

Störningsfri Stad

Slutrapport i projektet Visualiserad byggtrafikplanering för en störningsfri stadsutveckling (Störningsfri stad)



Foto: Thor Balkhed, Linköpings universitet

Författare:

Anna Fredriksson, projektledare, biträdande Professor Stadsutveckling och Logistik, Linköpings universitet, ITN, KTS

Vangelis Angelakis, Professor Mobil Telekommunikation, Linköpings universitet, ITN, KTS

Daniel Eriksson, Forskningsingenjör, RISE, Teknologier för interaktion

Linnea Eriksson, Forskare, Statens Väg och Transportforskningsinstitut, VTI

David Gundlegård, Universitetslektor Datadriven transportanalys, Linköpings universitet, ITN, KTS

Nina Lemon, Interaktionsdesigner, RISE, Teknologier för interaktion

Jonas Löwgren, Professor Interaktions- och Informationsdesign, Linköpings universitet, ITN, KTS

Rasmus Ringdahl, Forskningsingenjör, Linköpings universitet, ITN, KTS

Ahmet Sezer, biträdande Universitetslektor Bygglogistik, Linköpings universitet, ITN, KTS

Sammanfattning

Störningsfri stad har kombinerat kunskaper inom Trafikplanering, Visualisering, Bygglogistik, Sensorer och Offentlig planering och styrning. Projektet har letts av Linköpings universitet, Institutionen för Teknik och Naturvetenskap och finansierats av Vinnova, IHS. Projektet har löpt mellan slutet av 2018 och 2021 ut. Projektdeltagare har varit VTI, RISE, Norrköpings kommun, Linköpings kommun, Stockholm stad, Uppsala kommun, Trafikverket Projekt Ostlänken, LE Lundbergs Fastigheter, Wiklunds Åkeri, Wellsec, SanktKors, Byggföretagen, Telenor och Logistikia.

Projektet har utvecklat en verktygsprototyp som stöttar kollaborativ planering av byggtrafik och stadsplanering genom att visualisera pågående byggprojekts sammanlagda mängd transporter och var i staden (i form av en kartvy) det uppstår störningar i form av förseningar pga dessa. Verktöget bygger på en MATSim trafikmodell (i nuläget Norrköping) inkluderande både persontransporter (modellerat baserat på mobilnätdata) och byggtrafik (modellerat baserat på data från bygglogistiklösningar). Med hjälp av verktöget kan olika scenarier för att minska störningarna av byggtransporter testas. För att stötta användandet av verktöget har en kollaborativ planeringsprocess som visar på hur de olika aktörerna involverade i planeringen av byggtransporter och stadsutveckling behöver interagera med varandra utvecklats. Projektet också deltagit i utvecklingen av en sensorbox (partiklar, luftfuktighet, temperatur och ljud) samt slangmätningsteknik för att öka kunskapen om byggtransporter. Baserat på de resultat som projektet har behövsägarna har påbörjat arbeten med att bättre hantera de störningar som uppstår pga byggprojekt i staden.

Måluppfyllelse

Att stötta planeringen genom att visualisera effekterna av olika scenarier för att minska störningarna från byggtrafik (i det här fallet förseningseffekter i stadens trafik) bidrar vi till att minska kostnaderna för att bygga nya hus och ny infrastruktur. Förbättrad planering gör att tiden för avstängningar kan kortas, med upp till 20% visar tidigare forskning. Vidare bidrar vi med en möjlighet att se hur man kan använda olika former av bygglogistiklösningar genom att man i verktyget kan testa scenarier för leveransfönster, rutter och samordning av transporter till flera projekt. I projektet har vi tagit ett vitt grepp om störningar. En viktig orsak till detta är att byggtransporter skapar störningar inte enbart för biltrafikanter utan också för det som kallas tredje man i form av trafikolyckor, damm och buller. En annan typ av störning som byggtransporter skapar som vi har identifierat i projektet är förlorade inkomster, förlorad tid och att tillgången till bredband och liknande går ner. T.ex. kan byggtransporter och avstängningar pga dessa göra det svårt att få fram leveranser till affärer och kaféer men också att kunder väljer andra vägar eller inte hittar parkering och att man på sätt går miste om affärsmöjligheter. Byggtransporter rör också upp mycket känslor hos många och det i sin tur påverkar arbetsmiljön hos kommunens ansvariga för infrastruktur och trafikplanering. Att alla dessa aktörer bättre kan förstå effekterna av byggtransporter möjliggör att man kan vidta rätt åtgärder så att effekterna blir mindre, men också att kommunens ansvariga kan visa på att man försöker förbättra situationen. Vi tar inte längre för givet att byggtrafik måste skapa störningar och det svar som ges är att det blir bättre sen, med hjälp av verktyget och processerna från detta projekt skapas möjligheten att göra skillnad.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
Måluppfyllelse.....	4
Innehållsförteckning.....	5
Inledning.....	6
Resultat och förväntade effekter - utfall.....	8
Övergripande sammanfattning av resultaten (500 tecken).....	8
En metodik för att uppskatta byggtrafikflöden.....	8
Modeller för att estimerar byggtrafikpåverkan i staden baserade på olika data källor	10
IoT modell och sensorer	10
Trafiksimulering och byggtrafik.....	14
Visualiseringsprototyper för att utforska olika byggtrafik och trafikadministrations scenarier	16
Input till att förbättra olika policydokument och processer inom stadsplanering och trafikplanering	17
Problem och behov	17
Processer och policy implikationer	20
Upplägg, genomförande och analys	24
Prototyputvecklingen.....	24
Projektets delarbetsområden.....	26
Användarperspektiv.....	26
Datainsamling.....	27
Modellering	28
Publikationer och presentationer	29
Måluppfyllelse och fortsatt arbete	32
Slutsatser och fortsatt arbete.....	33
Referenser.....	35
Bilagor.....	37

Inledning

Ambitionen med projektet Störningsfri stad har varit att demonstrera fördelarna och användbarheten i interaktiv visualisering för att utforska olika beslutsscenario inom stadsplanering, byggtrafikplanering och bygglogistik. Störningsfri stad har kombinerat kunskaper inom Trafikplanering, Visualisering, Bygglogistik, Sensorer och Offentlig planering och styrning. Projektet har letts av Linköpings universitet, Institutionen för Teknik och Naturvetenskap och finansierats av Vinnova inom Innovationer för ett hållbart samhälle. Projektet har löpt mellan 2018 och 2021. Projektdeltagare har varit VTI, RISE, Norrköpings kommun, Linköpings kommun, Stockholm stad, Uppsala kommun, Trafikverket Projekt Ostlänken, LE Lundbergs Fastigheter, Wiklunds Åkeri, Wellsec, SanktKors, Byggföretagen, Telenor och Logistikia.

Trots att vi vet att det inte är så, tenderar vi att förhålla oss till byggprojekt som en tidsbegränsad störning: ”Det blir bättre sen när det är klart”. Detta är inte sant, eftersom samhället ständigt utvecklas. Att detta sker utan störningar är av vikt för stadens attraktivitet. Kommunerna (behovsägarna) uttrycker ett behov av ökad kunskap om vilken ordning saker ska göras, hur byggtrafik ska planeras samt vilka krav kan ställas på bygglogistik; så att mobilitet och tillgänglighet säkras under byggtid.

Bygglogistik innefattar att på ett effektivt sätt planera och styra materialflöden från, på och till byggarbetsplatsen. I ett husbyggnadsprojekt står inköpt material för ca 30-40% av byggkostnaden och i allmänhet får ett husbyggnadsprojekt 2-10 materialleveranser per dag motsvarande 8-10 ton material (Guerlain et al., 2019), Läger vi då på byggprojekt 1, 2, 3,...,n så ökar den totala trafikmängden. Transporterna i ett byggprojekt motsvarar ca 10% av CO₂-utsläppen från produktionsfasen (Sezer och Fredriksson, 2021b). I infrastrukturprojekt står transporterna för ca 16% av utsläppen (Chang och Kendall, 2011) och fyllnadsmaterial utgör den största delen av antalet tonkm som transporteras på vägarna i en region. Bara i Stockholmsregionen genereras mellan 5 och 15 miljoner ton massor varje år (Dalenstam, 2015). Läger man därtill att det enligt Byggfakta pågår ca 43 000 projekt samtidigt i Sverige, så gör det att sammantaget står byggtransporterna för ca 50% av de urbana godstransporterna i Sverige (Trafikanalys Statistik, 2020) och runt 20% av den totala transporterade vikten i Sverige (Sveriges Byggindustrier, 2010).

Byggtransporterna måste därtill dela väginfrastrukturen med övriga användare och denna ytterligare trafikbelastning ökar köer och förseningar i samhället i övrigt (Behrends et al., 2008). Den ordinarie trafikbelastningen i en stad består av biltrafik, kollektivtrafik, ordinarie godstransporter, cykeltrafik och gångtrafikanter, men också parkeringsutrymmen, busshållplatser etc. Det gör att byggtransporterna inte bara skapar egna utsläpp utan också genom sin blotta mängd och närvaro skapar ytterligare utsläpp (Zernis, 2021). Dessutom, med avstängningar och trafikomläggningar så minskas kapaciteten i existerande infrastrukturlänkar i staden. Så; det uppstår en konfliktsituation under byggtid av ett byggprojekt. Kapacitetsbehovet ökar samtidigt som tillgängligheten begränsas kraftigt. Konfliktsituationen uppstår p.g.a. bristande överblick över kombinationen av ordinarie trafikbelastning och byggtransporterna samt deras effekter och bristande koordinering av byggtransporter mellan och inom projekt i samma stad samt mellan myndigheter, byggherrar och byggprojekt. Kommunerna är naturligtvis medvetna om vad som planeras, men det saknas stöd för att

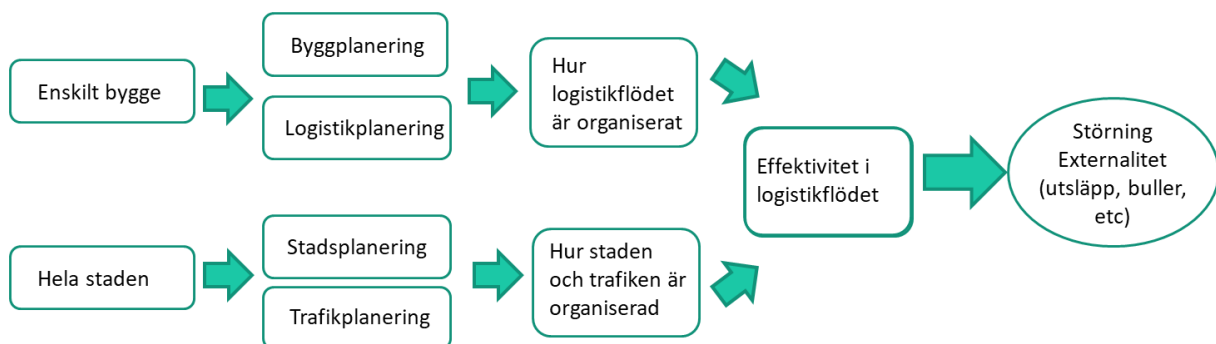
konsekvens bedöma summan av kommande och pågående byggprojekt på systemet staden. Det som görs omfattar oftast bara slutresultatet, hur staden fungerar när den är ”färdig

Det finns gott om finansiella, policy och organisatoriska barriärer som hindrar förändring i form av de många aktörerna, de långa tidsramarna och att bygglogistik är en relativt okänd fråga (Langley, 2016). Bygglogistik har visserligen alltid funnits men är en LPP-fråga (löses på plats). Denna ur byggprocessen sett sena hantering gör att man missar systemansatsen, istället bör man tidigare involvera fler aktörer och under stadsplaneringsprocessen öppna upp för nya innovativa sätt att hantera byggtrafik och bygglogistik. För att förändring ska ske så krävs att de aktörer som kan ställa krav ställer krav (myndigheter, beställare och entreprenörer), att effekterna av att ställa kraven blir kända och hur man på ett effektivt sätt implementerar bygglogistiklösningar beskrivs. Att möjliggöra detta nya arbetssätt kommer att ta beslutsfattandet gällande stadsplanering, byggtrafikplanering och bygglogistik till nya banbrytande nivåer.

Baserat på ovan vet vi att det finns en mycket stor potential i att drastiskt minska störningarna från byggbranschen genom förbättrad planering av bygglogistik i staden. Idag finns dock endast enstaka pusselbitar eftersom vi saknar data och ett verktyg som ger en överblick av hela systemet samt kunskap hos politiker, beställare, entreprenörer och transportörer kring vilka möjligheter man har att påverka byggtransporterna.

Syftet med projektet har varit att utveckla kunskap och kompetens inom FoI-miljön vid Campus Norrköping (LiU och RISE) som möjliggör att utvecklingen av ett planeringssystem för att visualisera trafikpåverkan av genomförandeplaner och trafikanordningsplaner i stadsplaneringen. Konkret skulle resultera i:

- 1) En metodik för att uppskatta byggtrafikflöden
- 2) Modeller för att estimerar byggtrafikpåverkan i staden baserade på olika data källor
- 3) Visualiseringsprototyper för att utforska olika byggtrafik och trafikadministrations scenarier
- 4) Input till att förbättra olika policydokument och processer inom stadsplanering och trafikplanering



Figur 1: En illustration av målet med projektet, att jämk samman trafikplanering för staden med logistikplanering för byggprojekten

Resultat och förväntade effekter - utfall

Först kommer en kort summering av resultaten på övergripande nivå, därefter går vi in på en mer detaljerad nivå kring det som projektet konkret utlovade att resultera i.

