatorer, se kapittel 4.2.

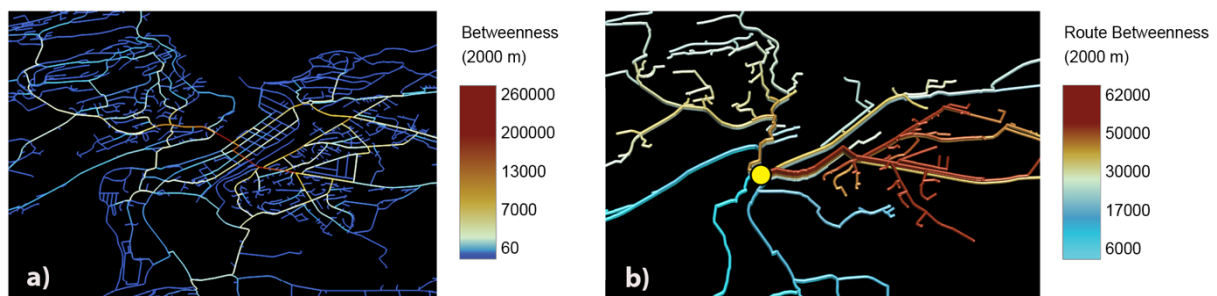
3.6 Modell for scenarioanalyser av effektbehov for bygninger og belastning på energisystem

SINTEF Community har utviklet scenariomodeller for å analysere potensialet for energisparing i den samlede bygningsmassen ved ulike tidspunkter og standarder på oppgradering av bygninger (Sandberg et al., 2022). Disse modellene er brukt for å kople årlig energibehov for bygninger ved ulike scenarier for energioppgradering for å visualiser potensialet for energisparing i bygningsmassen fram mot år 2050 (Lausselet et al., 2022). I scenariomodellen estimeres energibehov for hver time gjennom året for hver bygning. Ved også å koble strømforsyningssystemet med sine transformatorstasjoner til samme GIS-modell, har vi videre utviklet en modell for å estimere for eksempel belastning på trafostasjoner ved ulike scenarier for utbygging, bygningstyper, bygningsstandard og energikilder. Dette arbeidet gjøres i nært samarbeid med Trondheim Kommune og arbeidspakke 1.2 i FME ZEN og vil bli presentert i en egen ZEN-publikasjon i 2024.

3.7 Metodeutvikling i nettverksbaserte tilgjengelighetsanalyser

Variabelen betweenness (Freeman, 1977) har spesiell relevans for transportstudier. Variabelen kan forstås som en transportmodell der «agenter» reiser fra hvert kryss eller veilenke til alle andre kryss eller lenker og hvor det telles opp hvor mange som passerer hvert kryss eller hver veilenke i modellen (se også avnitt 2.5.4). Betweenness indikerer dermed strømmer av syklister, fotgjengere eller kjøretøy gjennom nettverk (Cooper et al., 2021; Formolli et al., 2024), og kan betraktes som en "direct demand" transportmodell (Bhowmick et al., 2022). Alternativt kan man beregne strømmen mellom spesifikke start-destinasjon-par, såkalt «OD-betweenness» (Sevtsuk, 2021). Mens betweenness er egnet for modellering av gang-, sykkel eller bilstrømmer, er variabelen mindre egnet for studier av transportmiddelvalg. Det er fordi betweenness er en egenskap ved enkeltdele av en rute (og ikke hele reiseruter), mens transportmiddelvalg i virkeligheten er basert på vurderinger av hele ruter fra reisestart til destinasjon (Cervero et al., 2019). Siden transportmiddelvalg har større relevans enn rutevalg når det gjelder utslipp, har vi utviklet de nye variablene «route betweenness» og «route OD-betweenness» som angir gjennomsnittsverdi for henholdsvis betweenness eller OD-betweenness langs hele ruter.

Vi er ikke kjent med at slike rutebaserte betweenness-variabler har vært brukt tidligere, og vår foreløpige uttesting av dem for sammenlikning med reisemiddelvalg er lovende. Arbeidet er planlagt publisert i 2024.



Figur 3.2: a) Betweenness (radius 2000 m), en variabel som beskriver egenskaper ved hver enkelt veilenke (forbindelsen mellom to kryss) og b) «Route betweenness» (radius 2000 m) som beskriver egenskaper ved komplette ruter fra startpunkt (origin) til målpunkt (destination) og hvor rutene med høyest betweenness-verdi er tegnet øverst. Figur modifisert etter Schön et al. (2024)

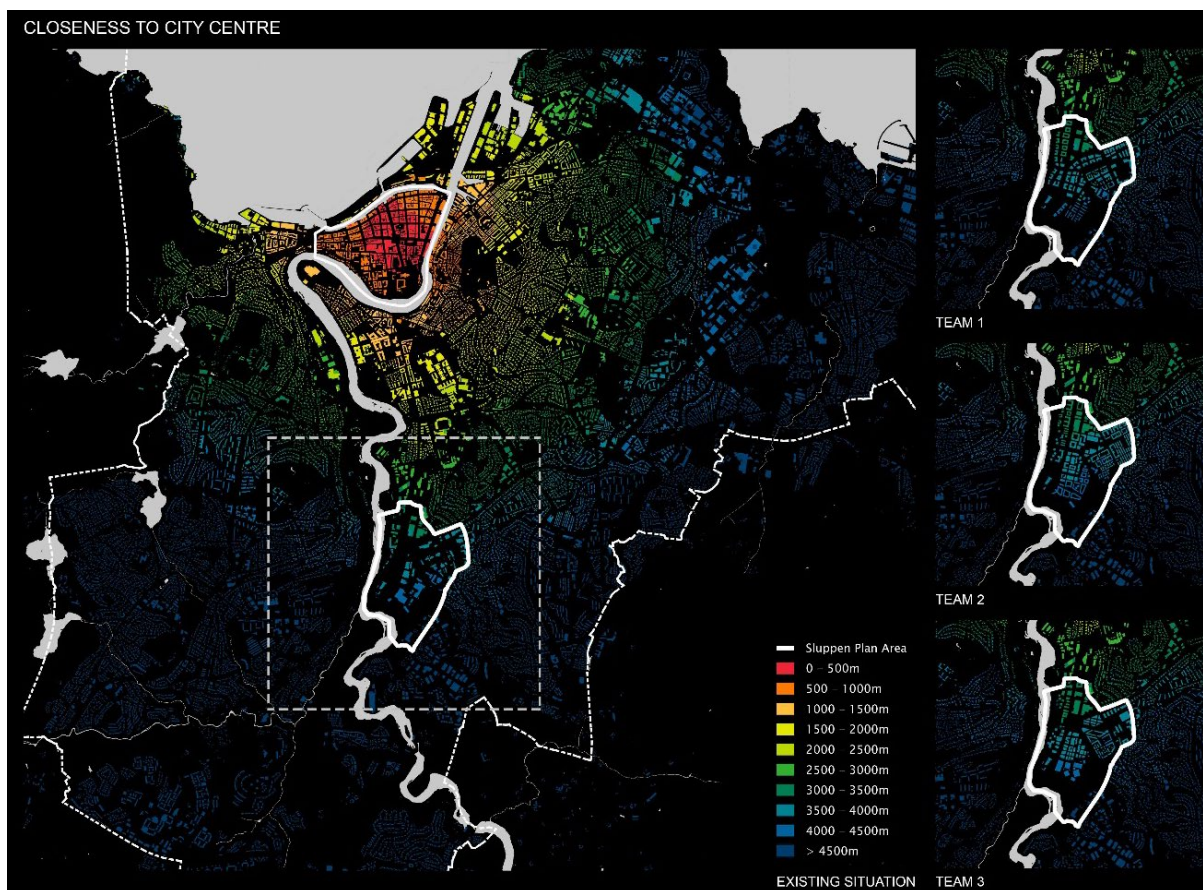
4. Resultater

4.1 Utvalgte resultater fra analyser av FME ZEN-prosjekter

4.1.1 Sluppen

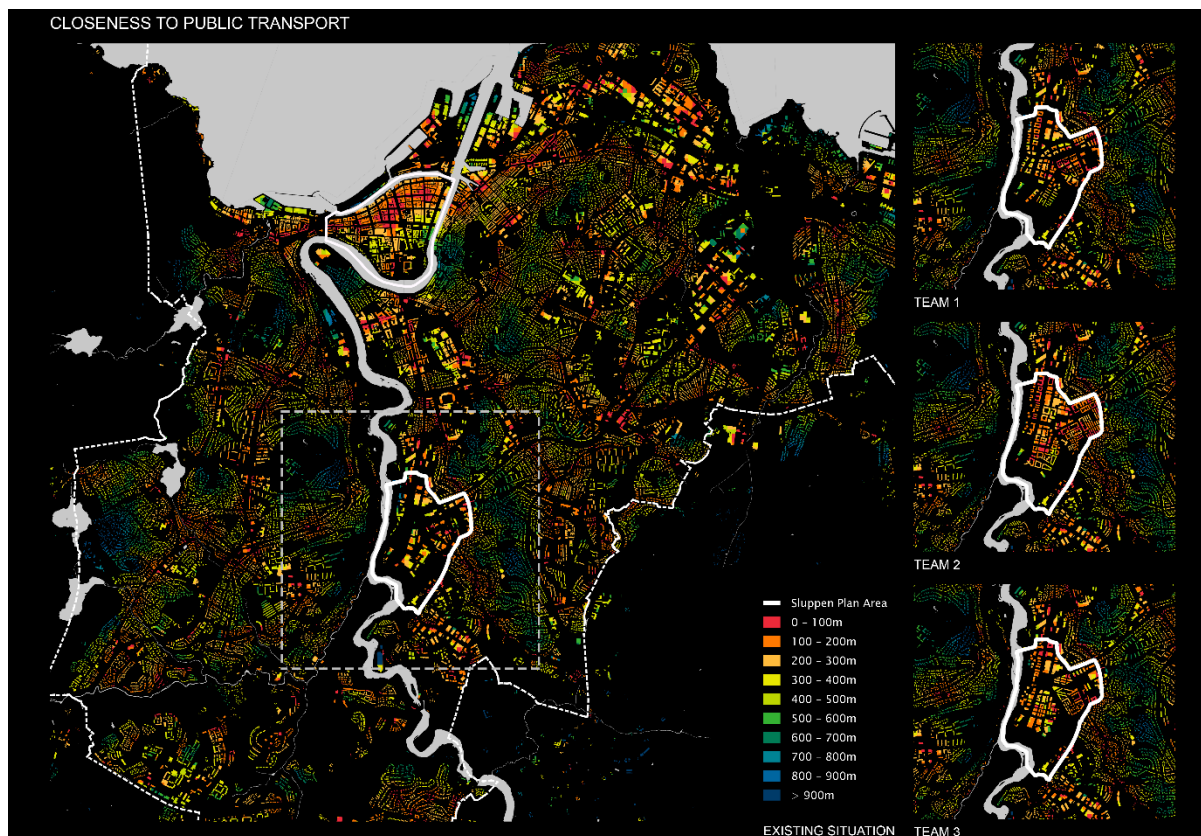
Uttesting av GIS-variabler og sammenligning av prosjektforslag