Övergripande sammanfattning av resultaten

Projektet har varit följt tidplanen och levererat de milstolpar som var planerade i projektet. Projektet har utvecklat en prototyp i form av ett verktyg för att stötta kollaborativ planering av byggtrafik och stadsplanering. Verktöget visar på pågående projekt, deras sammanlagda mängd transporter och var i staden (i form av en kartvy) det uppstår störningar i form av förseningar. Verktöget bygger på en visualisersingsvy och en matsim trafikmodell (i nuläget Norrköping) inkluderande både persontransporter (modellerat baserat på mobilnätdata) och byggtrafik (modellerat baserat på data från bygglogistiklösningar). Vidare kan man i verktöget testa olika scenarier för att minska störningarna av byggtransporter, såsom att flytta ett projekt i tiden eller att styra byggtrafiken på dygnsnivå. I projektet har identifierats att detta verktyg fyller ett behov ute hos kommunerna och att det är kommunerna som är framtida ägare av verktöget. Projektet har också bidragit med att ta fram en metodik för att beräkna mängden transporter som genereras per fas i ett byggprojekt. För att stötta insamlingen av data för att fånga in störningarna byggtransporter skapar har vi tagit fram en IoT modell som visar på kopplingen mellan datakällor (sensorer och system), data och störning. Vidare har vi för att stötta användandet av verktöget tagit fram en kollaborativ planeringsprocess som visar på hur de olika aktörerna behöver interagera med varandra för att kunna dra nytta av verktöget och påverka byggtransporternas störningar. För att underlätta insamlingen av data har projektet också deltagit i utvecklingen av en sensor box (partiklar, luftfuktighet, temperatur och ljud) samt slangmätningsteknik för att samla in antalet transporter till och från byggarbetsplatsen. Till sist har projektet också deltagit i försöken att sonifiera en byggarbetsplats som ett sätt att stötta visualiseringen av störningarna. Baserat på de resultat som projektet har genererat har också flera nya forskningsmöjligheter identifierats och behovsägarna har påbörjat arbeten med att bättre hantera de störningar som uppstår på byggprojekt i staden.

En metodik för att uppskatta byggtrafikflöden

Först har vi i Sezer och Fredriksson (2020) och Sezer och Fredriksson (2021a) identifierat mängden transporter ett byggprojekt genererar per kvadratmeter baserat på data från 13 olika projekt. Datan kommer från bokningskalendrar och registrerade grindpassager. Här är det viktigt att veta att datakvaliteten har varit låg, dvs det finns stora osäkerheter om alla byggets transporter finns med i bokningskalender, det saknas information om transporterna och det finns inte transporter för hela byggtiden samlad i bokningskalendrarna. Dock ska tydligt sägas att det som har gjorts av Sezer och Fredriksson är några av de första beskrivningarna och analyserna av byggtransportmönster och därför, även om kvaliteten på data är tvivelaktig, så har resultatet ett stort värde för hela byggbranschen i Sverige men även internationellt. De publicerade artiklarna har redan fått en betydande spridning inom forskningsvärlden men också inom bygglogistikbranschen i Sverige.

I Sezer och Fredrikssons arbete har byggprojekten delats upp i kvartiler eftersom arbetet i de olika kvartilerna genererar olika typer av transporter. T.ex. har man i början av ett projekt mycket schakt som körs med schaktbilar medan i slutet har man kompletteringsmaterial som

ofta kommer på pall i vanliga lastbilar. Här introduceras också hur olika transporter påverkar turnaround tiderna på arbetsplatesen, dvs hur lång tid det tar innan de åter är ute i trafiken (tiden för att lossa eller lasta). Projekten har varit av olika slag, men har alla använt sig av en bygglogistiklösning i form av en terminal och en checkpoint i kombination med varandra.

Project (n=13)	Transports/m ²				Turnaround/m ²			
	0–25%	26–50%	51–75%	76–100%	0–25%	26–50%	51–75%	76–100%
A			0.02				0.008	
B		0.288				0.479		
C			0.519	0.556			0.577	0.643
D			0.065				0.010	
E		0.298	0.202			0.790	0.302	
F	0.080				0.115			
G		0.119				0.167		
H		0.119				0.139		
J		0.285				0.287		
K		0.006				0.026		
L	0.011				0.011			
M	0.098				0.058			
N		0.107	0.130			0.146	0.164	
Average	0.063	0.175	0.187	0.556	0.062	0.291	0.230	0.643

Figur 2: Transporter och turnaround tider per m² (Sezer och Fredriksson, 2021a)

Baserat på de första resultaten gällande byggtransporter per kvadratmeter, har vi i Sezer och Fredriksson (2021b) arbetat vidare med ett större dataset, 40 projekt, från två olika typer av bygglogistiklösningar. Dels den lösning som användes i första steget, dels data från en lösning enbart baserad på en checkpoint. Baserat på dessa 40 olika projekt har vi kunnat estimerat antalet byggtransporter per kvadratmeter fördelat på fyra olika faser, se figur 3.

Projects	Transports/m ²			
	0–25%	26–50%	51–75%	76–100%
1	-	-	-	0.062
2	-	-	-	0.134
3	0.002	0.012	0.024	-
5	-	-	-	0.098
6	-	-	-	0.288
9	-	-	0.020	-
11	-	-	0.519	0.556
12	-	-	0.065	-
13	-	0.298	0.202	-
14	0.023	0.068	0.112	-
16	-	-	0.064	-
17	-	-	0.030	-
18	0.011	0.028	0.067	0.020
19	-	0.119	-	-

20	0.027	0.083	0.150	0.044
21	0.023	0.052	0.150	0.036
22	-	0.019	0.070	0.025
23	-	0.119	-	-
24	-	0.285	-	-
26	0.098	-	-	-
27	-	-	0.052	-
28	-	-	0.157	-
29	0.051	0.111	0.229	-
30	-	0.143	0.196	0.101
31	0.015	0.112	0.446	0.180
32	0.018	0.132	0.165	0.064
33	-	0.288	-	-
34	-	0.052	0.067	0.040
36	-	-	-	0.045
37	-	-	-	0.076
38	-	0.107	0.130	-
39	-	-	0.152	-
40	-	0.068	0.130	0.141
Average	0.030	0.116	0.145	0.119

Figur 3: Transporter per m2 (Sezer och Fredriksson, 2021b)

Arbetet med turnaround tider och transporter per m2 har sedan verifierats i Andersson och Sjöblom (2021), vilka också har identifierat lossningstiderna i mer detalj och därmed förbättrat kunskaperna om turnaround tiderna.

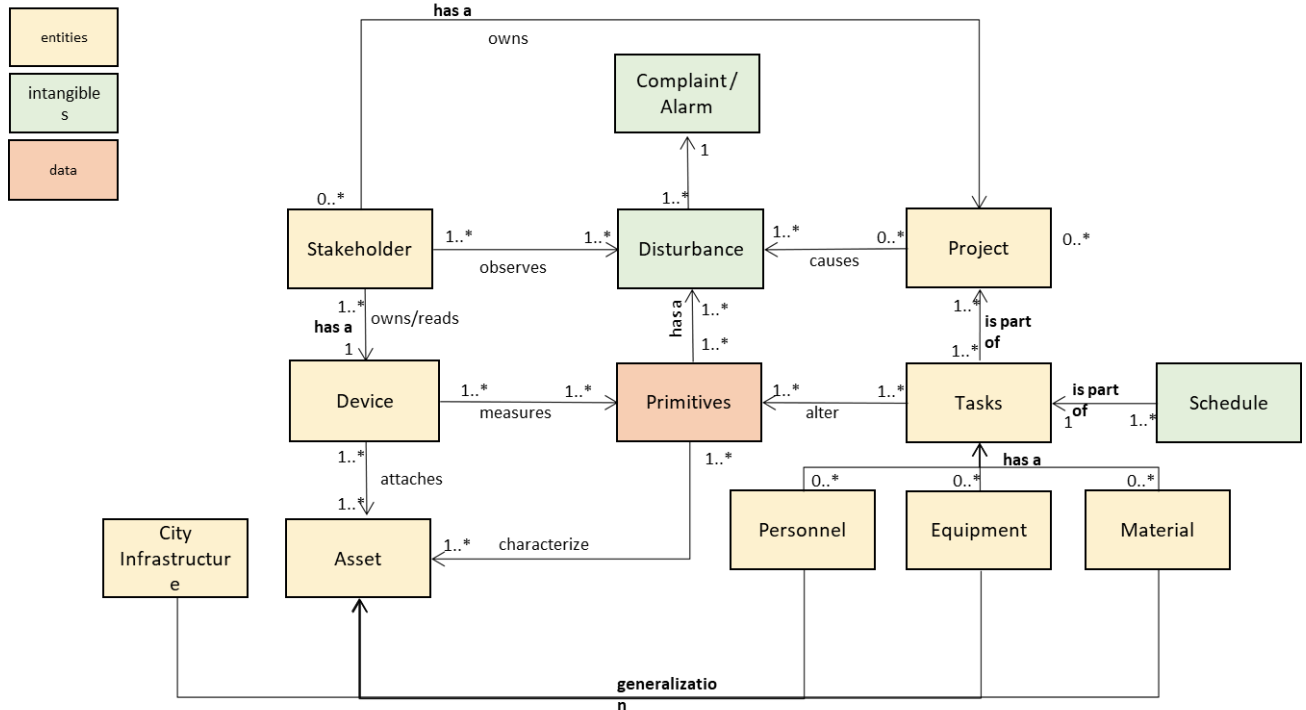
För att få en bild av hur de som arbetar på byggarbetsplatsen påverkar trafiken i staden har vi också genomfört en resvaneundersökning tillsammans med Ebbeparkprojektet i Linköping och Norra Djurgårdsstadsprojektet i Stockholm.

Modeller för att estimerar byggtrafikpåverkan i staden baserade på olika data källor

Projektet har arbetat med tre olika former av modeller, en IoT modell, en trafiksimuleringsmodell baserad på mobilnätdata och en byggtrafikmodell.

IoT modell och sensorer

IoT modellen är en konceptuell modell, en domänmodell, som ämnar att fånga kontexten av en stad som behöver identifiera störningarna som skapas av ett eller flera byggprojekt. Den är därmed en struktur som länkar störningar till datakällor (sensorer och planeringssystem) och därmed etablerar karaktärisering och tolkning. Modellen är baserad på UML notation, där UML är ett standard språk för att specificera, visualisera, konstruera och dokumentera artefakterna i ett mjukvarusystem. Det är baserat på tre koncept; entiteter som korresponderar till fysiska objekt, immateriella objekt såsom en mått på något som t.ex. kan vara en störning och data som är värden vilka karaktäriserar det immateriella objektet. IoT modellen som har utvecklats i Fredriksson et al. (2021) presenteras i figur 4.



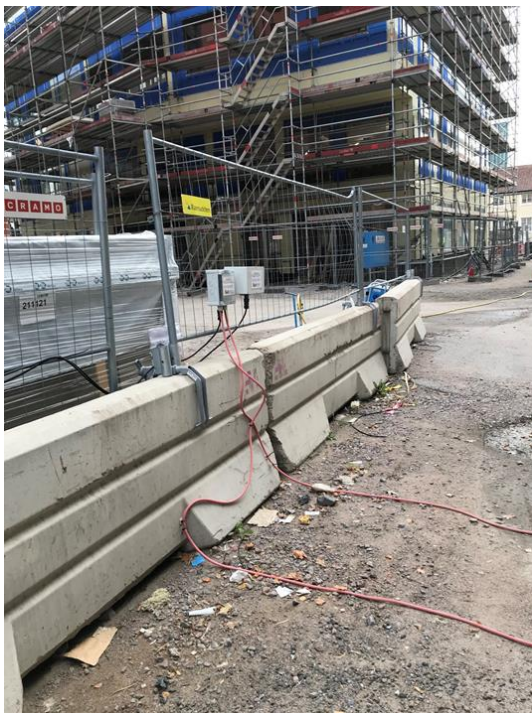
Figur 4: IoT modellen för en störningsfri stad, länkar datakällor till störningar (Fredriksson et al., 2021)

En stor problematik i projektet har varit att få tag i data, därför har vi utvecklat (delvis i detta projektet och delvis i annat) och använt två olika former av sensorenheter för att samla in data, en sensorbox och slangmätningseenhet. Sensorboxen inkluderar sensorer för luftfuktighet, partiklar, ljud och temperatur. Utvecklingen och testningen av denna har delats mellan detta projektet och projektet Testbädd Kungsgatan. I det här projektet har fem sensorboxar monterats upp i EbbePark tillsammans med SanktKors (se figur 5). Dessa har testats och validerats. Vi har identifierat vad som är specifikt med att använda sensorboxar i byggmiljön, såsom att det är svårt att montera, hitta el och att de kan flytta på sig. För ytterligare beskrivningar se (Rönnerberg et al., WIP).



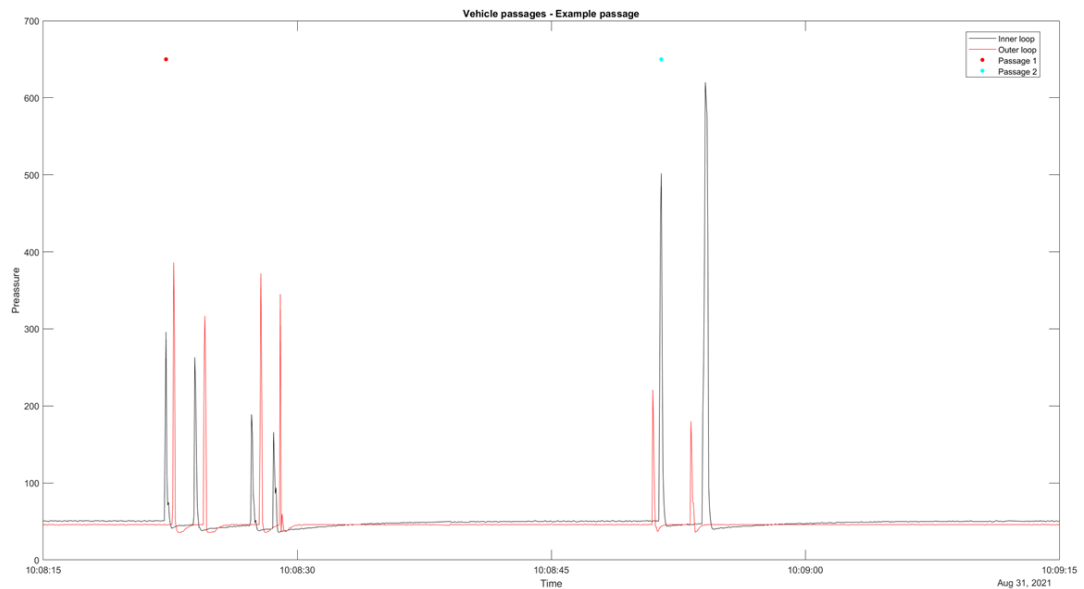
Figur 5: Lokaliseringen av de fem sensorboxarna i EbbePark, Linköping. Bakgrundskarta SanktKors AB.

Vidare har vi också för att kunna samla in data kring antalet transporter som anlöper en byggarbetsplats utvecklat en slangmättningsenhet. Denna har också testats i EbbePark, se figur 6 för monteringen.

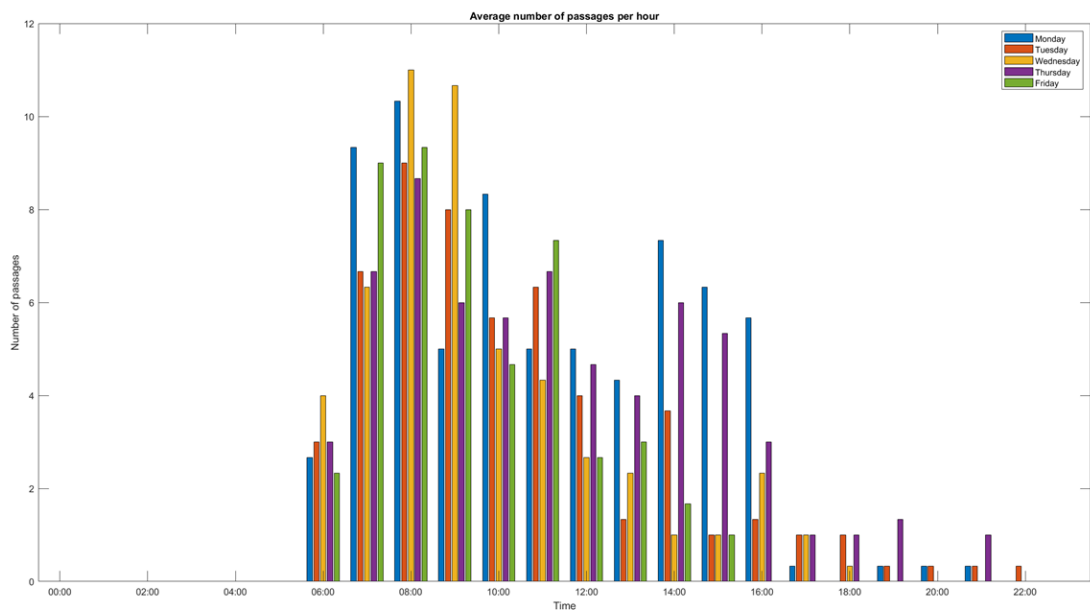


Figur 6: Monteringen av slangmättningsenheten i EbbePark, Linköping.

Figur 7 visar den typ av data som fås av slangmätningseenheten och figur 8 visar hur vi kan omvandla den till antalet passager per timme. Detta är ett värdefullt komplement till den data som kan fås via bokningssystemen som använts i Sezer och Fredriksson (2021a, b). Detta är också en innovation som möjliggör mätning av passager till och från byggarbetsplatser på ett billigt och tillförlitligt sätt. Vi ser en stor potential i att detta kan komma att kommersialiseras.



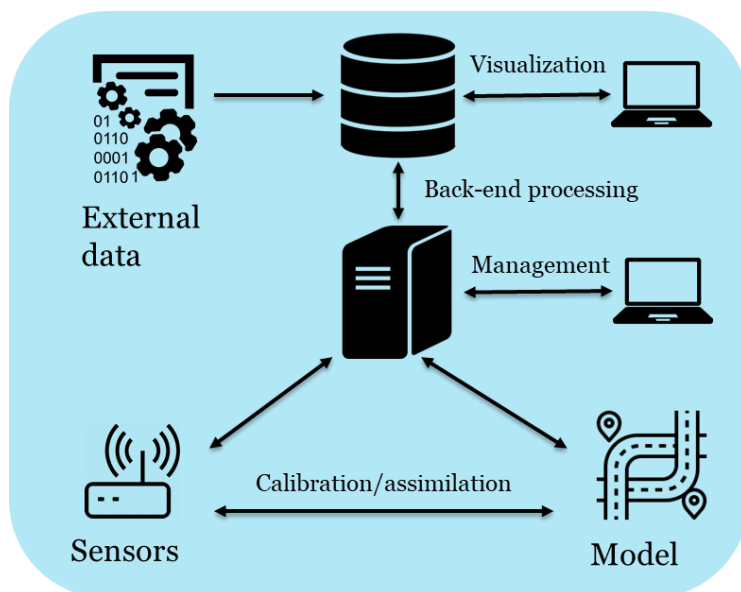
Figur 7: Exempel på data som fås med slangmätningseenheten.



Figur 8: Exempel på hur datan från slangmätningseenhete kan omvandlas till antalet passager per timme.

Trafiksimulering och byggtrafik

En central del i verktyget är en geodatabas som integrerar olika typer av modeller och delprocesser. Figur 9 beskriver kopplingen mellan databasen, externa datakällor, sensordata och modeller. Databasen innehåller all data som behövs för simulering av ett specifikt scenario, exempelvis vägnät, data om byggprojekten, antalet byggtransporter för valda byggprojekt, resor till och från byggprojektet, efterfrågan på resor för övriga staden. Simuleringsmodellen hämtar all data från databasen och genererar utdata i form av antal byggtransporter och total fördröjning per väglänk som därefter visualiseras i det kollaborativa verktyget.



Figur 9. Koppling mellan verktygets geodatabas, visualisering, externa data, sensorer och modeller. Modellerna inkluderar både modellering av byggtrafik och trafikantbeteende.

Prototypens simulering scenarier inkluderar sex byggarbetsplatser i Norrköping.

Byggarbetsplatserna är planerade eller pågående byggprojekt i Norrköping och efterfrågan på transporter för dessa skattas med hjälp av data från tidigare byggprojekt.

För att kunna modellera byggtransporternas störningar i staden behöver den totala efterfrågan för en byggfas fördelas i tid och rum. Då vi har haft svårt att få tag på data om fördelningen mellan långväga och lokala transporter har vi baserat på erfarenhet uppskattat fördelningen som 50/50 och av de långväga kommer 40 % från E4 norrifrån, 40 % från E4 söderifrån och 20 % från E22. För de lokala transporterna valdes tre olika lokala byggmaterialleverantörer med lika fördelning som utgångspunkt.

Gällande fördelningen i tid så behöver den totala skattningen av transporter under en byggfas fördelas per dag och tid på dagen. Vi har haft lite data som beskriver hur byggtrafiken varierar mellan olika dagar och skattningen blir därför osäker. I projektet har tre olika "worst case"-scenarios tagits fram baserat på hur stor andel av transporterna som förväntas utföras en specifik dag. De tre olika scenariona genererar 152, 458 och 1404 transporter per dag för de sex byggprojekten, där det sista scenariot är tämligen osannolikt, men kan ge en bild av effekterna om fler byggen inkluderas i analysen.

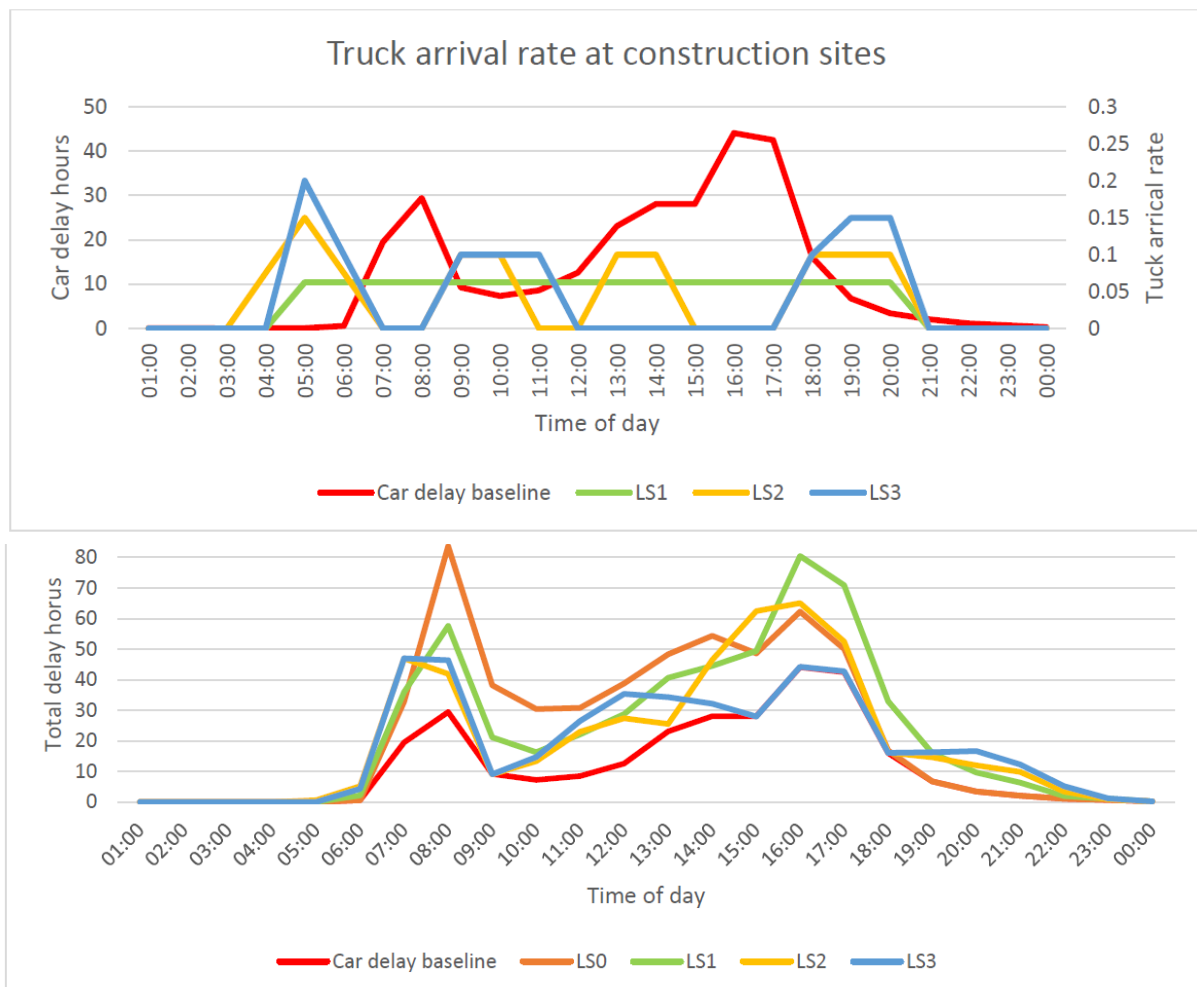
Modelleringen av trafikantbeteende och total fördröjning har gjorts i den aktivitetsbaserade trafikmodellen MATSim. Till denna modell har dataseten för de sex byggprojekten adderats. Utdata från simuleringarna har varit total fördröjning för biltrafiken i Norrköping.

Resultatet för de tre scenarierna visas i tabell 1 och indikerar att ganska osannolika kombinationer av fördelningen mellan dagar för de olika projekten krävs för att få en större påverkan på den totala fördröjningen i staden. Ytterligare data behövs för att kunna göra bättre skattningar av fördelningen av transporter mellan olika dagar i en byggfas.

Tabell 1 – Summering av föreningsnivåerna för bilar på hela nätverket (HGV står för tunga lastbilar)

Scenario	Bilar	152 HGV	458 HGV	1404 HGV
Total förseningstimmar	1314	1410.7	1623	2351.26
Ökning för bilar	-	7.4%	23.5%	78.9%

Som förväntat blir fördröjningen störst under högtrafikperioder för den övriga trafiken i staden. Dygnsprofilen för leveranser till byggprojekten har skattats från tidigare projekt och för att analysera möjliga effekter av alternativa logistiklösningar har olika tidsprofiler för leveranserna utvärderats. Olika dygnsprofiler motsvarande en jämn fördelning under dagen samt två off-peak-leveranser med motsvarande fördröjning visas i figur 10.