Resultatene fra analysene av de tre planforslagene for Sluppen avdekker forskjeller mellom de tre planforslagene for alle de analyserte variablene. Interessant, og uventet på grunn av prosjektområdets begrensede størrelse sammenlignet med avstanden til sentrum, så er gangavstanden til sentrum for befolkningen innenfor planområdet forskjellig for alle planforslagene, - alle er kortere enn i eksisterende situasjon (fig. 4.1). Dette kan forklares med de mer finmaskede gangnettene i planforslagene sammenlignet med dagens situasjon.



Figur 4.1: Bygninger fargelagt etter gangavstand til torget i Trondheim sentrum for eksisterende situasjon og (til høyre) for de tre planforslagene (Etter Nordström et al., 2020b; Rokseth et al., 2019a).

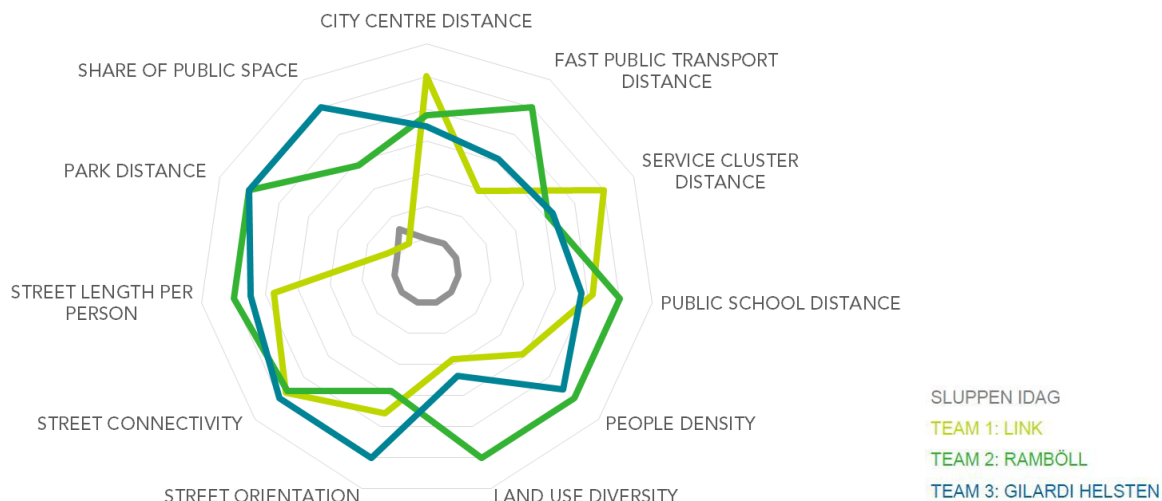
Gjennomsnittlig gangavstand til kollektivholdeplass for befolkningen innenfor planområdet er for alle planforslagene kortere enn i eksisterende situasjon og skiller seg dessuten også mellom planforslagene: Middellavstanden er 50 % lengre i planforslag 1 enn i forslag 2.



Figur 4.2: Bygninger fargelagt etter gangavstand til kollektivtransport (Etter ZEN Memo 21, Nordström et al., 2020b; Rokseth et al., .

Generelt har innbyggerne i Trondheim korte gangavstander til åpne offentlige grøntarealer. Middellavstanden innenfor planområdet er noe høyere for planforslag 1 sammenlignet med de øvrige planforslagene. Planforslag 1 har lavere andel grønt offentlig areal sammenlignet med eksisterende situasjon og de øvrige forslagene.

Av de tre vurderte planforslagene er forslag 2 et eksempel på et blandet tett nabolag med korte avstander til åpne offentlige grøntarealer. For å effektivt koble den planlagte utbyggingen på Sluppen til eksisterende omkringliggende gatenett, bør forbindelsen mellom hovedtraséene innenfor planområdet til Tempeveien i nord og Sluppenveien i øst mot Nardo styrkes for å øke nærheten til bydelene rundt og attraksjonene som ligger utenfor planområdets.. Fra analysen av network integration kan vi se at alle planforslag har mangler når det gjelder å koble det foreslåtte gatenettet til eksisterende nett rundt planområdet. Lengre og mer tilkoblede nettverk vil styrke alle planforslag. Å styrke forbindelsene til det foreslåtte nettverket til det omkringliggende eksisterende nettverket vil også øke den potensielle kundebasen for de planlagte attraksjonene ved Sluppen.



Figur 4.3: Oppsummering av de undersøkte variablene med normalisert score som sammenligner eksisterende situasjon og de tre planforslagene. («street connectivity» i denne figuren refererer til indikatoren som i denne rapporten er kalt gatekrysstetthet, mens «street orientation» refererer til gatetilkoplinger (ZEN Memo 21, Nordström et al., 2020b; Rokseth et al., 2019a).

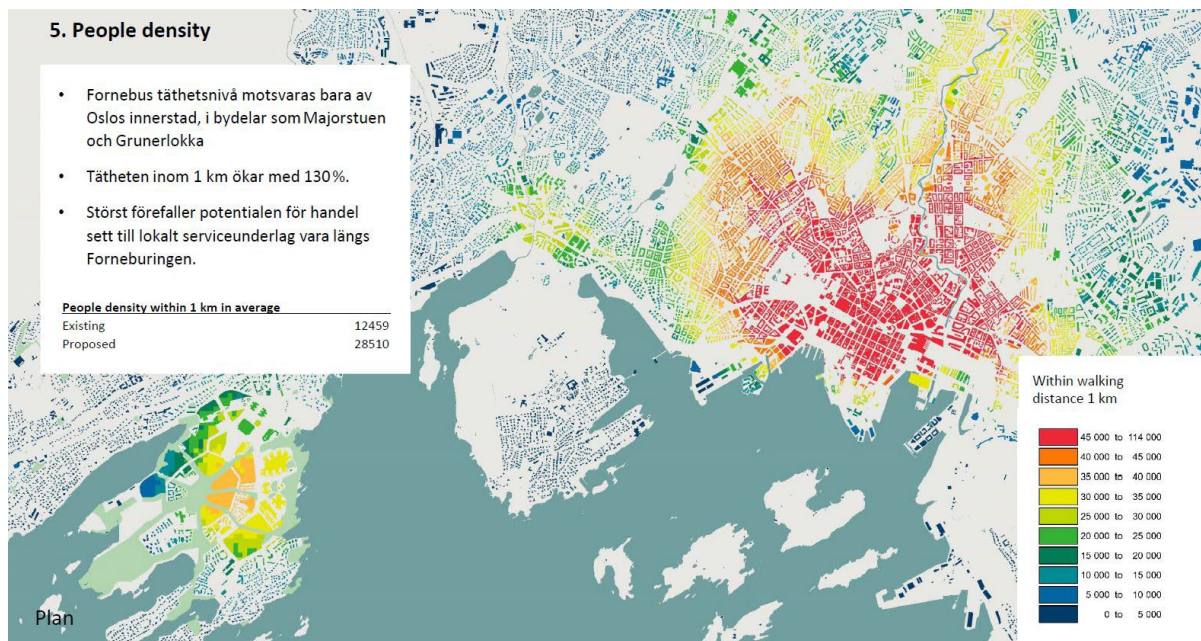
Analysen av planforslagene på Sluppen eksemplifiserer hvordan variablene kan brukes for å synliggjøre forskjeller mellom planforslag og estimere sannsynlige effekter av foreslåtte løsninger. Analysene kan dessuten belyse hvilke temaer som er viktige å fange opp i den videre planleggingen av området, som for eksempel det å forbedre gangnettet som forbinder Sluppen til naboområdene.

4.1.2 Fornebu

Analyse av og innspill til byutviklingsforslag i form av kommunedelplan

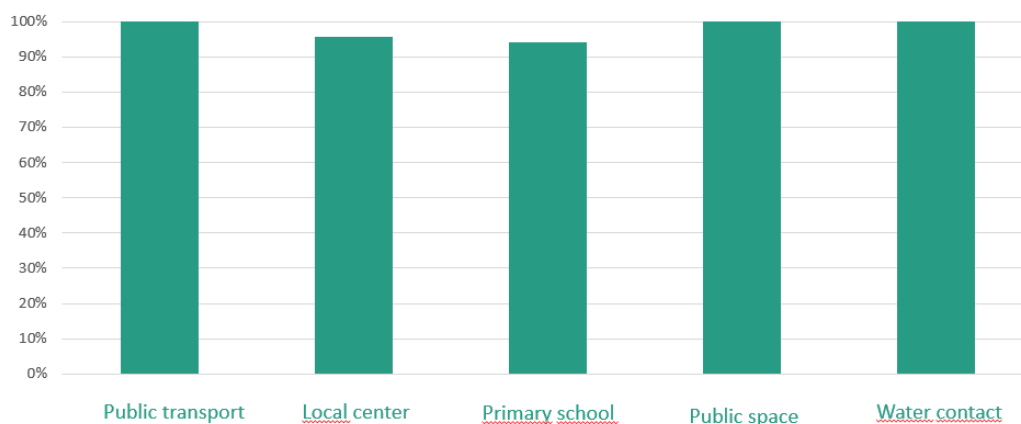
Mens analysen av Sluppen sammenligner tre alternative planforslag for samme område, består analysene av Fornebu i å sammenlikne kommunedelplanen for Fornebu med eksisterende situasjon og komme med innspill til videre planlegging. Flere av variablene kan evalueres mot referanseverdier iht. tidligere forskning på feltet eller sammenlignes med andre områder i byen eller med andre byer.