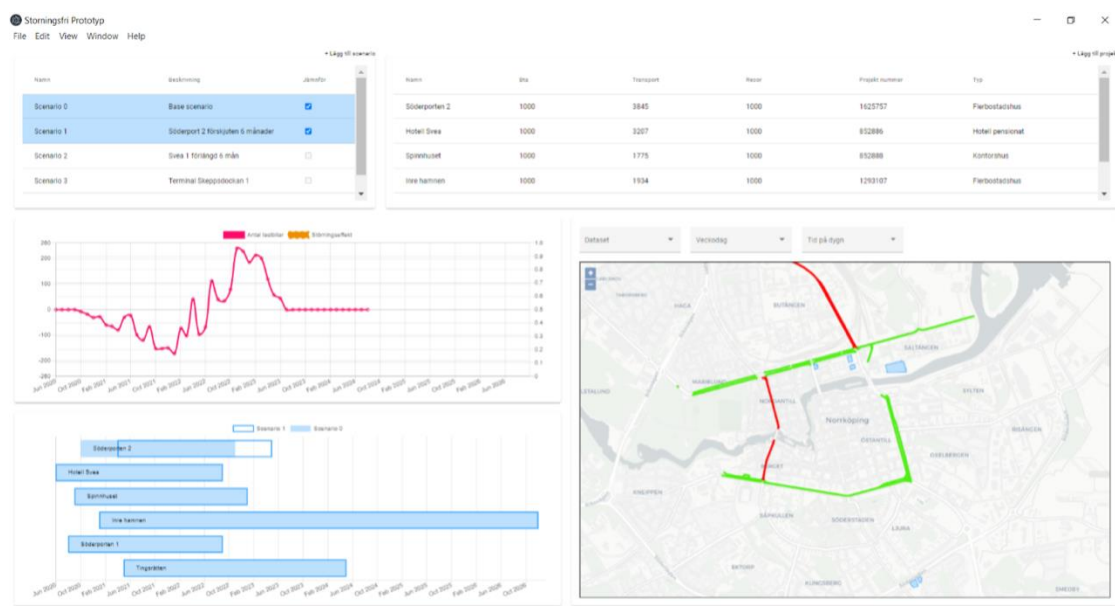


Figur 10: Dygnsfördelning av leveranser till byggen (ovan) samt motsvarande trafikfördröjning (nedan).

För en mer detaljerad beskrivning av trafikmodellen och antaganden för olika scenarios hänvisas till (Zernis, 2021).

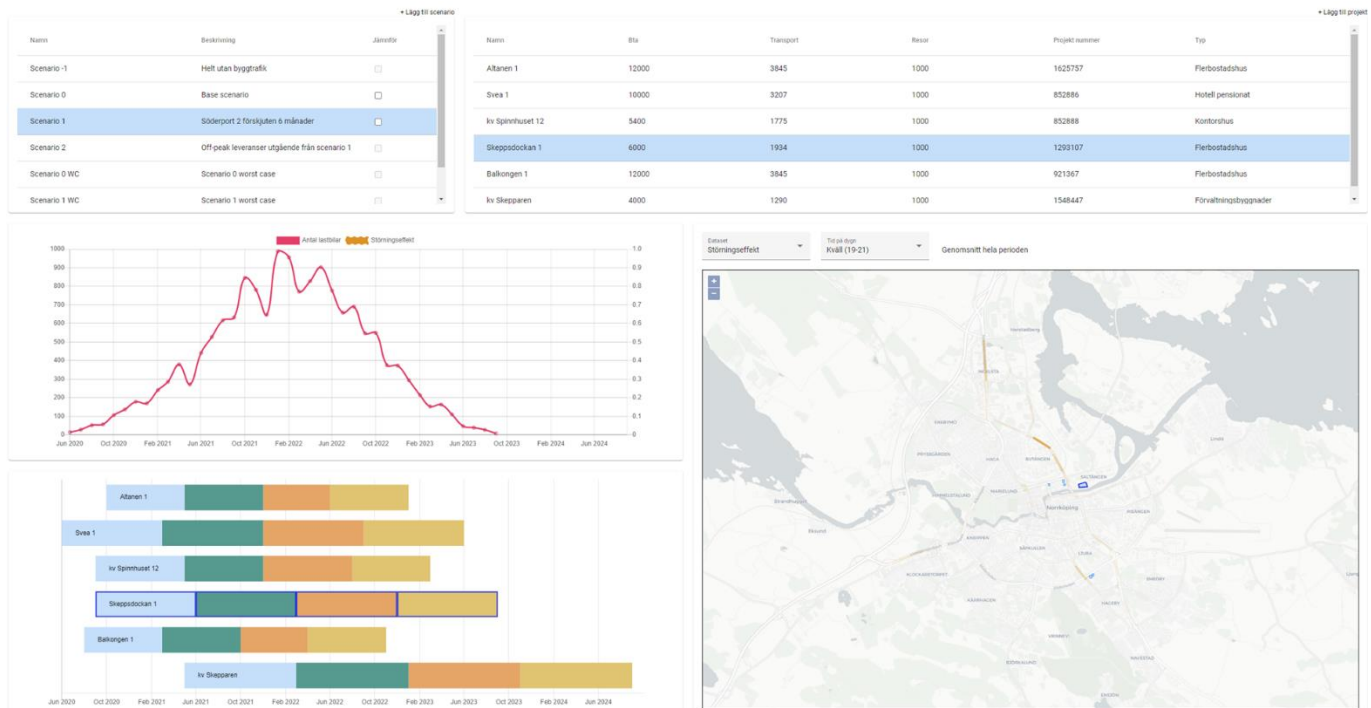
Visualiseringsprototyper för att utforska olika byggtrafik och trafikadministrations scenarier

Under projektets gång har vi utvecklat två prototyper av verktyget som har testats i workshopmiljö och utvärderats med hjälp av intervjuer. Figur 11 visar visualiseringsgränssnittet för den första prototypen och figur 12 för den andra. Hela processen för framtagning av prototyperna kommer att publiceras i Fredriksson, Eriksson, Eriksson, Lemon och Löwgren (WIP).



Figur 11: September 2020 prototyp v1

Den första prototypen fungerade i princip som tänkt, med förmågan att utforska och jämföra olika scenarier för hur den kombinerade effekten av flera olika samtidigt pågående byggprojekt (övre högra delen) påverkar trafiken i staden som helhet (nedre högra delen). När två scenarier är valda (övre vänstra delen) så ändras kartvyn, effekterna i form av antalet fordon i relation till ett basscenario. Basscenarioet är baserat på den fördelning av byggtrafik som vi kan se då inga åtgärder görs (50% av alla fordon innan kl. 09:00, se Sezer och Fredriksson (2020)). I bilden jämför vi scenario 1 (där projekt Söderporten har senarelagts) med scenario 0 (som är basscenarioet). Vi kan se hur det resulterar i färre transporter från februari 2021 till juni 2022, men sedan fler fram till juni 2023. Vi kan också i kartvyn se hur trafiksituationen påverkas genom färgmarkeringar där färgerna indikerar varierad störningseffekt.



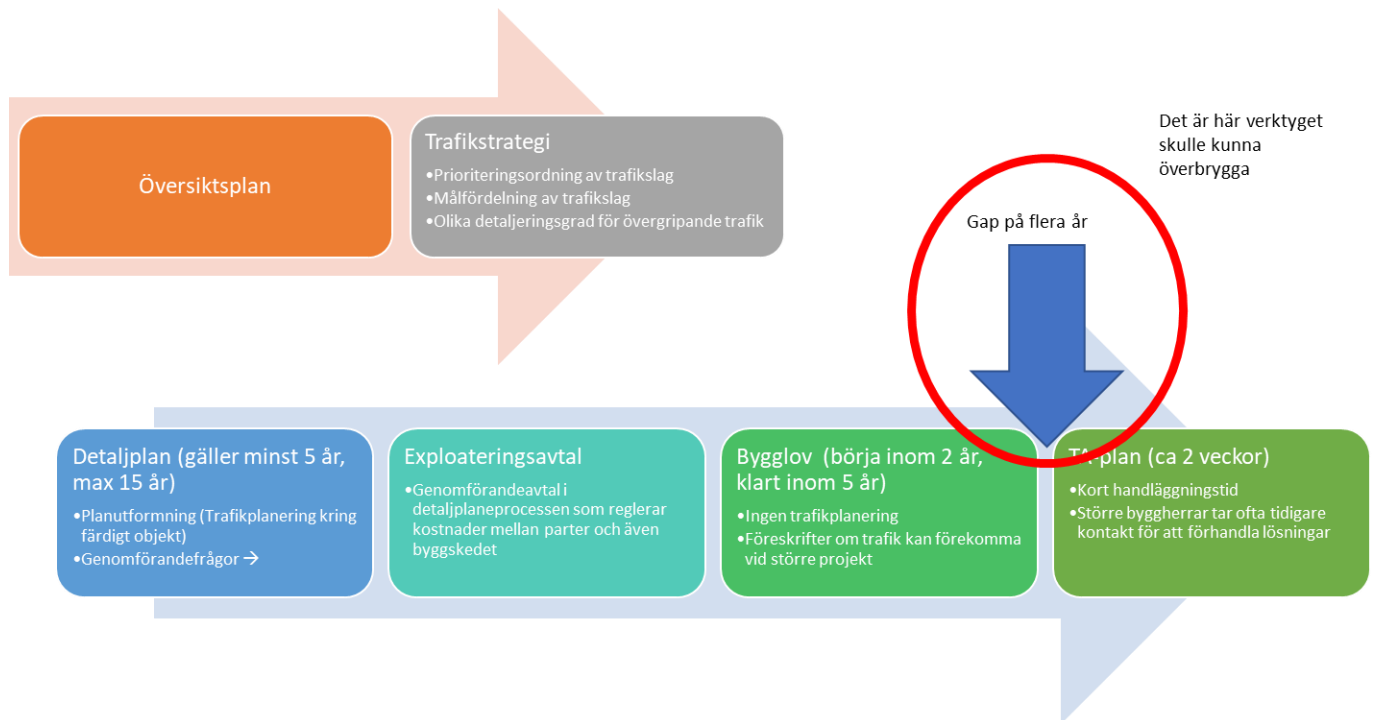
Figur 12: Den andra prototypen december 2021

En viktig uppdatering till den andra prototypen gäller data som används, här introduceras möjligheten att se olika faser i byggprojektet och att dessa genererar olika mängd transporter. En annan viktig uppdatering är att det går att fokusera på valda tidsintervall inom planeringen. Dock är den viktigaste uppdateringen planeringsscenarion. Även om bilderna visar samma scenario, när vi flyttar tiden för projektstart så är scenarierna mer detaljerade. Till exempel har vi introducerat scenarier för off-peak leveranser och bygglogistiklösningar såsom terminal och check-point. På så sätt bidrar denna prototyp med att visa hur vår samverkansansats mellan olika professioner (akademiskt och praktiskt) behöver integreras för att kunna påverka byggtransporternas störningar.

Input till att förbättra olika policydokument och processer inom stadsplanering och trafikplanering

Inom detta område har vi arbetat i två steg, först att identifiera problem och behov och sedan hur dessa kan lösas genom processer och policies.

Problem och behov



Figur 13: Planeringsgapet som finns gällande byggtrafik inom kommunerna idag

En fullständig presentation av planeringsgapet och möjliga lösningar för detta kommer att publiceras i Eriksson, Fredriksson, Lemon och Löwgren (framtida publicering). Vi har identifierat att det finns ett planeringsgap på flera år och mellan olika administrativa gränser, såsom kommunens organisation för transportplanering i översikt- och detaljplan respektive organisationen för trafikplanering i det mer operativa arbetet. Planeringsgapet spänner mellan planeringen av stadens struktur och trafik just nu och planeringen av den nya strukturen och trafiken i staden när det är färdigbyggt, se figur 13 (ovan). Detta innebär att det under många år, under själva byggskedet, är fokus på ett antal tillfälliga lösningar för stadsstrukturen och trafiken. För dessa lösningar råder liten eller ingen planering och den lilla planering som sker har väldigt kort framförhållning, omkring 5 dagar till två veckor. Här uppstår en fråga: Vad är det som olika aktörer inom kommunen behöver se och veta för att kunna göra detta planeringsgap synligt för beslutfattare och andra organisationer och därmed bättre kunna hantera det?

Gapet har extra stora konsekvenser när det gäller större infrastrukturprojekt såsom t.ex. för arbetet med projekt Ostlänken. För dessa projekt befinner sig både Trafikverket och kommunerna i limbo. Trafikverket utreder och utreder och regeringen fattar inga skarpa beslut. Kommunen å sin sida inväntar skarpa beslut innan de börjar agera och nödvändiga förberedelseåtgärder för att kunna genomföra projektet på ett effektivt sätt försenas. Kommunala politiker vågar inte fatta "osäkra beslut". Vilket i sin tur leder till att det ökar risken för att Trafikverkets arbete försenas och fördröjas. Planeringen försvåras ytterligare av oklara krav och en tro att endast exakta och säkra siffror får kommuniceras. För att kunna planera behöver kommunen veta siffror och då är osäkra siffror bättre än inga, men Trafikverket har svårt att gå de till mötes. Dessutom har Trafikverket fokus på massor och framdriften av projektet medan kommunen har ett fokus på medborgarnas behov av tillgänglighet och framkomlighet.

För att lösa ovan beskrivna problem behöver vi skapa en gemensam bild av problemet, visa att det går att planera utan att exakt veta hur det blir och kunna ställa beslut mot varandra för att visa det större sammanhanget. Aktörernas olika logiker medför att planeringsgapet inte syns eftersom ingen ser helheten. Detta försvårar samverkan och innebär att den mellanperiod som uppstår i planeringsgapet behandlas ad hoc mässigt. Det finns även tecken på att maktaspekter spelar roll eftersom trafikplanerna befinner sig längst ner i planeringshierarkin och förväntas enbart förenkla för alla påverkade aktörer (näringsliv, invånare, politiker) och då blir planering, krav och gränsdragningar svårt att få förståelse för.

För att kunna överbrygga planeringsgapet och göra det möjligt att skapa en bättre mellanperiod behöver de olika inblandade aktörerna, offentliga som privata, se byggtrafiken som ett gemensamt problem. Vi har sett att detta är en möjlig väg framåt i diskussioner mellan olika aktörer som annars lätt fastnar i diskussioner kring vem som ska ta vilka investeringar för det färdiga resultatet.

Genom intervjuer med planerare på alla planeringsnivåer i fyra kommuner har vi också identifierat vad planeringsgapet praktiskt innebär i deras arbete. För transportplanerna på översikts- och detaljplan nivå ser man sällan trafikkonsekvenserna under byggskede som en fråga för de att lösa, inställningen är i hög grad att "det löser sig ändå". För trafikplanerna som arbetar med TA-planer och markanvisningsavtal innebär de förras inställning att de många gånger får lika kort tid på sig att planera för trafiken under byggtid för ett under lång tid planerat ingrepp som för saker som kräver mer akuta insatser. De baserar bedömningar av påverkan i trafiken i hög grad på egen erfarenhet, liten grad av simuleringar eller andra verktyg på grund av begränsad tid, kompetens och tillgång på verktyg. Om de skulle vara behjälpta av ett digitalt verktyg så skulle det behöva visa hur en TA-plan påverkar övriga flöden i staden och hur flera TA-planer påverkar flöden i staden. På det sättet skulle trafikplanerna i högre grad kunna se att små projekt kan få stora konsekvenser.

Kort sikt (TA-plan): "Det skulle ge en helhetskoll och de ringar på vattnet som enskilda projekt och tillsammans med övriga projekt beräknas få"

I projektet har vi också identifierat möjliga olika störningar som byggtrafiken kan ge och hur dessa förhåller sig geografiskt i till projektet. Zon 1 är byggarbetsplatsen, zon 2 närområdet och zon 3 resten av staden som trafiken behöver passera genom för att nå byggarbetsplatsen. Figur 14 presenterar en sammanställning av de störningar som byggprojekt skapar. Figur 14 presenterades från början i Fredriksson et al. (2021).



Figur 14: De identifierade störningarna i förhållande till tre zoner (Fredriksson et al., 2021)

Processer och policy implikationer

I intervjuer och fokusgrupper med planerare har vi identifierat ett antal utvecklingsområden som de har sett som viktiga för att planeringsgapet i kommunerna i högre grad ska kunna överbryggas.

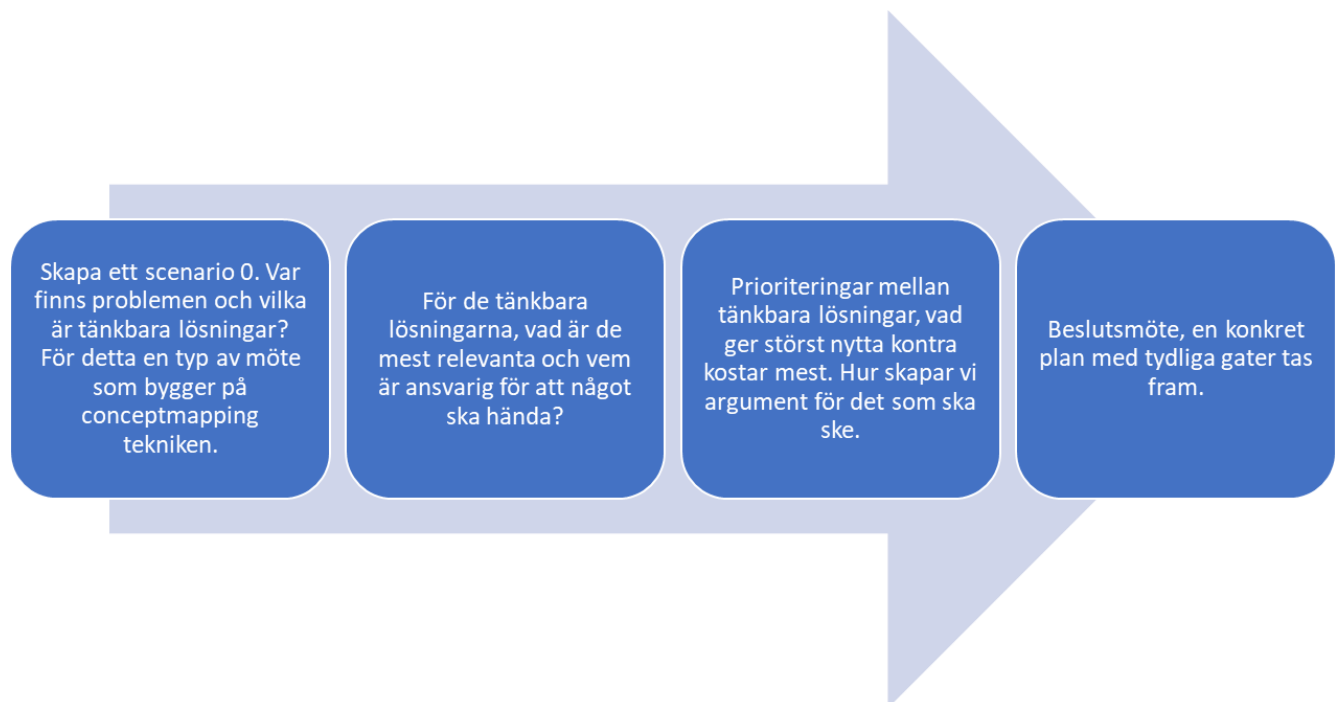
Ett förslag som framkom var att man från kommunens sida skulle kunna ställa krav på TA-planer med olika ansökningstid beroende på projektstorlek, detta för att tydliggöra för den entreprenör som ansöker att kommunens handläggningstid kan behöva vara lite längre för projekt som är större, komplicerade och ska pågå under längre tid.

Ett annat förslag var att i högre utsträckning använda sig av bygglovet för att lägga in krav på trafiklösningar under byggtiden. Det rådde delade meningar bland planerarna i vilken grad detta gick rent juridiskt och även i vilken grad det skulle vara möjligt eftersom bygglovsprocessen idag är så isärkopplad från den övriga planeringsprocessen att det förmodligen skulle kräva ganska stora organisatoriska förändringar inom kommunerna. Samtidigt skulle krav på trafiklösningar i bygglovet vara önskvärt från planerarnas perspektiv eftersom det skulle ligga närmare i tid än detaljplaneprocessen och därmed vara mer relevant för byggtiden.

Ett annat förslag som de flesta av kommunerna vi intervjuat redan praktiserar i viss mån är årsplanering med stora entreprenörer. Idag sker det på flera av kommunerna med stora ledningsägare bland annat, men planerarna såg det också som en möjlighet när det kommer till andra typer av entreprenörer som under en tid driver flertalet projekt i staden.

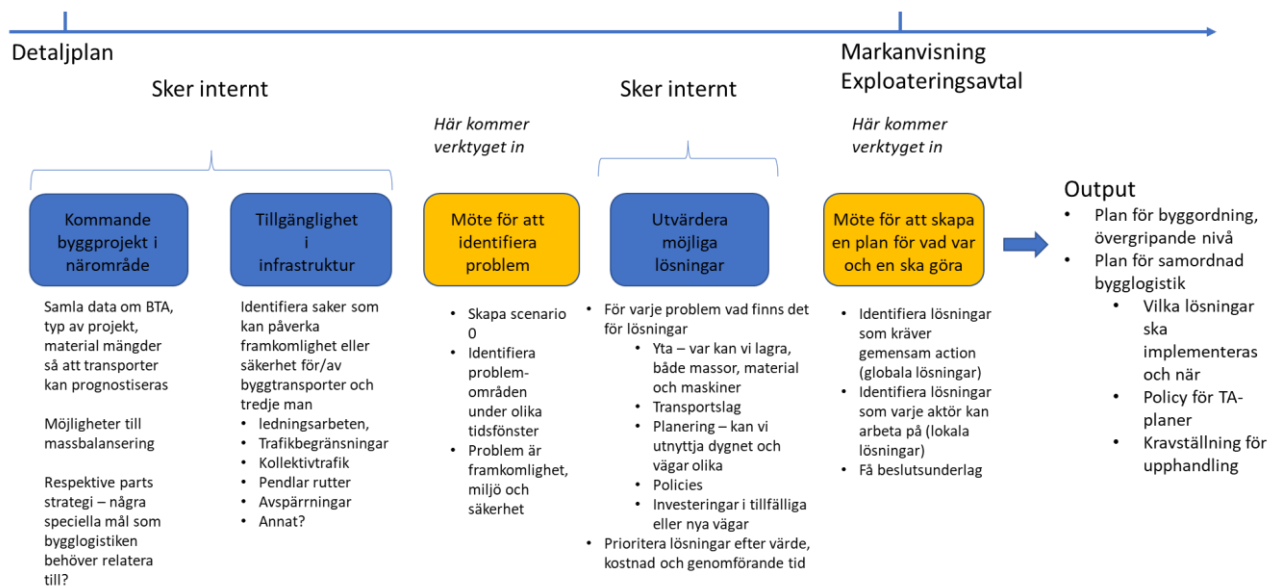
Avslutningsvis ansåg alla intervjuade att en nödvändig åtgärd var att öka dialogen internt inom kommunen mellan de olika planeringsnivåerna; detaljplan, bygglov och trafik. Det handlar framförallt om att upprätta strukturer och organisatoriska förutsättningar för en kontinuerlig dialog som i högre grad än idag kan leda till att rätt typ av krav ställs på entreprenörer i rätt tid så att resultatet blir en lösning som de flesta berörda kan leva med.

Kring större projekt krävs samverkan mellan kommunen och den aktör som ska driva projektet i ett tidigt läge. Detta sker normalt idag. Däremot när det gäller att hantera byggtrafiken och de lösningar som krävs för byggskedet finns det inga tydliga modeller för hur det kan gå till på ett strukturerat sätt så att inget missas och förbigås. Därför har vi inom ramen för projektet utvecklat en mötesserie för kollaborativ planering mellan kommunen och andra aktörer, där tanken är att det digitala verktyget kan komma att vara en viktig del i de gemensamma delarna. Mötesserien har utvecklats tillsammans med Trafikverket och Norrköpings kommun i arbetet med att förbereda för att bygga Ostlänken.

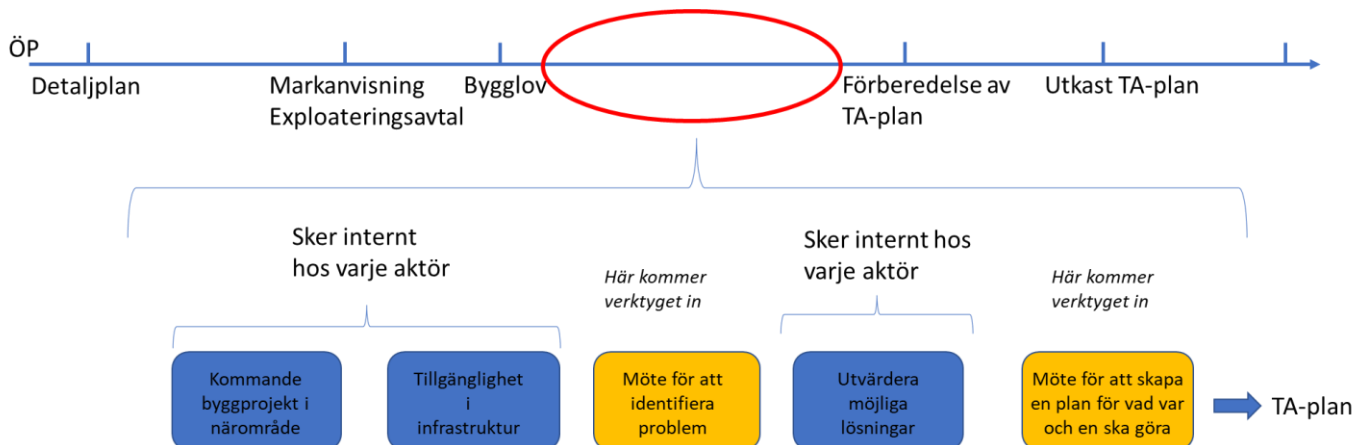


Figur 15: Mötesserien för kollaborativ planering för en störningsfri stad utvecklad i samverkan mellan Trafikverket projekt Ostlänken och Norrköpings kommun

Figur 15 visar den grundläggande processtrukturen som vi kallar en mötesserie. Figuren visar på en övergripande nivå en bild av vad det är processen ska driva framåt och uppnå. Vi har i ett nästa steg (se figur 16) detaljerat denna process utifrån kommunens perspektiv och kommit fram till att kollaborativ planering behöver ske i två steg. Kollaborativ planering behöver dels ske mellan detaljplanering och markanvisning för att kunna ge värdefull input till markanvisningsavtalen och dels i ett nästa steg för att förbereda och ta fram acceptabla TA-planer närmare projektets start i tid.