Befolkning er modellert som antatt antall beboere jevnt fordelt over planlagt bebygd areal innen planområdet, mens det i øst og sørvest er områder uten bebyggelse som derfor heller ikke er modellert med befolkning. Når befolkningstetthet måles som antall beboere innen 1 km gangavstand, gir planforslaget en økning på 130 % fra til eksisterende situasjon, en tetthet i samme størrelsesorden som i levende og attraktive byområder i Oslo som Majorstuen og Grünerløkka (se fig. 4.4).



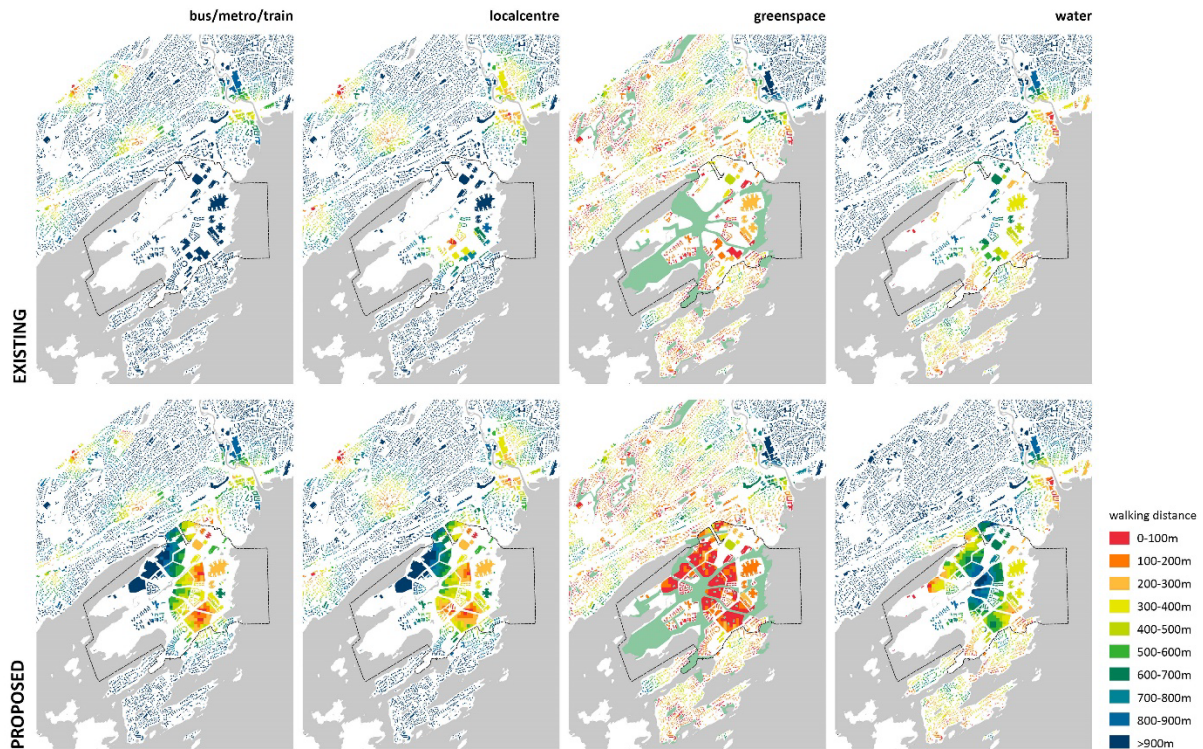
Figur 4.4: Befolkningstetthet for Fornebu sammenlignet med Oslo (ZEN Memo 21; Nordström et al., 2020b).

For planlagt situasjon øker andelen beboere innenfor planområdet sammenlignet med dagens situasjon, gjennomsnittet for planområdet øker fra 22 til 48 %. Over 90 % av befolkningen vil ha destinasjoner som strand, lokalt handelssenter, grunnskole, offentlig plass og holdeplasser for kollektivtrafikk innen 1 km gangavstand (fig. 4.5).



Figur 4.5: Prosentandelen av boliger og arbeidsplasser med ulike bykvaliteter innen 1 km gangavstand. (ZEN Memo 21; Nordström et al., 2020b).

Eksisterende store parker og grøntarealer i Fornebuområdet er bevart i planforslaget, noe som gir god uttelling på variablene tilgjengelighet til grøntareal og arealandel grøntareal. I gjennomsnitt vil befolkningen som bor eller arbeider i planforslagsområdet ha ca. 100 meters gangavstand til nærmeste park eller grøntområde (ZEN Memo 21; Nordström et al., 2020b).



Figur 4.6: Tilgjengelighet til daglige destinasjoner. (Etter ZEN Memo 21; Nordström et al., 2020b)

Planforslaget har et finmasket og godt sammenkoblet gatenettverk, men fra resultatene av network integration er det mulig å peke på noen utfordringer som bør følges opp i den videre planleggingen av området. Interne gater innenfor kvartalene er ikke vist i kommunedelplanen som er analysegrunnlaget. Ved detaljering av disse interne gatene bør man sørge for gjennomtenkt sammenheng med omkringliggende gater. Resultatene fra network integration tydeliggjør dessuten barriereeffekten mellom Fornebuområdet og bydelene mot nord pga. E18 og jernbane. Dersom Fornebus potensial som integrert del av Bærum skal utnyttes, bør det etableres nye tverrforbindelser slik som skissert i fig 4.7.

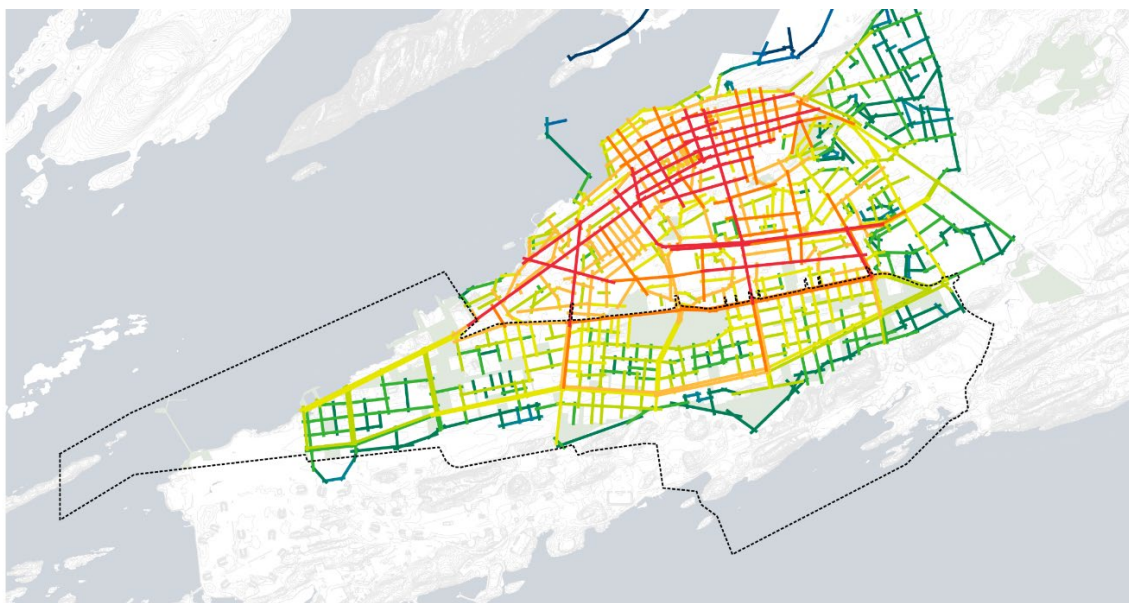


Figur 4.7: Resultat fra network integration - analyse med markering av manglende forbindelser på grunn av trafikbarrierer mot nordvest og nordøst (ZEN Memo 21; Nordström et al., 2020b)