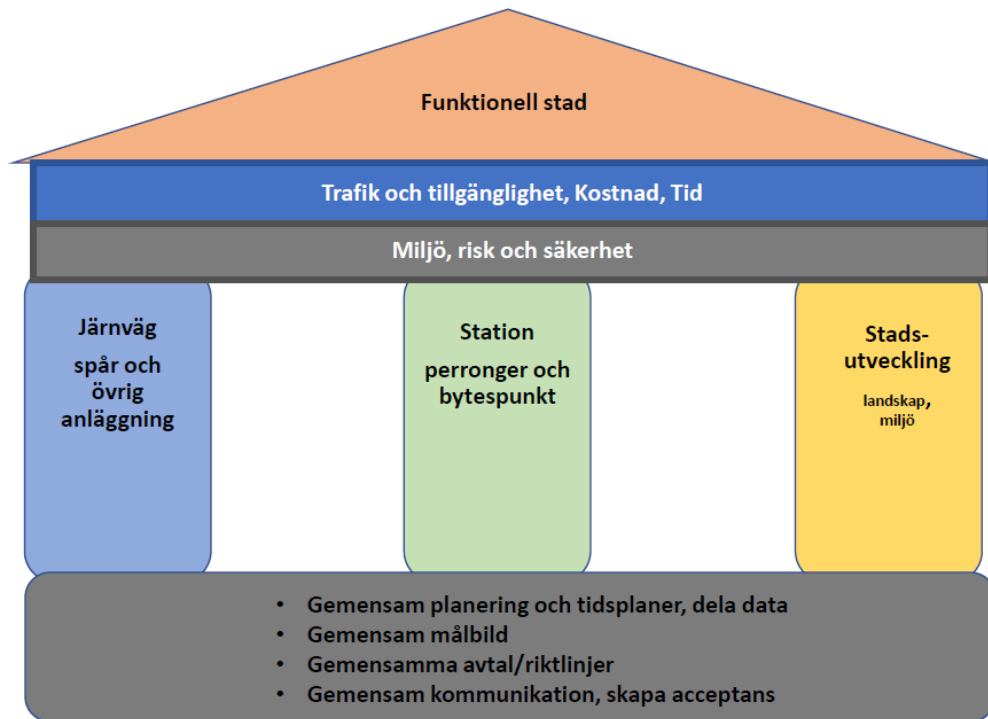
Figur 16: Steg 1 av planeringsprocessen hos kommunerna



Figur 17: Steg 2 av planeringsprocesserna hos kommunerna.

En viktig aspekt av all planering och kanske framförallt när planeringen sker mellan parter är att skapa en tydlig målbild. Inom ramen för mötesserien har vi tillsammans med Trafikverket projekt Ostlänken och Norrköpings kommun identifierat hur deras gemensamma målbild ser ut, se figur 18. Det är ett hus där det ultimata målet är en funktionell stad under byggtid. För att nå dit behöver parterna uppnå både en fungerande trafik och tillgänglighet och en låg

kostnad, samt att miljö och säkerhet inte påverkas negativt och att riskerna är låga. För att nå dit behöver parterna arbeta inom tre områden; järnväg, station och stadsutveckling. Parterna behöver arbeta med gemensam planering och tidsplaner, gemensamma målbilder som sedan omsätts i gemensamma avtal och riktlinjer för att nå det uppsatta målet.



Figur 18: Funktionell stad målet för processen med kollaborativ planering för en störningsfri stad, utvecklad i samarbete med Norrköpings kommun och Trafikverket Projekt Ostlänken

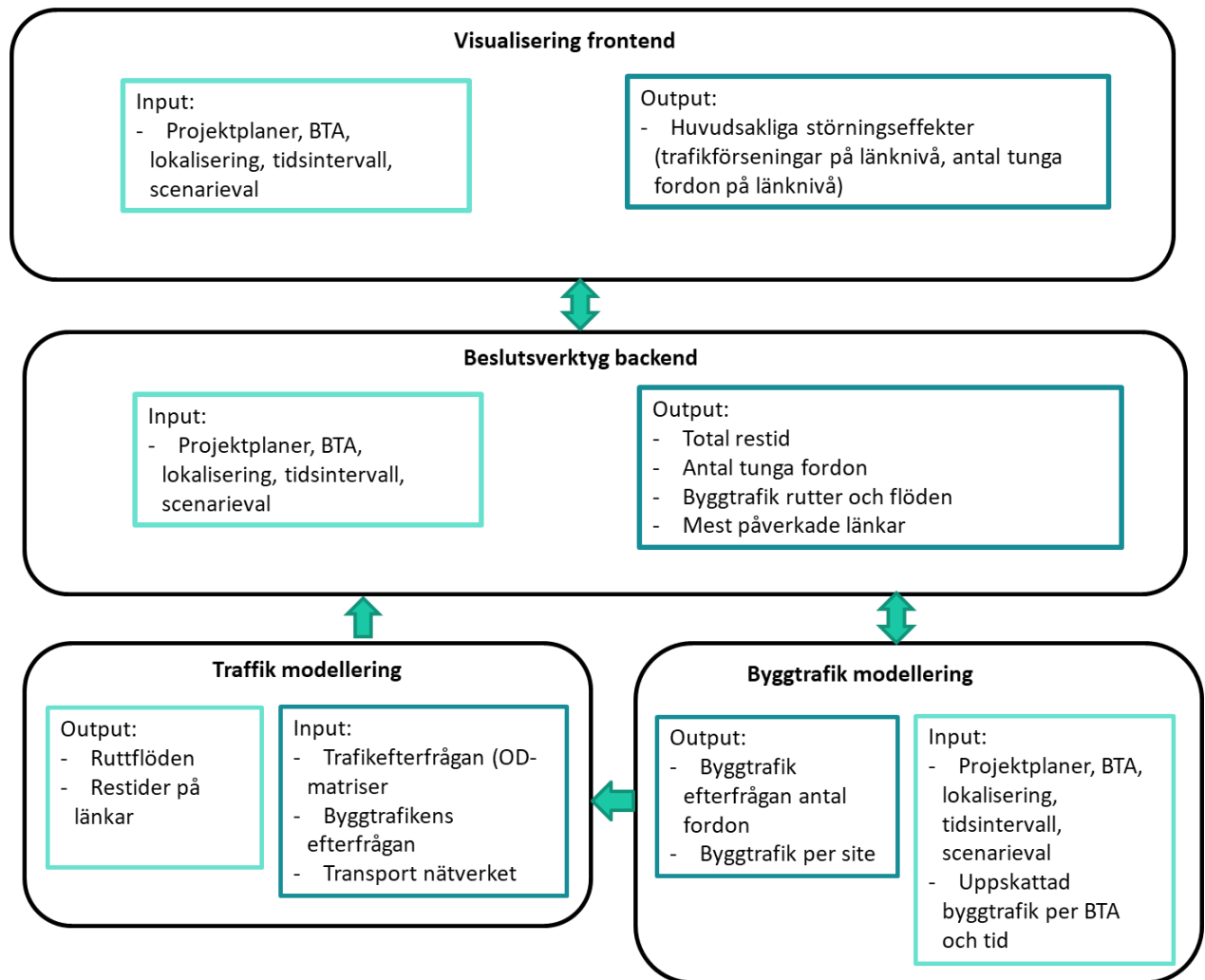
Upplägg, genomförande och analys

Projektet har haft konsortiegemensamma möten en gång i halvåret och forskargruppen har avstämningsmöten sista fredagen varje månad. Forskargruppen bestämde tidigt i projektet att det var av vikt att tillåta sig en relativt lång lära-känna period i projektet. Detta eftersom det är ett samverkansprojekt med flera parter som inte arbetat tillsammans tidigare och som kommer från vitt skilda forskningsdiscipliner. Därför fann vi att det var av vikt att etablera en förståelse för varandras kunskapsområden samt vokabulär. Baserat på arbetet efter denna lära-känna period, anser vi att denna har varit av stor nytta, då vi i projektgruppen har en god stämning där vi bemöter varandra med respekt och nyfikenhet.

Corona situationen har delvis påverkat projektet och vi har fått gå över till digitala möten, men i det skede som projektet var när Corona inträdde med ett fokus på utveckling av prototyp och data analys har det inte varit ett stort problem. Dock har det varit svårare med att nå ut utanför projektet då många konferenser ställts in eller blivit digitala.

Prototyputvecklingen

En viktig del i arbetet med att skapa prototyperna har varit att knyta samman visualiseringens frontend med modelleringens backend (se figur 19, schematisk bild av verktygets uppbyggnad). Figur 19 gjordes ganska tidigt under projektets gång för att schematiskt visa hur de olika delarna i projektet hängde samman. Den har varit vägledande och hjälpt oss kommunicera mellan framförallt visualisering, modellering och datainsamling.

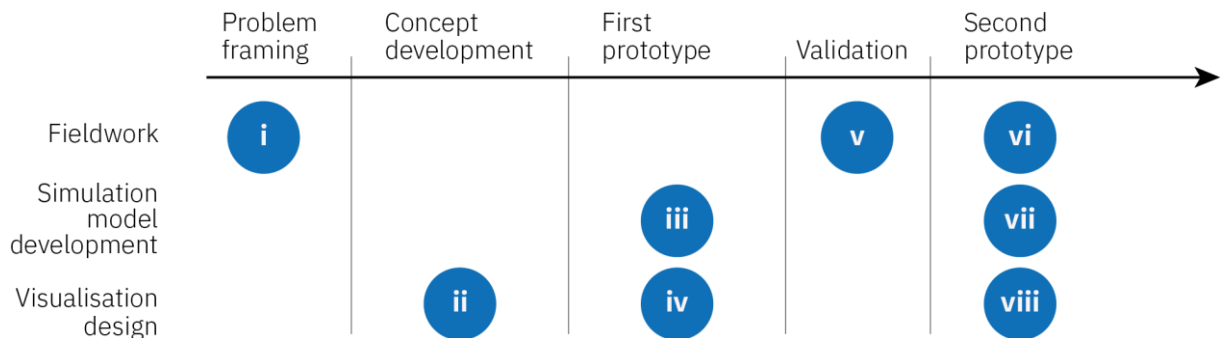


Figur 19: En schematisk bild av verktygets uppbyggnad från visualiserings fronten till modelleringens backend.

För att kunna skapa verktyget var det av vikt att skapa en gemensam databas som frontend delen har hämtat data för att visualisera medan backend delen har kunnat mata in data för olika scenarier. En annan del har varit att skapa scenarierna som skulle kunna testas för att påverka planeringen. För att kunna presentera en fungerande prototyp har vi varit tvungna att förberäkna ett antal scenarier som sedan har visats, detta för att förse användarna av prototypen med en bild av hur prototypen kommer kunna uppföra sig på ett tänkt sätt utan att begränsas av uppdateringstiderna (som för tillfället är för långa).

En viktig utgångspunkt för utformningen av prototypen har varit att skapa en delad vy att överlägga och planera kring, dvs att skapa förutsättningar för kollaborativ planering. Här har grundläggande begrepp från interaktiv visualisering varit viktiga såsom kopplade vyer (Wills, 2008), överblick samt detaljer baserat på efterfrågan (Shnejdernan, 1996), och upplevelsen av att kunna påverka (Löwgren, 2007). Baserat på detta skapades en första initial skiss innehållande: projektplaneringsvy, kartvy och vy med huvudsakliga effekter (för mer detaljer se Fredriksson et al. (WIP). Denna vidareutvecklades till en initial bild som sedan utvecklades till den första prototypen.

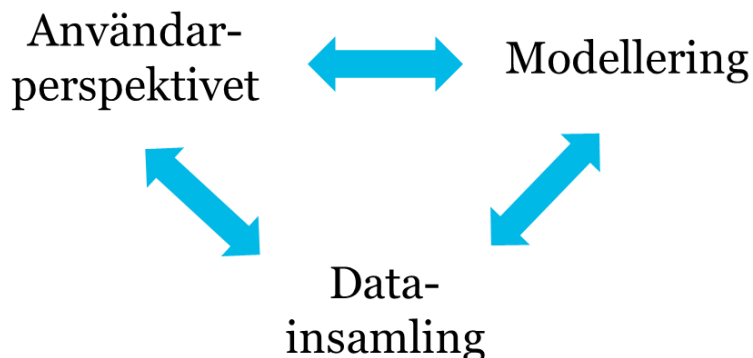
Själva arbetet med prototypen har sedan varit iterativt, där vi började med problemformulering, sedan koncept utveckling. Detta låg till grund för de två prototyperna vilka har validerats. För hela processen se figur 20.



Figur 20: Processdiagram över projektets delmoment, de romerska siffrorna visar på det iterativa arbetssättet

Projektets delarbetsområden

Projektet arbetar inom tre arbetsgrupper, vilka presenterades i förra rapporten, datainsamling, beslutsprocesser/användarperspektiv och utveckling av simuleringsmodeller.



Figur 21: Projektets olika delar

Användarperspektiv

Vi inledde arbetet under denna del med att genomföra en workshop som inkluderade alla projektets deltagare. Baserat på två olika canvas fick deltagarna besvara vilka störningar, vilka aktörer och var i förhållande till byggarbetsplatsen störningarna upplevs. För att sedan fördjupa kunskapen om olika typer av användare har vi arbetat med deltagare från kommunerna i Linköping, Norrköping, Uppsala och Stockholm stad. Vi har utforskat planeringens praktik i gränslandet mellan planeringen för slutresultatet och planeringen för tiden när projekten pågår. Detta har vi gjort genom 3 djupintervjuer och 4 fokusgrupper med trafikplanerare och trafikingenjörer. De intervjuade arbetar å ena sidan med slutresultatet; översiktsplanering och detaljplanering, eller å andra sidan med projektiden; TA-planering.