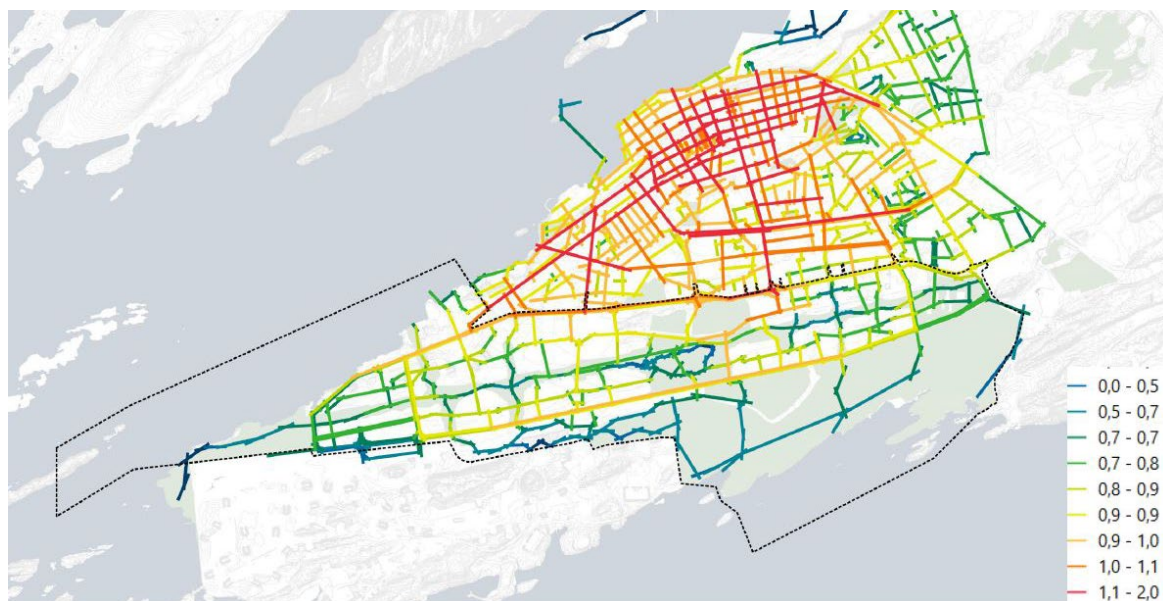
4.1.3 Bodø

Analyse av byutviklingsforslag i større skala

Resultater fra network integration viser at planforslagene i svært ulik grad kobler utbyggingsområdet til eksisterende omkringliggende gatenett (fig. 4.8 og 4.9). Planforslag 3 foreslår et hierarkisk nettverk av veier, gater og stier som er gjennomtenkt knyttet til viktige deler av eksisterende gatenettet (se fig 4.8), mens de andre planforslagene nesten ikke har slike forbindelser. Dette gjelder spesielt planforslag 1 som er kjennetegnet av enklaver som er forbundet med stier gjennom parker og grøntområder på en slik måte at både de nye enklavene og gang- og sykkelveiene som forbinder dem, er frakoblet omkringliggende by (fig. 4.9).

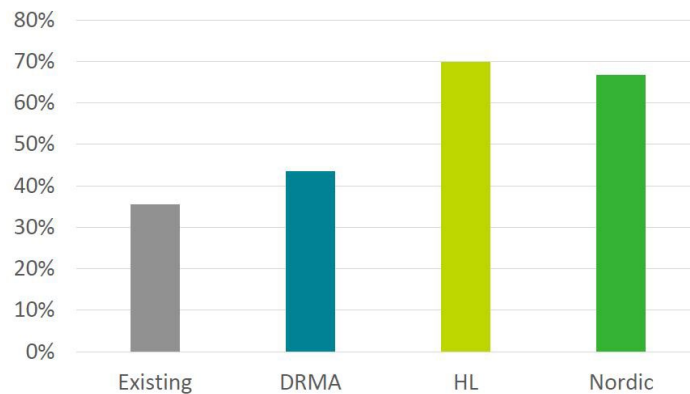


Figur 4.8: Network integration – analyse av planforslag 1 (ZEN-memo 32; Nordström et al., 2021)



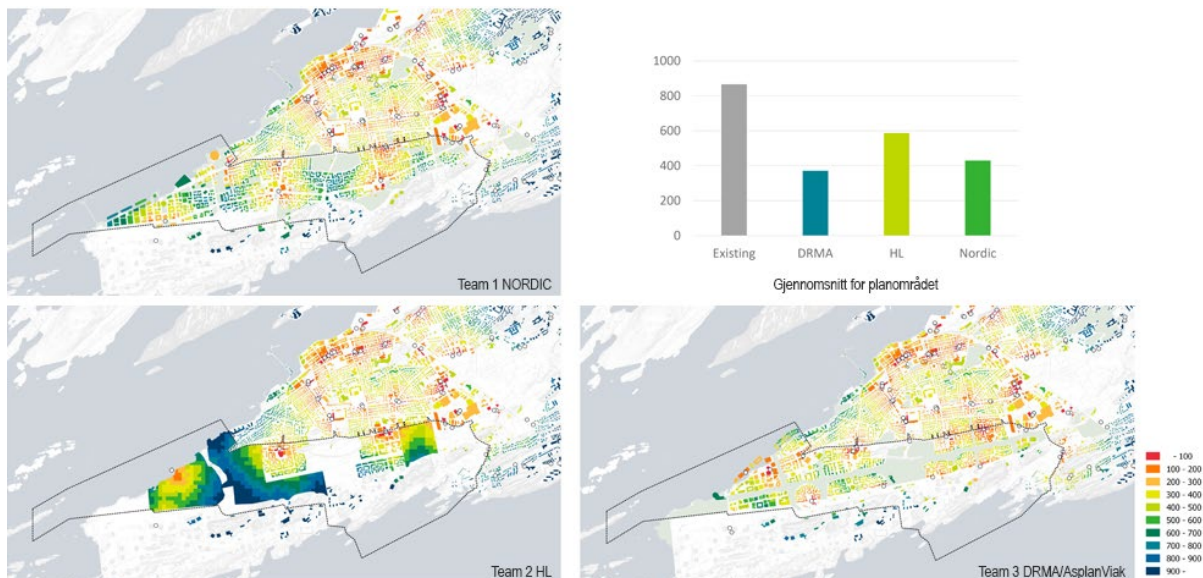
Figur 4.9: Network integration – analyse av planforslag 3 (ZEN-memo 32; Nordström et al., 2021)

Analysen av gatekryssettetthet avdekker også betydelige forskjeller mellom planforslagene, varierende fra 46 til 173 kryss per kvadratkilometer for henholdsvis forslag 1 og forslag 2. Befolkningstettheten er høyere i forslag 1 og 2 sammenlignet med 3, men disse resultatene må vurderes i lys av at befolkningstall og bygningsareal er forskjellige for de tre forslagene. I analysen av blanding beboere/arbeidsplasser tilfredsstiller DRMA anbefalingen fra UN Habitat (2014) om en andel på 40-60 % beboere noe som tilsier godt grunnlag for lokal handel og service (figur 4.10).



Figur 4.10: Gjennomsnittlig funksjonsblanding bolig / arbeidsplasser innenfor planområdet for eksisterende situasjon og de tre planforslagene (ZEN-memo 32; Nordström et al., 2021).

I planforslag 1 og 3 har henholdsvis 81 og 65 % av befolkningen kollektivholdeplasser innenfor 150 meters gangavstand, mens forslag 2 har store områder hvor folk må gå mer enn 900 meter for å komme til nærmeste kollektivholdeplass (se fig. 4.11).



Figur 4.11: Gangavstand til nærmeste busstopp for de tre planforslagene (ZEN-memo 32; Nordström et al., 2021).

4.1.4 Ydalir

Resultatene fra analysene av Ydalir er presentert i ZEN Rapport 51 (Wiik et al., 2023). Vedrørende kart-visualiseringer av GIS-baserte analyser, se kapittel 5 i denne rapporten.

4.2 Tilgjengelighetsanalyser for bylogistikk

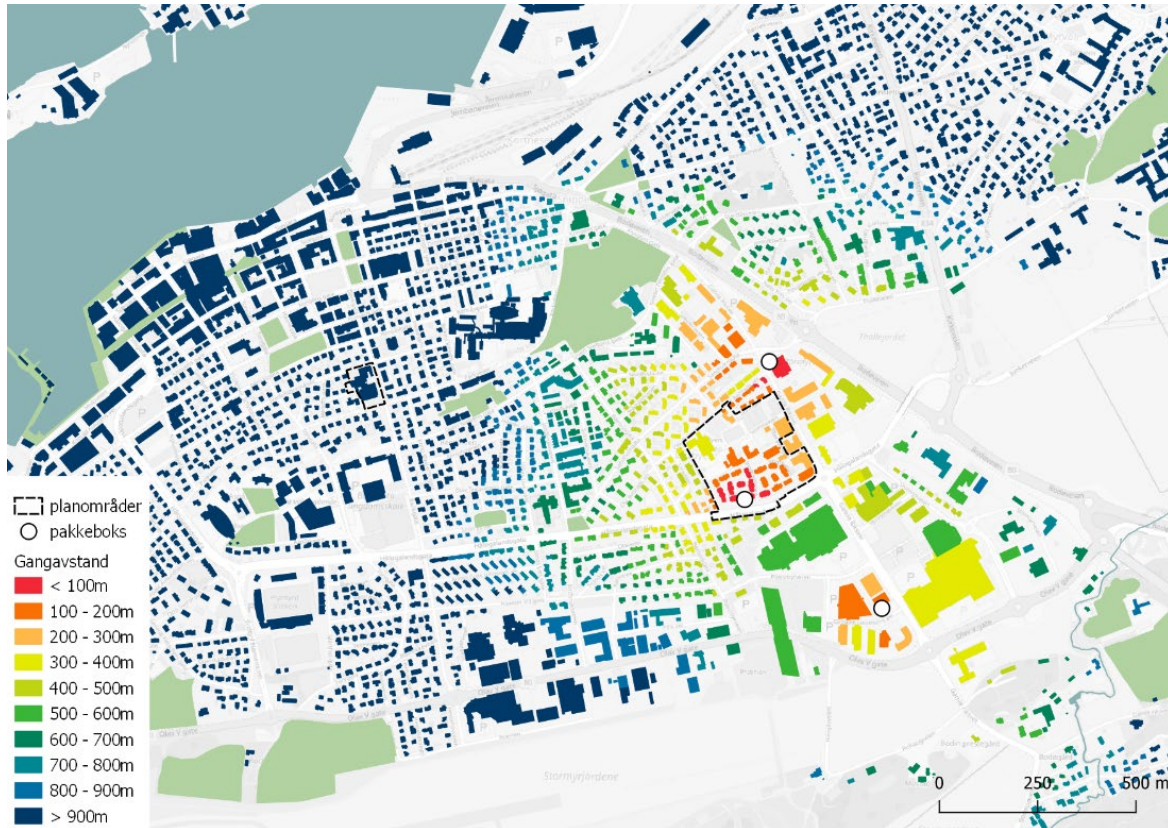


Fig 4.12: Gangavstand til nærmeste pakkeboks. Eksempel fra Bodø

Fig 4.12 viser at ZEN-området Bankkvartalet har gode muligheter for levering av pakker til pakkebokser innenfor gangavstand. Dette kan bidra til at utkjøring skjer i tidsrom hvor det er lite annen aktivitet og at kundene kan hente pakkene når det passer dem. Vi har i analysene ikke vurdert om pakkeboksene har tilstrekkelig kapasitet eller om det i tillegg må benyttes andre løsninger som hjemlevering eller post i butikk. Antallet pakkebokser er imidlertid markedsstyrt og ved stor bruk vil sannsynligvis tilbudet tilpasses behovet.