För att ytterligare fördjupa resultaten från intervjuer och fokusgrupper genomförde vi en framtidsworkshop med deltagare från 3 kommuner; transport- och trafikplanerare på samtliga nivåer samt en del chefer i planeringsorganisationen. En byggherre deltog också i

workshopen. Workshopen handlade framförallt om vad det digitala verktyget skulle behöva innehålla för att fungera väl, men även mer organisatoriska frågor behandlades i samband med detta. Vi har också använt oss av flertalet workshops med representanter för olika aktörer såsom byggherrar, logistik konsulter och representanter för kommun och Trafikverk för att presentera och diskutera preliminära resultat och utveckla våra slutsatser. Det är bland annat genom dessa tillfällen som vi har itererat våra idéer för prototypen och dess olika funktioner, de diskussioner vi haft kring kontext, problembild och arbetsprocesser, och deltagarnas synpunkter har legat till grund för den fortsatta utvecklingen. Som en del i utvärderingen av prototypen har vi haft tre fokusgrupper inkluderande stads- och trafikplanerare. Under dessa utvärderingstillfällen ville vi samla in gruppernas spontana åsikter och tankar kring den mer färdigställda prototypen, men även diskutera möjligheterna att samlas kring en gemensam representation eller visualisering, och hur arbetet med en sådan skulle kunna se ut och passa in i dagens planeringsstrukturer, samt vilka eventuella behov och situationer som detta arbetssätt kan bemöta och förbättra. Som en del i utvärderingen av prototyp har vi haft tre fokusgrupper inkluderande stads och trafikplanerare.

De tre utvärderingsgrupperna var eniga om att en kommun bör äga en lösning som den vi tagit fram i projektet, de ansvarar för att bjuda in andra aktörer till kollaborativa planerings- och diskussionstillfällen men även att den tekniska lösningen hålls uppdaterad, levande och fungerande. Det krävs en stabil och väl förankrad arbetsprocess och metod för att en kollaborativ planeringsprocess ska vara möjlig, och inkludera flertalet aktörer. Detta då grupperna menar att detta arbetssätt skulle kräva godare kommunikation från ett mycket tidigt skede då det historiskt sett varit svårt att samarbeta, vilket kan komma att bli mer av ett krav i framtiden.

Sist men inte minst har vi inom användargränssnittet arbetat med att utforska hur kollaborativ och störningsminimerande planering av multipla projekt kan göras en del av existerande planeringsstrukturer. Detta genom att vi har deltagit i regelbundna möten (var 8e vecka) mellan Trafikverket Projekt Ostlänken och Norrköping kommun för planeringen av det kommande Ostlänken projektet. Vi har deltagit aktivt och fungerat som en form av moderatorer mellan de två parterna. Genom deltagandet har vi utvecklat mötesserien för kollaborativ planering och hur det skulle kunna göras till en struktur i den kommunala planeringsorganisationen. Vi har kunnat testa idéer och komma med förslag till parterna kring hur de kan föra sin process vidare så att det leder till den målbild de gemensamt satt upp för projektet.

I en workshop som inkluderade alla projektets deltagare diskuterades idén till mötesserien för kollaborativ planering. Frågeställningen handlade om vad varje aktör behövde ta ställning till internt respektive i samverkan med andra aktörer för att få till en effektiv planering och huruvida en sådan mötesseriemodell skulle kunna vara gångbar i verkligheten.

Datainsamling

Detta arbetsområde har krävt samarbete mellan främst bygglogistik, trafikmodellering och sensorer. När projektet startade saknades i princip digitaldata kring byggtransporter. Därför har stort fokus lagts på att tillsammans med projektets deltagare identifiera möjliga datakällor. Efter en del undersökande och efterlysningar identifierades att data fanns tillgängligt i form av bokningskalendrar och kameror på byggarbetsplatser som har en implementerad bygglogistiklösning. I en första omgång fick vi tillgång till data från 13 olika

byggarbetsplatser och sedan i ett andra steg ytterligare 27 arbetsplatser, vilket totalt renderade data från 40 olika arbetsplatser. Denna data har använts som utgångspunkt för att kunna skapa prognoser för byggtransporter i ett kommande projekt, genom att det har identifierats att man kan med någorlunda statistisk säkerhet beräkna antalet transporter baserat på antalet kvadratmeter i ett husbyggnadsprojekt. Dock ska sägas att den data som är grunden för beräkningarna är behäftad med ett antal problem, dels saknas data för hela projekt och vi har fått extrapolera data, vidare är kvaliteten på datan i många fall osäker, vilket identifierats med hjälp av intervjuer med ansvariga.

Vi har också tillsammans med Trafikverket Ostlänken projektet arbetat med att ta fram en modell som beskriver sambandet mellan ytbehov och antalet transporter för ett infrastrukturprojekt, denna presenterades på en intern workshop hos Trafikverket.

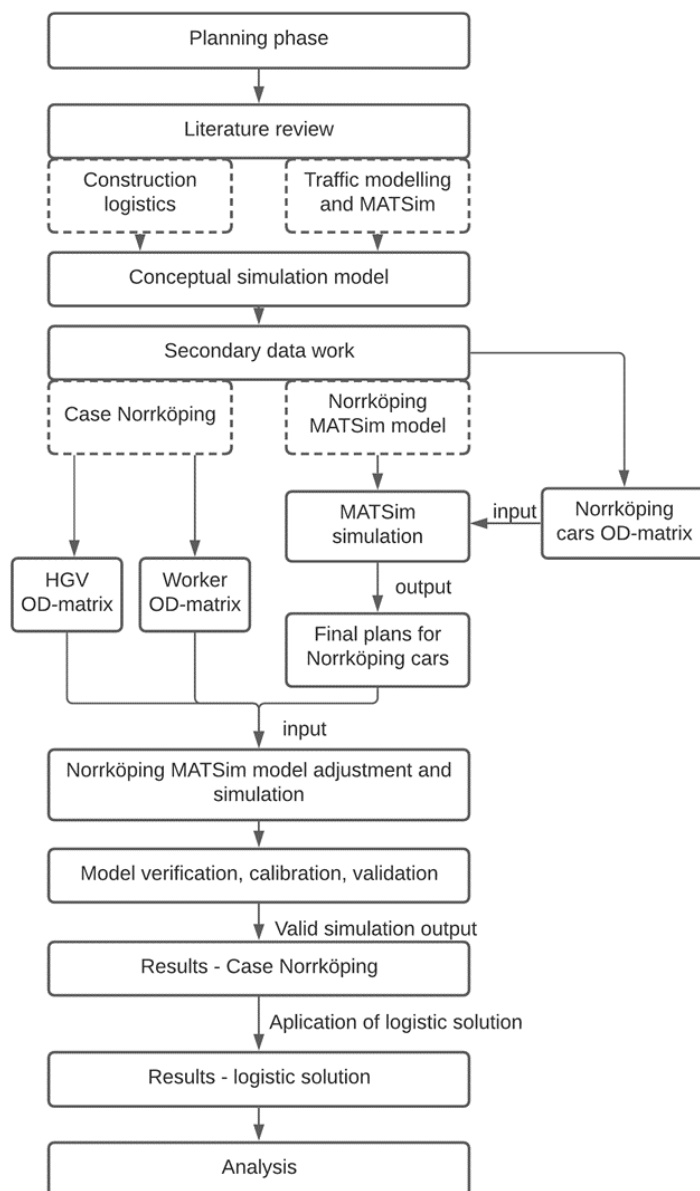
För att öka kunskapen om vilka störningar som byggtransporter genererar har vi tillsammans med projektet Testbädd Kungsgatan utvecklat och använt oss av en sensorbox. Vi har just nu 5 sensorer i Ebbepark och försöker länka data till vad som hänt på byggarbetsplatsen genom skapa en koppling mellan ljud i tid och produktionstidplanen. Vi testar just nu kablar vid en av grindarna i Ebbepark som ett sätt att registrera antalet lastbilar som kör ni.

Modellering

I trafikmodellen har ett vägnät från Openstreetmap samt kommunens trafikanalys-zoner importerats till den geodatabas som används i projektet. En beräkningsprocess baserad på ”bring-code-to-data” för säker och integritetsbevarande bearbetning av mobilnätsdata har utvecklats tillsammans med Telenor. Beräkningsprocessen inkluderar filtrering, aggregering och separering av tågtrafik samt externa resor för det utvalda området. Efter import av aggregerade mobilnätsdata till databasen har ytterligare färdmedelsuppdelning och uppskalning utförts för att skatta totalresandet med bil för Norrköping.

Data för aggregerade skattningar av byggtransporter samt data från en resvaneenkät för resande till och från byggprojekt har importerats till databasen och bearbetats för att möjliggöra skattning av antalet byggprojektrelaterade transporter och resor mellan kommunens transportanalys-zoner.

För att möjliggöra scenarioanalys och visualisering har nya funktioner för att hämta data från databasen till MATSim samt skriva utdata från MATSim till databasen tagits fram. Enklare statistiska analyser baserat på uppmätta länkflöden och restider har använts för att göra en grov kalibrering av modellen. En översikt över arbetsmetoden med trafikmodellen och olika datakällor visas i figur 22.



Figur 22. Översikt av arbetsmetoden med trafikmodellen och olika datakällor (Zernis, 2021)

Publikationer och presentationer

Projektet har inte enbart resulterat i en prototyp av ett visualiseringsverktyg som utlovat, det har också varit ett mycket produktivt projekt publiceringsmässigt. Tabell 2 sammanfattar de publikationer som projektet har genererat. Som kan ses i tabellen har projektet genererat 4 tidskriftsartiklar, 1 konferensartikel, 3 framtida tidskriftsartiklar (antingen WIP eller under review), 1 masteruppsats och 1 kandidatuppsats.

Under projektets gång har vi presenterat resultat löpande. Vi har presenterat på Transportforum i Linköping, hos Visualiseringscenter, på Populärvetenskapliga veckan arrangerad av Linköpings universitet, Almedalen, Byggdagen i Norrköping och för East

Sweden Business Center bland annat. Vi har också varit uppmärksammade av både Sveriges Radio P4 och Östnytt på SVT (2 gånger).

Projektet har lett till spinoff ansökningar och accepterade projekt, såsom LogistikDatalabbet lett av Closer, och en framtida ansökan till Smart Built Environment utlysning med deadline 8 februari 2021. Vidare finns det planer på ytterligare ansökningar, då detta projekt har varit väldigt givande gällande behov i samhället kopplat till byggtransporter, trafikplanering och samhällsplanering.

Tabell 2 Projektets publikationer som har tagits fram som en del i projektet.

Titel och författare	Sammanfattning	Typ av publikation
Fredriksson, A., Sezer, A., Angelakis, A., and Gundlegård, D. (2021) Construction related urban disturbances: Identification and linking with an IoT-model, Automation in Construction, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104038	Artikeln presenterar en konceptuell modell för att länka störningar till datakällor för att uppskatta störningarnas effekt på olika aktörer. Vidare presenteras mer än 40 olika identifierade störningar av byggtrafik.	Publicerad vetenskaplig tidskrifts-artikel
En analys av logistiklösningar för etablering i Berga Ängar - En studie med fokus på effektivisering av byggarbetsplatsen, Lukas Andersson och Alexander Sjöblom (2021). Finns på Linköpings universitet DIVA.	Baserat på tillgänglig data gällande antal transporter i olika faser av ett byggprojekt och intervjuer för att fånga in lossningstider, har man här för ett framtida projekt baserat på dess produktionstidplan simulerat antalet transporter under olika kvartal och identifierat vad potentialen är att minska dessa med checkpoint respektive terminallösningar.	Kandidatarbete, LiU ITN, FTL-programmet
Sezer, A., and Fredriksson, A. (2021) Paving the Path towards Efficient Construction Logistics by Revealing the Current Practice and Issues, Logistics, Vol. 5, Iss. 3, https://doi.org/10.3390/logistics5030053	Artikeln djupdyker i transportmönstret för 13 olika byggprojekt. Identifierar att 50% av dagens transporter kommer innan kl 0900, vilka som är de vanligaste transportbärarna och materialfördelningen mellan faserna i ett byggprojekt. Det identifierar också turnaroundtiderna per kvadratmeter.	Publicerad vetenskaplig tidskrifts-artikel
Sezer, A. A., and Fredriksson, A. (2021) Environmental impact of construction transport and the effects of building certification schemes, Resources, Conservation & Recycling, Vol 172,	Denna artikel är baserat på 40 olika projekt. Baserat på dessa beräknas transporterna för de olika faserna i ett byggprojekt och vi tittar dessutom på om transporterna påverkar av	Publicerad vetenskaplig tidskrifts-artikel

https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105688	logistiklösning och om det är miljöcertifierade projekt eller ej.	
Fredriksson, A., Nolz, P., and Seragiotto, C. (2021) A mixed method evaluation of economic and environmental considerations in construction transport planning: The case of Ostlänken, Sustainable Cities and Society, vol. 69, https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102840	Denna artikel utvärderar olika sätt att organisera transporterna i ett infrastrukturprojekt i förhållande till hur många lagringspunkter man har.	Publicerad vetenskaplig tidskrifts-artikel
Sezer, A. and Fredriksson, A. (2020) The transport footprint of Swedish construction sites, IOP Publishing Ltd, https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042001	Detta är den första artikeln som beräknar antalet transporter per kvadratmeter baserad på svensk data.	Publicerad vetenskaplig konferens-artikel
Zernis, R. (2021) Modelling urban traffic congestion due to construction transports – The Case of Norrköping	Examensarbetet utvecklar ett sätt att modellera byggtransporter i förhållande till ett byggprojekt och tar fram en Matsim modell för Norrköping där det simuleras effekterna av att ha sex samtidigt pågående byggprojekt. Vidare testas effekterna på restider i Norrköping av att tidsstyra byggtransporterna.	Examensarbete, masternivå, KTS, ITN, LiU
Fredriksson, A., Eriksson, L., Eriksson, D., Lemon, N., and Löwgren, J. (WIP) Designing an interactive visualization tool for collaborative urban construction transport planning	Artikeln visar designprocessen för att utveckla visualiseringsdelen av prototyperna. Den visar på vikten av att samlas kring en konkret uppgift för att nå samsyn mellan olika forskningsdiscipliner.	Vetenskaplig artikel, under arbete
Eriksson, L., Fredriksson, A., Lemon, N., and Löwgren, J. (WIP) Unpacking and addressing the planning gap of urban construction transport: towards integrated planning	Artikeln beskriver planeringsgapet som finns inom kommunal planering gällande byggtransporter och presenterar processer för hur planeringen kan genomföras för ökad samverkan.	Vetenskaplig artikel, under arbete
Rönneberg, N., Fredriksson, A., and Ringdahl, R. (under review) Measurement and Sonification of Construction Site Data	Baserat på data från sensorerna som implementerats i Ebbepark testas olika sätt att sonifiera en byggarbetsplats. Sonifieringen utvärderas sedan av en panel genom en enkät.	Vetenskaplig artikel, under review i tidskrift