Figur 4.13: Lengde på lastevei fra lastesone til varemottak. Fiktivt eksempel fra Bodø.

Fig 4.13 viser fiktive laste-/lossesoner i Bankkvartalet og mottakeres lokalisering. Kartet illustrerer eksempler på både godt og dårlig plasserte laste-/lossesoner. Den ene lastesonen er uheldig lokalisert med en gangavstand på over 200 meter til mottakene, noe som antagelig ville bety at lastesonen ikke ville bli brukt fordi transportøren kommer til å kjøre nærmere og parkere ulovlig. Noen av de andre laste-/lossesonene i eller rundt caseområdet illustrerer bedre lokaliseringer med korte avstand til mottakerne og vil dermed i større grad bidra til å styre større kjøretøyer til ønskede lokasjoner og kjøreruter.

4.3 Nøkkellindikatorer (ZEN KPIer, Key Performance Indicators)

ZEN-definisjonsrapporten angir nøkkellindikatorer og vurderingskriterier for temaet "byform og arealbruk". Figur 3.1 viser kategoriene av ZEN-KPIer for byform og arealbruk for ulike faser av planlegging. Tabell 4.1 viser de valgte nøkkellindikatorene. For indikatorenes bakgrunn, se kapittel 3.5. For mer informasjon om hvordan nøkkellindikatorene måles og om poenggiving i ZEN KPI Tool, se kapittel om KPI for byform og arealbruk i ZENs definisjonsveileder (ZEN Rapport 44N; Wiik et al., 2022).

Som beskrevet i ZEN-memo *Byform og bylogistikk i arealplanlegging - Uttesting av indikatorer i reguleringsplanarbeid* har det også vært arbeidet med KPIer for bylogistikk. Disse KPIene er ikke ferdigutviklet og inngår ikke i ZEN definisjonsveileder, men de kan brukes som grunnlag for arbeid med temaet i ulike deler av en reguleringsplanprosesser. sammen med beskrevne GIS-verktøy. Tabell 4.2 viser de foreslåtte KPIer.

Kategori	Vurderingskriterier	KPI	Poeng
BYF	Tetthet og arealbruksmiks	BYF4.1 Befolkningstetthet	2
		BYF4.2 Tomteutnyttelse*	1
		BYF4.3 Arealbruksmiks	2
		BYF4.4 Tilgang til mangfold av fasiliteter	2
	Bygningslayout	BYF4.5 Boligtype*	1
		BYF4.6 Flerbruks bygningstak*	1
		BYF4.7 Aktive fasader*	2
	Gatenettverk	BYF4.8 Gatetilkoblinger	2
		BYF4.9 Gatekrysstetthet	1
		BYF4.10 Sykle- og gangbare gater*	1
	Grønt åpent rom	BYF4.11 Andel grønt åpent rom	2
		BYF4.12 Andel grønt permeabelt areal*	2
		BYF4.13 Bevaring av trær og planting av trær*	1

Tabell 4.1: KPI for byform og arealbruk (BYF)
(*KPIer for bruk først i reguleringsplanfasen)

Kategori	Vurderingskriterier	KPI	Poeng
BYL	Selvbetjent hentepunkt	Andel boliger som har maks 500m å gå.	
		Lokalisering skal ikke være langs bilveg.	
	Varemottak	Skal ikke være et dominerende element nærmiljøet.	
		Tilgang på universelt varemottak når det er flere enn X antall mottakere i bygget.	
		Tilgang på universelt varemottak når det er flere enn X antall mottakere i bygget.	
	Laste-/lossesoner	Lokalisering skal ikke være i hovedfartsåre for gående, syklende, kollektiv eller bil.	
		Mulighet for å stoppe for varelevering til butikken/næringslokaler med gangavstand under X meter på jevnt underlag.	
		Lokalisering skal ikke være i hovedfartsåre for gående, syklende, kollektiv eller bil.	
	Nullutslippskjøretøy, størrelse	Området ligger i eller etablerer en lavutslippssone.	
		Området har eller etablerer krav til størrelse på kjøretøy.	
	Flerfunksjonalitet/flere formål	Aktiv adgangsstyring av areal, f.eks. geofencing. Dette ligger fram i tid men kan vurderes som test/pilot.	

Tabell 4.2: Utkast til KPIer for bylogistikk (BYL)

5 Diskusjon

5.1 Behovet for verktøy tilpasset fasene i formell planlegging

Kommuneplaner og kommunedelplaner er viktige verktøy for å fastsette rammene for utviklingen av fremtidens bymiljø gjennom byform og arealbruk. Den overordnede og langsiktige planleggingen kan skape potensial for lokalisering av nye aktiviteter og har betydelig innvirkning på både klimautslipp og på de sosiale og økonomiske verdiene som kan oppstå på et sted. Byformindikatorer knyttet til forhold som fastsettes i kommuneplaner eller kommunedelplaner kan dermed være viktig støtte for planleggerne. Men på samme måte som kommunedelplanen kan skape gode lokaliseringsegenskaper, må de foreslåtte byformindikatorene for tidlig planfase følges opp i det videre planarbeidet og i reguleringsplanene. Dette er særlig viktig fordi både byform og arealbruk kan ha endret seg underveis i planprosessen fra kommunedelplan til reguleringsplan.

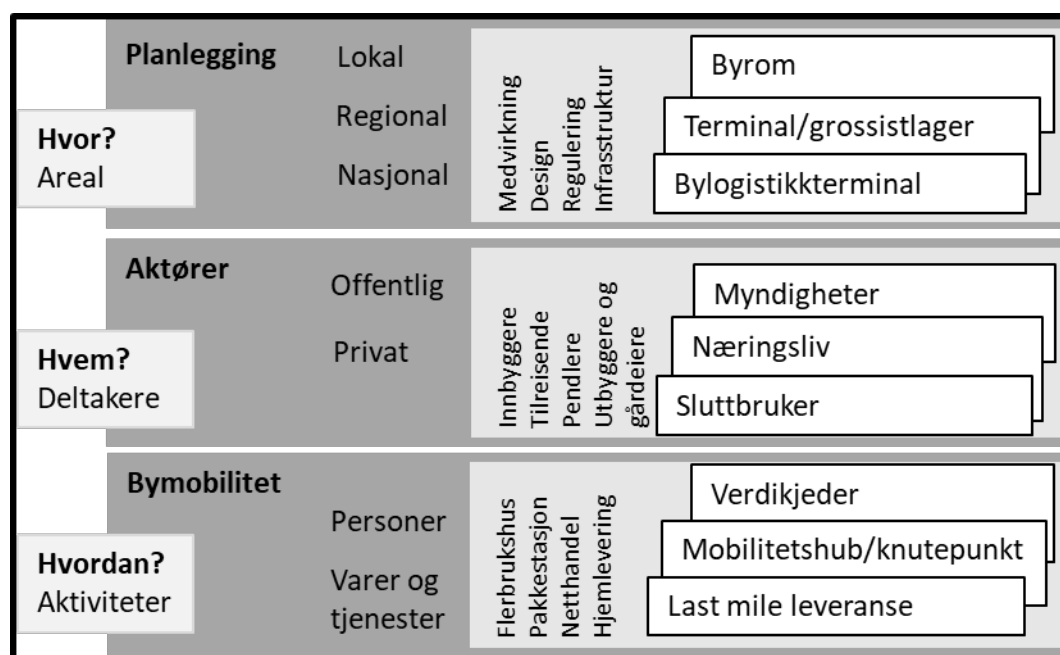
I reguleringsplanefasen legges det til flere mulige byformindikatorer som det ikke var mulig eller meningsfullt å evaluere i den tidligere planleggingsfasen, da de er relatert til utformingen av den enkelte bygningen, kvartalet, gaten eller plassen. Kort sagt kan disse byformindikatorene belyse hvor godt lokaliseringspotensialet er forvaltet og i hvilken grad reguleringsplanen støtter utviklingen mot et bymiljø som bidrar til reduserte klimautslipp og økt attraktivitet. For å realisere potentialet for lave klimautslipp og attraktive nabolag, må planlegging av tilstrekkelig tette, blandede, tilgjengelige og grønne bymiljø følges opp med detaljutforming av gangbare, grønne, arealeffektive gater, steder og bygninger.

Et kriterium for valg av GIS-variable er at de skal være noenlunde enkle å registrere og sammenstille, dvs. at relevante data må være tilgjengelige i den aktuelle planfasen, at selve indikatorverdien er enkel å sammenstille, og at dette kan gjøres med enkelt tilgjengelig programvare. Hva som er enkelt å sammenstille avhenger imidlertid av tiltenkte brukeres kompetanse. Erfaringen fra det nære samarbeidet med kommuner som FME ZEN-partnere er at noen planleggere i kommunene ofte har god GIS-kompetanse, men at det likevel ofte kreves et nært samarbeid med spesiell GIS-kompetanse i kommunen for både å sammenstille plandata, bruke de nødvendige GIS-applikasjonene, og også tolke resultatene av analysene. Slikt samarbeid mellom planleggere og GIS-konsulenter er sannsynligvis også nødvendig i de fleste tilfeller hvis tilsvarende analyser skulle gjennomføres av privat sektor. Det er mulig å ytterligere forenkle variablene slik at de kan sammenstilles med mindre og kanskje også helt uten GIS- eller planleggerkompetanse, men vår vurdering er at dette ville svekke analysene så mye at nytteverdien ville være tvilsom og gi lite kobling mellom byformsforskningen som presenteres i denne rapporten og den videre byplanleggingen.

5.2 Byform, logistikk og mobilitet

De lokale myndighetene opplever stadige arealkonflikter og blir i økende grad bevisst at areal er et knapphetsgode. Byveksttallene som omhandler nullvekstsmål for personbiltrafikken i ni norske byer, er tiltak som har bidratt til bedre tilrettelegging for gange, sykkel og kollektivtransport, og tilsvarende reduksjon av personbiltrafikk. Mens byene har fokusert på å redusere personbiltrafikken og stimulere til bruk av elektriske personbiler, utgjør vare- og nyttetransport en stadig større andel av samlet trafikkarbeid med økende andel klimagassutslipp fra nyttetransport (*Oslo Kommune*, 2019).

Tidligere forskning på bylogistikk i arealplanlegging (Bjørngen & Hjelkrem, 2022) identifiserte flere dimensjoner for å utvikle begrep rundt helhetlig planlegging og å identifisere tiltak for å oppnå mer levende og attraktive byer, boligområder og nabolag. Noen forutsetninger for helhetlig planlegging er kunnskap om den faktiske bruken av byrommet gjennom (1) innhenting av data om behovene til ulike brukere, (2) inkludering av mobilitet og bylogistikk i tidlig planfase, (3) tilrettelegging for medvirkning for bedre prosesser i byutviklingsprosjekt, og (4) etablering av fleksibel arealbruk for dynamiske løsninger.



Figur 5.1: Illustrasjon av kompleksitet og sammenhenger innen mobilitet og byplanlegging (inspirert av Lindskog (2012). *Systems theory: Myth or mainstream?* Logistics Research, 4, 63–81)

Figur 5.1 illustrerer mobilitet i et bredt perspektiv. Det viser hvordan samarbeid mellom kommuner, fylkeskommuner, utbyggere, leverandører av mobilitetstjenester og øvrig næringsliv er nødvendig for å gi kunnskap om logistikk og mobilitet i byplanlegging. Med data og GIS-verktøyene som beskrevet i denne rapporten, vil det kunne bli enklere å belyse sannsynlige effekter av ulike løsninger og planforslag. GIS-verktøyene vil også bidra til å illustrere effektene og gjennom dette skape felles forståelse knyttet til valg for å oppnå gode byrom. Helhetlig planlegging, koordinering av sektorinteresser og involvering med ulike myndighetsnivå er vesentlig for gode planprosesser i samspill med private og offentlige aktører. Det forutsetter at lokale myndigheter setter seg i førersetet for å koordinere arbeidet og inngår partnerskap med private aktører for å tilby forbrukervennlige og

bærekraftige løsninger. Det innebærer videre at man i større grad må prioritere mellom ulike formål og definere areal for sambruk tidlig i planprosessen (Bjørngen et al., 2021; Statens Vegvesen, 2023). Indikatorer for bylogistikk som vist i dette arbeidet er et steg på veien for å synliggjøre konsekvenser og bidra til en mer helhetlig arealplanlegging hvor samtlige løsninger bidrar til attraktive byrom.

5.3 Hva er ønsket tetthet?

Som nevnt innledningsvis, så er tetthet et viktig aspekt ved bærekraftig by- og stedsutvikling og et tema som framheves av de fleste som mener noe om byform og byutvikling. Tetthet i seg selv, enten det gjelder tetthet av bygninger eller befolkningstetthet, kan imidlertid være like mye et problem som det er løsningen, så hva er ønsket tetthet?

Uten en viss tetthet av personer og bygninger blir reiseavstander lange og det blir ikke kundegrunnlag eller bygninger for en variasjon av funksjoner og attraksjoner som kjennetegner attraktive områder i byer. På denne bakgrunnen er fortetting blitt et nøkkelord i dagens byutvikling. Samtidig er det velkjent at mange av problemene ved urbanisering er knyttet til nettopp tetthet. Trangbodhet og elendige sanitære forhold i Europas industribyer var et viktig grunnlag for utviklingen av modernismen i planlegging og arkitektur tidlig på 1900-tallet (Engels, 1845). I deler av verden har storbyer fremdeles i dag samme type bolignød knyttet til ekstrem tetthet og dårlig bygninger, men også hos oss er tetthet et tema under kritikk i dag, og dette er da primært knyttet til dagslys i boliger, til kvalitet på utearealer og til ulemper for helse og trivsel på grunn av støy, støv og stress. Samtidig som utbyggere og eiendomsbesittere i dag bruker bærekraft som begrunnelse for høy tomteutnyttelse, så framhever forskere på boligkvalitet behovet for innskjerping av maksimalverdier for tillatt tomteutnyttelse (Guttu & Schmidt, 2008). Hva som av dette bør være konklusjonene om anbefalt tetthet er en viktig diskusjon, og svaret vil både i mindre og i større skala være stedavhenging. På sørligere breddegrader rekker sollyset ned i trangere gater og uterom enn i Norge, og også innen Norge varierer dette mye.

Hva som bør være akseptabel tomteutnyttelse avhenger også av boligens nærområde. For boliger med park innen kort og trafikktrygg gangavstand, så er egen uteplass mindre viktig enn for boliger hvor alt grøntareal i nærområdet er andres private hager. I fastsetting av ZEN KPIene er grenseverdiene for maksimal score på tomteutnyttelse (BRA som andel av tomteareal) satt til mellom 150 og 250 %. Dette er basert på en avveining mellom på den ene siden at en viss tetthet er nødvendig for å gi grunnlag for lokal service og andre tilbud som trenger kunder eller brukere, og på den andre siden at høy tetthet er uheldig med hensyn til dagslys i boliger og omfang og kvalitet på utearealer. Vi har også skjelet til «best practice» for «høy, men ikke for høy tetthet» i nordiske forhold, eksempelvis Majorstua med typisk tomteutnyttelse 125%, Vasastaden (Gøteborg) med 250%, og enkeltprosjekter som Waldemars hage (Oslo) og Vindmølleparken (Stavanger) med tomteutnyttelse på henholdsvis 245% og 198% (Aamo et al., 2021). ZEN-KPIene er retningslinjer for utbygginger av bymessig karakter. I andre omgivelser kan andre tomteutnyttelse være bedre. Dette er et tema som må forfølges videre, og hvor vurdering av lokale forhold må tillegges stor vekt.

5.4 Videreutvikling av metodene

5.4.1 Sammenheng mellom endret arealbruk og klimautslipp

Metoder for å estimere klimagassutslipp fra endret arealbruk ved utbygging har nylig blitt utviklet ved Sveriges lantbruksuniversitet (Lindahl & Lundblad, 2021). Ved bruk av et «karbonlagringskart» kan både utslipp fra tap av biomasse og tap av mulig fremtidig karbonlagring ved et utbyggingsforslag beregnes. Også SINTEF, i samarbeid med Cicero, har utviklet en metode for å beregne opptak og utslipp fra endret arealbruk (Fjellheim et al., 2021). Miljødirektoratet har også utarbeidet et beregningsverktøy for å anslå klimagassutslipp forårsaket av ulike endringer i arealbruk på ulike typer areal. Dette kan brukes til å sammenligne klimaeffektene av ulike utbyggingsalternativer (Miljødirektoratet, 2023). Å inkludere konsekvensene av utbygging sammenliknet med nåværende bruk av arealet ville være verdifullt fra flere perspektiver. I tillegg til direkte klimautslipp bør også konsekvensene for biologisk mangfold og rekreasjon og naturopplevelse inkluderes. Eldre skogområder representerer ikke bare en større karbonlagring, med økende alder øker også biologisk mangfold, og i mange tilfeller også naturopplevelser. Det bør ligge opplagte synergieffekter i å koble metoder for GIS-baserte analyser av natur (Cimburova et al., 2023) til metoder for byformanalyser slik som utviklet i FME ZEN.

5.4.2 Byform og mikroklima

Et annet tema som ville være verdifullt å inkludere i byformindikatorer er mikroklimaet i form av lys, vind, temperatur, luftkvalitet og støy. Mikroklimaet har stor betydning for byroms bruksmuligheter og attraktivitet og påvirkes i stor grad av utforming av gaterom og bygninger. Temaet er imidlertid på siden av FME ZENs fokus og er derfor ikke inkluderte i ZEN-KPIer, men bør inngå i videre arbeider med modeller og metoder for vurdering av byutviklingsforslag (se også forrige punkt om GIS-modellering av natur).

5.4.3 Byform, bygningstyper, energibruk og energieffekt

Kompakt byutvikling er en forutsetning for effektive fjernvarme- og kjølenett og er fordelaktig for lokal balansering av elektrisk kraft, noe som også kan inkludere elektrisk kollektivtransport (Shukla et al., 2022). Erfaringen fra noen utprøvinger i forbindelse med arbeidet med byform i FME ZEN, tilsier at det ligger store forskningsmuligheter i å kombinere GIS-modeller av byform slik som vist i denne rapporten, med GIS-data om energiforsyningssystemet og med modeller for energibruk i bygninger.

5.4.4 By og land

FME ZENs nøkkelindikatorer for byform og arealbruk tar utgangspunkt i mål om attraktivitet, tilgjengelighet og redusert transportbehov som vanskelig kan nås utenfor en urban kontekst. Analysene av Ydalir eksemplifiserer hvordan mindre byer og tettsteder som domineres av småhusbebyggelse vanskelig kan oppnå maksimal score på disse nøkkelindikatorerne. Norge er et land som av naturgitte forhold har bærekraftig næringsgrunnlag over store deler av landet uten at dette gir befolkningsgrunnlag for urbanitet i internasjonal målestokk. En viktig diskusjon i forlengelsen av FME ZEN vil derfor være hva som bør være retningslinjene for stedsutvikling utenfor områdene med befolkningsgrunnlag for bymessig utvikling. Svaret kan være en kombinasjon av å bruke samme indikatorer som foreslått i FME-ZEN, men akseptere lavere score, og supplere eller erstatte indikatorerne.

5.5 Behov for helhetlig tenking om arealbruk, funksjonsblanding og fleksibilitet

Spesialisering av fagfelt relevant for byplanlegging representerer viktig kunnskapsutvikling, men er ingen garanti for bærekraftig og attraktiv byutvikling, dette fordi optimalisering av enkelttema kan være direkte i strid med gode løsninger i et helhetlig perspektiv. Tilsvarende som at 1900-tallets modernistiske idealer på mange felter feilet i forsøket på å lage den nye velfungerende byen (se kapittel 2.2), er vi i dag gjennom retningslinjer fra en rekke spesialfelt i ferd med å sette rammer som vanskeliggjør det å lage nye bærekraftige og attraktive byområder. Eksempler på dette er veinormaler som i liten grad har gater på repertoaret, støybestemmelser som sammen med utbygges fokus på lamellbebyggelse nesten umuliggjør byutvikling med gater og kvartalsbebyggelse, motsetningen mellom kompakte bygningsformer av energihensyn og dagslyskvaliteter i boliger, arealbehov for separate transport- og logistikk-behov som adderes og til sammen beslaglegger for mye areal til å gi bymessig nærhet mellom bygninger, og monofunksjonelle bygningstyper med lite potensial for endret bruk over tid. En annen konflikt er ønsket om kompakt byutvikling sammen med ønskene om solfylte utearealer og optimalisering av solenergi på bygninger. Denne type motsetninger er relevante for mange av byform-variablene beskrevet i denne rapporten. For å lykkes med bærekraftig og attraktiv byutvikling er det derfor avgjørende at enkelttema ikke løses separat, men at det legges vekt på synergier mellom ulike tema og på fleksibilitet og blandet bruk. Dette gjelder alle skalaer fra overordnet arealbruk og valg av bygningstyper til detaljdisponering av veitverrsnitt og gaterom og bygningsutforming.

Referanser

- Aamo, A. S., Bratseth, K., & Eilertsen, M. R. (2021). *Bokvalitet og høy tetthet*.
- Alexander, C. (1977). *A pattern language: Towns, buildings, construction*. Oxford university press.
- Andresen, I., Saunders, J., Persson, J., & Yttersian, V. (2021). *Klimanorm Sluppen Beta, Asplan Viak*.
- Bavelas, A. (1950). Communication patterns in task-oriented groups. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6), 725–730.
- Berghauser Pont, M., & Haupt, P. (2021). *Spacematrix. Space, Density and Urban Form*. nai010 Publishers.
- Berghauser Pont, M., & Marcus, L. (2015). What can typology explain that configuration can not? *SSS 2015 - 10th International Space Syntax Symposium*.
- Bhowmick, D., Saberi, M., Stevenson, M., Thompson, J., Winters, M., Nelson, T., Leao, S. Z., Seneviratne, S., Pettit, C., Vu, H. L., Nice, K., & Beck, B. (2022). A systematic scoping review of methods for estimating link-level bicycling volumes. *Transport Reviews*, 43(4), 622-651. <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2147240>
- Bjørgen, A. (2021). *Integration of Goods Movement in City Planning: Understanding Stakeholder Engagement* [NTNU]. <https://hdl.handle.net/11250/2788589>
- Bjørgen, A., Bjerkan, K. Y., & Hjelkrem, O. A. (2021). E-groceries: Sustainable last mile distribution in city planning. *Research in Transportation Economics*, 87, 100805. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.100805>
- Bjørgen, A., & Hjelkrem, O. A. (2022). *SNAPSHOT. Hvordan økt netthandel påvirker hele transportsystemet (2020–2022). Resultater i prosjektet*.
- Bjørgen, A., & Ryghaug, M. (2022). Integration of urban freight transport in city planning: Lesson learned. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 107, 103310. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103310>
- Bø, L. A., Høyland, K., Skaar, M., Wågø, S. I., Rokseth, L. S., Baer, D., Gorantonaki, E., Bjørgen, A., & Giske, M. A. (2023). Barn i byen. Gode oppvekstmiljøer for barn i sentrale bydeler i Trondheim. *SINTEF Fag*.
- Boeing, G. (2020). Exploring urban form through openstreetmap data: A visual introduction. In *Urban Experience and Design: Contemporary Perspectives on Improving the Public Realm* (pp. 167–184). Taylor and Francis; <https://doi.org/10.4324/9780367435585-15>
- Boeing, G. (2021). Street Network Models and Indicators for Every Urban Area in the World. *Geographical Analysis*, 54(3), 519-535. <https://doi.org/10.1111/gean.12281>
- Bourdic, L., Salat, S., & Nowacki, C. (2012). Assessing cities: A new system of cross-scale spatial indicators. *Build Res Inf*, 40(5), 592–605. <https://doi.org/10.1080/09613218.2012.703488>
- Bratseth, K., & Sletner, C. (2021). *FutureBuilts kriterier sosial bærekraft, Future Built*.
- Bres, R., Peralta, V., Le-Guilcher, A., Devogele, T., Olteanu Raimond, A.-M., & de Runz, C. (2023). Analysis of cycling network evolution in OpenStreetMap through a data quality prism. *AGILE: GIScience Series*, 4, 3.
- Burton, E. (2000). The compact city: Just or just compact? A preliminary analysis. *Urban Studies*, 37(11), 1969–2006.
- Cervero, R., Denman, S., & Jin, Y. (2019). Network design, built and natural environments, and bicycle commuting: Evidence from British cities and towns. *Transport Policy*, 74, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.09.007>

- Churchman, A. (1999). Disentangling the concept of density. *Journal of Planning Literature*, 13(4), 389–411.
- Cimburova, Z., Blumentrath, S., & Barton, D. N. (2023). Making trees visible: A GIS method and tool for modelling visibility in the valuation of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 81, 127839.
- Cooper, C. (2015). Spatial localization of closeness and betweenness measures: A self-contradictory but useful form of network analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(8), 1293–1309. <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1018834>
- Cooper, C., & Chiaradia, A. J. (2015). *sDNA: how and why we reinvented Spatial Network Analysis for health, economics and active modes of transport*. GIS Research UK (GISRUK) 2015 Proceedings.
- Cooper, C. H. V. (2017). Using spatial network analysis to model pedal cycle flows, risk and mode choice. *Journal of Transport Geography*, 58, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.12.003>
- Cooper, C. H. V., & Chiaradia, A. J. F. (2020). sDNA: 3-d spatial network analysis for GIS, CAD, Command Line & Python. *SoftwareX*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100525>
- Cooper, C. H. V., Harvey, I., Orford, S., & Chiaradia, A. J. F. (2021). Using multiple hybrid spatial design network analysis to predict longitudinal effect of a major city centre redevelopment on pedestrian flows. *Transportation*, 48(2), 643–672. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10072-0>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Agrawala, S., Bashmakov, I., Blanco, G., Broome, J., Bruckner, T., Brunner, S., & Bustamante, M. (2014). *Summary for policymakers*.
- Engels, F. (1845). The Condition of the Working Class in England. *Foreign Languages Press*.
- Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the built environment. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265–294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- Ewing, R., & Cervero, R. (2017). “Does Compact Development Make People Drive Less?” The Answer Is Yes. *Journal of the American Planning Association*, 83(1), 19–25. <https://doi.org/10.1080/01944363.2016.1245112>
- Fjellheim, K., Kallaos, Romundstad, R. M., Karlsson, H., & Korsbakken, J. I. (2021). Klimaeffektanalyseverktøy for kommuneplanens arealdel. *SINTEF Rapport*.
- Formolli, M., Schön, P., Kleiven, T., & Lobaccaro, G. (2024). Solar Accessibility in High Latitudes Urban Environments: A Methodological Approach for Street Prioritization. *Sustainable Cities and Society*, 103, 105263. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105263>.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 35–41.
- Fuglseth, M., & Resch, E. (2021). *FutureBuilt ZERO-T - kriterier for grønn mobilitet*. Asplan Viak, NTNU.
- Gehl, J. (1971). Life between buildings: Using public space Copenhagen. *Danish ArchiArchitectural*.
- Geonorge. (2023). Befolkning På Rutenett 250 m. <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/befolkning-paa-rutenett-250-m/>
- Guttu, J., & Schmidt, L. (2008). Fortett med vett. Eksempler fra fire norske byer. *Bergen, Husbanken Region Vest*.
- Hagen, O. H., Øksenholt, K. V., & Tennøy, A. (2017). Knowledge and means for urban development and densification. *TØI Report*, 1612/2017.
- Hatling, M. (2021). *Varelevering i urbane områder*. Norconsult.
- Hegsvold, K., Nenseth, V., & Wangsness, P. B. (2022). Klimamål og strategier i transportplanlegging i utvalgte land. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119314.
- Hillier, B. (1996). Cities as movement economies. *Urban Design International*, 1, 41–60.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1984). *The Social Logic of Space* (p. xiii+281). Cambridge: Cambridge

University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511597237>

Hillier, B., & Hanson, J. (1988). The social logic of space. *The Social Logic of Space*.

Hillier, W. R. G., Yang, T., & Turner, A. (2012). Normalising least angle choice in Depthmap - and how it opens up new perspectives on the global and local analysis of city space. *Journal of Space Syntax*, 3(2), 155–193.

Howard, E. (1898). *To-Morrow: A Peaceful Path to Real Reform*. Swan Sonnenschein & Co.

Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.

James, P., Berrigan, D., Hart, J. E., Hipp, J. A., Hoehner, C. M., Kerr, J., Major, J. M., Oka, M., & Laden, F. (2014). Effects of buffer size and shape on associations between the built environment and energy balance. *Health & Place*, 27, 162–170.

Knight, P. L., & Marshall, W. E. (2015). The metrics of street network connectivity: Their inconsistencies. *Journal of Urbanism*, 8(3), 241–259. <https://doi.org/10.1080/17549175.2014.909515>

Lausselet, C., Rokseth, L. S., Lien, S. K., Bergsdal, H., Tønnesen, J., Brattebø, H., & Sandberg, N. H. (2022). Geo-referenced building stock analysis as a basis for local-level energy and climate mitigation strategies. *Energy and Buildings*, 276, 112504. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112504>

Le Corbusier. (1933). *Ville Radieuse (Radian City)*.

Lindahl, A., & Lundblad, M. (2021). Kolförråd och kolsänka i skog och mark inom Stockholms stad. *Rapport Skog 2022:2. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå*.

Lindskog, M. (2012). Systems theory: Myth or mainstream? *Logistics Research*, 4, 63–81.

Manum, B. (2006). *Apartment layouts and domestic life: The interior space and its usability: A study of Norwegian apartments built in the period 1930-2005*. Arkitektur-og designhøgskolen i Oslo.

Manum, B., & Nordström, T. (2013). Integrating bicycle network analysis in urban design: Improving bikeability in Trondheim by combining space syntax and GIS-methods using the place syntax tool. *Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium*, 28, 1–14.

Manum, B., Nordström, T., Rokseth, L., & Schön, P. (2021). *ZEN Memo 35. Nye broer i Trondheim (WP-1)*.

Marcus, L. (2000). *Architectural Knowledge and Urban Form: The functional performance of Architectural Urbanity*, Theses at the School of Architecture, KTH, Stockholm.

Marcus, L. (2010). Spatial capital. *Journal of Space Syntax*, 1(1).

Marshall, S., Gil, J., Kropf, K., Tomko, M., & Figueiredo, L. (2018). Street Network Studies: From Networks to Models and their Representations. *Networks and Spatial Economics*, 18(3), 735–749. <https://doi.org/10.1007/s11067-018-9427-9>

Miljødirektoratet. (2023). *Arealbruksendringer* [Excel File].

Nasjonal vegdatabank (NVDB)—Dataportalen. (2023). NVDB. <https://dataut.vegvesen.no/dataset/nasjonal-vegdatabank>

Nordström, T., Kummel, L., Hernbäck, J., & Ståhle, A. (2014). *Sykkelnettet—Kartlegging av sykkelnettets kvaliteter og defekter*. Spacescape.

Nordström, T., Rokseth, L., Green, S., & Manum, B. (2020a). *ZEN Memo 19. Spatial indicators evaluation of Bodø-vest (WP-6)*.

Nordström, T., Rokseth, L., Green, S., & Manum, B. (2020b). *ZEN Memo 20. Spatial indicators evaluation of Sluppen (WP-6)*.

Nordström, T., Rokseth, L., Green, S., & Manum, B. (2020c). *ZEN Memo 21. Spatial indicators evaluation of KDP 3 Fornebu (WP-6)*.

Nordström, T., Rokseth, L., & Manum, B. (2021). *ZEN Memo 32. Spatial indicators Evaluation of Bodo Nyby (WP-6)*.

Oslo Kommune. (2019). Klimabudsjettet 2019: De viktigste Tallene. <https://www.klimaoslo.no/2018/09/26/klimabudsjettet-2019/>

Peponis, J., Bafna, S., & Zhang, Z. (2008). The connectivity of streets: Reach and directional distance. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(5), 881–901. <https://doi.org/10.1068/b33088>

Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2006). The network analysis of urban streets: A primal approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(5), 705–725. <https://doi.org/10.1068/b32045>

Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R. A., Betts, R., Kerr, R. B., & Biesbroek, R. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. IPCC.

QGIS Development Team. (2021). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <https://www.qgis.org>

Quattrone, G., Mashhadi, A., & Capra, L. (2014). Mind the map: The impact of culture and economic affluence on crowd-mapping behaviours. *Proc. ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work CSCW*, 934–944. <https://doi.org/10.1145/2531602.2531713>

Rokseth, L., Manum, B., & Nordström, T. (2019). Properties of urban form influencing carbon emissions: Implementing a GIS-based method. *12th International Space Syntax Symposium, SSS 2019*.

Rokseth, L. S., Heinen, E., Hauglin, E. A., Nordström, T., & Manum, B. (2021). Reducing private car demand, fact or fiction? A study mapping changes in accessibility to grocery stores in Norway. *European Transport Research Review*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00500-7>

Rokseth, L. S., Manum, B., & Nordström, T. (2019a). Assessing cities: Applying GIS-based methods for mapping cross-scale spatial indicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 352(1), 012055.

Sandberg, N. H., Lien, S. K., Lindberg, K. B., & Sartori, I. (2022). Mål om 10 TWh energisparing i bygningsmassen: Hvordan ligger vi an og hva er potensialet? *Praktisk Økonomi & Finans*, 38(1), 4–22.

Schlossberg, M., Greene, J., Phillips, P. P., Johnson, B., & Parker, B. (2006). School trips: Effects of urban form and distance on travel mode. *Journal of the American Planning Association*, 72(3), 337–346. <https://doi.org/10.1080/01944360608976755>

Schön, P., Heinen, E., Rangul, V., Sund, E. R., & Manum, B. (2024). The impact of street network connectivity on active school travel: Norway's HUNT study. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/23998083241235978>

Sevtsuk, A. (2021). Estimating Pedestrian Flows on Street Networks: Revisiting the Betweenness Index. *Journal of the American Planning Association*. <https://doi.org/10.1080/01944363.2020.1864758>

SGB Council. (2018). *Citylab Action Guide Version 2.0*.

Shatu, F., Yigitcanlar, T., & Bunker, J. (2019). Shortest path distance vs. Least directional change: Empirical testing of space syntax and geographic theories concerning pedestrian route choice behaviour. *Journal of Transport Geography*, 74, 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.11.005>

Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., Al Khourdajie, A., Van Diemen, R., McCollum, D., Pathak, M., Some, S., Vyas, P., & Fradera, R. (2022). Climate change 2022: Mitigation of climate change. *Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 10, 9781009157926.

Ståhle, A. (2008). *Compact sprawl: Exploring public open space and contradictions in urban density*. KTH.

Ståhle, A. (2010). More green space in a denser city: Critical relations between user experience and urban form. *Urban Design International*, 15(1), 47–67.

Ståhle, A., Wezelius, I., Lundin Kleberg, H., Rydell, M., & Gjertsen, S. (2016). Måta Stad. *En Guide*

till Forskningsdriven Stadsbyggnad. *Spacescape Report*.

Statens Vegvesen. (2023). *Bærekraftig bylogistikk Artikkelsamling fra Bylogistikkprogrammet (kap. 1 Bylogistikk og arealplanlegging)*.

Stavroulaki, G., Koch, D., Legeby, A., Marcus, L., Ståhle, A., & Berghauer Pont, M. (2019). *Documentation PST 20191122*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25718.55364>

Stead, D., & Marshall, S. (2001). The relationships between urban form and travel patterns. An international review and evaluation. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1(2).

Strand, G., & Bloch, V. (2009). Statistical grids for Norway. Documentation of national grids for analysis and visualization of spatial data in Norway. *Statistics Norway*, 9.

Tennøy, A., Skartland, E.-G., Knapskog, M., Gundersen, F., & Wolday, F. (2021). *Public transport and urban development: Improving public transport competitiveness versus the private car in small and medium-sized cities* (8248019020).

Thomas, L., & Cousins, W. (1996). The compact city: A successful, desirable and achievable urban form. *The Compact City: A Sustainable Urban Form*, 53–65.

UN Habitat. (2014). A new strategy of sustainable neighbourhood planning: Five principles. *Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme*.

Vale, D. S., Saraiva, M., & Pereira, M. (2016). Active accessibility: A review of operational measures of walking and cycling accessibility. *Journal of Transport and Land Use*, 9(1), 209–235. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2015.593>

Van Nes, A. (2002). *Road building and urban change: The effect of ring roads on the dispersal of shop and retail in western European towns and cities*. Agricultural University of Norway, Department of Land Use and Landscape Planning.

van Nes, A., & Yamu, C. (2021). *Introduction to space syntax in urban studies*. Springer Nature.

Venturi, R., Brown, D. S., & Izenour, S. (1977). *Learning from Las Vegas, revised edition: The forgotten symbolism of architectural form*. MIT press.

Wiik, M. R. K., Fjellheim, K., Vandervaeren, C., Lien, S. K., Meland, S., Nordström, T., Cheng, C. Y., Brattebø, H., & Thiis, T. K. (2022). Nullutslippsområde i smarte byer. Definisjon, nøkkelindikatorer og vurderingskriterier: Versjon 4.0. *ZEN Report*.

Wiik, M. R. K., Homaei, S., Lien, S. K., Fjellheim, K., Vandervaeren, C., Fufa, S. M., Baer, D., Sartori, I., Nordström, T., & Meland, S. (2022). ZEN-definisjonen – En veileder for ZEN-pilotområder. Versjon 3.0. Norsk. *ZEN Report*.

Wiik, M. R. K., Manrique Delgado, B., Meland, S., Karlsson, H., Rokseth, L. S., & Homaei, S. (2023). YDALIR. Testing av alle ZEN nøkkelindikatorer i en ZEN-pilot. *ZEN Report*.

Yi, L., Wilson, J. P., Mason, T. B., Habre, R., Wang, S., & Dunton, G. F. (2019). Methodologies for assessing contextual exposure to the built environment in physical activity studies: A systematic review. *Health & Place*, 60, 102226.



VISION:

**«Sustainable
neighbourhoods
with zero
greenhouse gas
emissions»**



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>