Måluppfyllelse och fortsatt arbete

Att stötta planeringen genom att visualisera effekterna av olika scenarier för att minska störningarna från byggtrafik (i det här fallet förseningseffekter i stadens trafik) bidrar vi till att minska kostnaderna för att bygga nya hus och ny infrastruktur. Förbättrad planering gör att tiden för avstängningar kan kortas. Ett avstängt fält på Essingeleden under en dag motsvarar en kostnad på 3,3 miljoner SEK (MSB, 2015). Det finns fallstudier som visar att byggtiden kan kortas med 15-20% genom bättre logistik (Byggindustrin, 2017). I fallet med Essingeleden skulle en kortad byggtid innebära en minskad samhällskostnad om 800 000 SEK/dag. I Norrköping, en kommun med ca 140 000 invånare, 1/10 av Stockholm, så innebär detta en kostnadsbesparing om 80 000 SEK/dag. För Inre Hamnen i Norrköping som pågår 2018-2028 skulle 20% förkortad byggtid innebära en minskad samhällskostnad om 36 miljoner SEK ($2 \cdot 226$ (antal arbetsdagar per år) $\cdot 80\,000$). Detta är bara ett projekt i en stad...

Vidare bidrar vi med en möjlighet att se hur man kan använda olika former av bygglogistiklösningar genom att man i verktyget kan testa scenarier för leveransfönster, rutter och samordning av transporter till flera projekt. De ofta tunga byggtransporterna står för 20 % av allt transportarbete i Sverige (SBUF, 2010). Ett samordnat grepp på bygglogistiken kan minska transporterna med ca 60% (Bergman, 2016), vilket ger potential att minska de totala transporterna med ca 12%.

I projektet har vi tagit ett vitt grepp om störningar. En viktig orsak till detta är att byggtransporter skapar störningar inte enbart för biltrafikanter utan också för det som kallas tredje man i form av trafikolyckor, damm och buller. Enligt Trafikverkets nationella statistik dog år 2017 50 personer i olyckor involverande gång och cykel/moped och 464 blev svårt skadade. Färre tunga transporter i staden innebär att antalet trafikdödade kan minska med 5 personer/år och 50 färre svårt skadade/år. Varje år dör ca 215 personer p.g.a. utsläpp relaterade till vägdamms och ca 2850 relaterade till utsläpp från fordon (IVL, 2018). En minskning av fordon med ca 12% innebär att ca 25 färre personer bör dö p.g.a. vägdamms och ca 340 färre personer p.g.a. utsläpp från fordon. Den totala klimatpåverkan från byggprocesser i Sverige bedöms uppgå till ca 10Mton CO₂. Transporter och maskiner utgör 3% av byggprocessens klimatpåverkan (IVA), vilket gör att CO₂ utsläppen kan minska med 36 000 ton per år.

En annan typ av störning som byggtransporter skapar som vi har identifierat i projektet är förlorade inkomster, förlorad tid och att tillgången till bredband och liknande går ner. T.ex. kan byggtransporter och avstängningar pga dessa göra det svårt att få fram leveranser till affärer och kaféer men också att kunder väljer andra vägar eller inte hittar parkering och att man på sätt går miste om affärsmöjligheter. Byggtransporter rör också upp mycket känslor hos många och det i sin tur påverkar arbetsmiljön hos kommunens ansvariga för infrastruktur och trafikplanering. Att alla dessa aktörer bättre kan förstå effekterna av byggtransporter möjliggör att man kan vidta rätt åtgärder så att effekterna blir mindre, men också att kommunens ansvariga kan visa på att man försöker förbättra situationen. Vi tar inte längre för givet att byggtrafik måste skapa störningar och det svar som ges är att det blir bättre sen, med hjälp av verktyget och processerna från detta projekt skapas möjligheten att göra skillnad.

Slutsatser och fortsatt arbete

Konkret skulle projektet resultera i följande:

- 1) En metodik för att uppskatta byggtrafikflöden
- 2) Modeller för att estimerar byggtrafikpåverkan i staden baserade på olika data källor
- 3) Visualiseringsprototyper för att utforska olika byggtrafik och trafikadministrations scenarier
- 4) Input till att förbättra olika policydokument och processer inom stadsplanering och trafikplanering

Projektet har mer än väl uppnått dessa resultat. Projektet har genererat följande ny kunskap:

- identifieringen och beskrivningen av planeringsgapet för byggtrafikplanering samt att det är kommunerna som ska äga frågan
- identifiering av mer än 45 olika typer av störningar som byggtrafik ger i staden och deras geografiska lokalisering i förhållande till byggarbetsplatsen
- hur man kan modellera byggtrafik som en del i en trafikmodell
- ökad kunskap om byggprojekts transportmönster, t.ex. mängden transporter per fas i ett byggprojekt, turnaround tider, fördelningen av olika material per fas och mängd transporter, typ av fordon.
- en slangmätningseenhet för att samla in data om byggprojekts transportmönster
- en IoT modell för hur man kan använda sensorer för att se störningarna som byggtrafik skapar
- validering av en sensorbox för mätning av partiklar, ljud, luftfuktighet och temperatur som bygger på billiga sensorer vilket möjliggör storskalig implementering
- hur man kan visualisera byggtransporternas påverkan på stadens trafik
- scenarier för hur byggtrafiken kan påverkas, vilket har gett input till policies för hur man ska styra byggtrafik i stadsplaneringsprocesserna
- utvärderat potentialerna med sonifiering av byggtrafikstörningar
- genererat ett antal olika uppslag för vidare forskning och utveckling.
- skapat ett intresse för byggtransporter och dess störningar som i sin tur har startat igång ett antal processer hos olika aktörer.

Valideringen av prototypen och marknadsundersökningen visar på att ett kollaborativt planeringsverktyg likt det som har tagits fram i detta projektet skulle vara en värdefull resurs i arbetet med att engagera olika aktörer i koordineringen av transportaktiviteter och yta i samband med olika byggprojekt i staden. Vårt antagande om att det är kommunerna som ska äga verktyget har också visat sig sant. Det finns fortfarande stor förbättringspotential gällande verktygets funktionalitet, såsom simuleringstid, basdata, ruttning och möjliga scenarier att testa, men redan i sin nuvarande form visar verktyget en stor potential. Det är efterfrågat!

Projektet har också skapat uppmärksamhet och en förståelse för vikten av att hantera godstransporter i stadsplaneringen men ännu mer specifikt att vi inte längre kan ignorera byggtransporterna. Byggtransporterna står för en stor del av utsläppen som härör från

godstransporterna och de skapar stora störningar då transporterna till stor del sker när annan trafikbelastning också är som högst, dvs rusningstid. Genom detta har projektet bidragit till att man hos de deltagande kommunerna och Trafikverket har börjat se över hur man hanterar byggtrafik idag och börjat agera och planera för att minska störningarna från byggtrafik. Detta har genererat uppmärksamhet och reportage har sänts på både SVT Östnytt och SR P4 Östergötland. Vi har också blivit inbjudna att presentera på Linköpings universitet PoPVecka, Almedalen och Norrköpings kommun. Projektet har även genererat eko utomlands och vi har omtalats i Nederländerna, Belgien, Österrike, Norge och Spanien.

Dock har denna process med att öka kunskaperna om störningar från byggtansporterna enbart börjat. För att göra verklig skillnad behöver politikerna bli mer medvetna, men då behöver vi bli ännu bättre på att på en detaljerad nivå synliggöra mellansteget/planeringsgapet och ställa beslut mot varandra för att visa det större sammanhanget. Vi behöver visa att det går att planera utan att vi vet exakt hur det kommer att bli, att kunna förmedla osäkerhet i planer utan att för den skull minska deras värde är en viktig fråga för fortsatt forskning. Vidare visar projektet att Trafikverkets uppdragsbeskrivning bör ändras för att ta hänsyn till mellansteget och öka sin förmåga till kollaborativ planering med kommuner och entreprenörer. Detta skulle minska utsläppen från byggtrafik, öka cirkulariteten för massor, minska kostnaderna för genomförandet av infrastrukturprojekt och öka säkerheten för tredje man under projekten.

Projektet har presenterat en fungerande prototyp, dock finns det stor potential att både kommersialisera denna men också öka dess funktionalitet. I projektet har vi låtit göra en marknadsundersökning, som visar på att verktyget nog måste integreras i en större helhet för att betalningsviljan ska vara tillräckligt stor. Vi kan också se att det finns ett gap mellan det som prototypen täcker idag, dvs hur byggtrafiken påverkar staden samt de BIM modeller som finns för byggprojektets planering. Här finns en stor potential att också skapa en funktionalitet som inkluderar byggtrafikensplanering på själva byggområdet och hur denna fungerar i samklang med staden runtomkring bygget. Dock behöver vi bättre data gällande byggtransporterna och godstransporter i allmänhet. Vidare behöver vi också öka förståelsen mellan yta som tas i anspråk av olika aktiviteter och samspelet mellan denna yta och de störningar som uppstår.

Den 19 januari 2022 hade projektet slutkonferens. Detta var en öppen presentation och inbjudan hade gått ut via både mail och LinkedIn. Totalt deltog över 50 projekt externa personer i konferensen och mer än 70 personer hade anmält sig. Detta visar på det stora intresse som projektet genererar. Slutkonferensen gav också en möjlighet att utvärdera verktyget och kunde baserat på denna se att en viktig fråga att arbeta vidare med är också affärsmodeller för hur verktyget ska implementeras och underhållas samt att få in ytterligare trafikslag såsom kollektivtrafik och andra godstransporter i modellen. Vi behöver också öka kunskapen om hur vi kan stötta användandet av verktyget genom processer för planering och policies för att implementera utfallet av planeringen. Baserat på denna input och de forskningsbehov vi själva ser skriver vi just nu en fortsättningsansökan.

Sonifieringen som är en spinoff ur projektet visar på nyttan av att använda kompletterande modalitet för att beskriva störningar som byggtransporter ger för att skapa ägandeskap hos olika aktörer för frågan. Buller är något tagbart som redan idag ses som ett problem för byggindustrin och stadsplaneringen. Att ytterligare förstå nyttan och möjligheterna med

sonifiering kopplat till byggplanering och byggtransporter är en möjlighet för framtida forskning.

Referenser

Andersson, L. och Sjöblom, A. (2021) En analys av logistiklösningar för etablering i Berga Ängar - En studie med fokus på effektivisering av byggarbetsplatsen, Kandidatuppsats, Linköpings universitet.

Behrends, S., Lindholm, M., och Woxenius, J., (2008) The Impact of Urban Freight Transport: A Definition of Sustainability from an Actor's Perspective. *Transportation Planning and Technology*. 31, 693-713.

Chang, B., Kendall, A., 2011. Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system. *Transport Research part D: Transport and Environment* 16(6), 429-434.

Dalenstam, M. (2015), Att återanvända schaktmassor,
http://www.sverigesbergmaterialindustri.se/images/pdf/handbocker_mallar_rad/rapport_masshantering.pdf

Eriksson, L., Fredriksson, A., Lemon, N., and Löwgren, J. (WIP) Unpacking and addressing the planning gap of urban construction transport: towards integrated planning

Fredriksson, A., Eriksson, L., Eriksson, D., Lemon, N., and Löwgren, J. (WIP) Designing an interactive visualization tool for collaborative urban construction transport planning

Fredriksson, A., Sezer, A., Angelakis, A., and Gundlegård, D. (2021) Construction related urban disturbances: Identification and linking with an IoT-model, *Automation in Construction*

Guerlain, C.; Renault, S.; Ferrero, F. Understanding construction logistics in urban areas and lowering its environmental impact: a focus on construction consolidation centres. *Sustainability* 2019, 11, 6118.

Löwgren, J. (2007). Pliability as an experiential quality: Exploring the aesthetics of interaction design. *Artifact* 1(2):85–95.

McKinnon, A. (2018) *Decarbonizing Logistics. Distributing goods in a low-carbon world* London: KoganPage

Naz, F., Fredriksson, A. och Kjellsdotter-Ivert, L. (2021), Improving Construction Transports, A freight forwarder perspective, NOFOMA Conference

Nolz, P., Hu, B., och Ahlander M., (2017), Decision support for construction logistics management, presentation at EDSI annual conference 2017, Granada, Spain

Rönnberg, N., Fredriksson, A., and Ringdahl, R. (under review) Measurement and Sonification of Construction Site Data

Sezer, A. and Fredriksson, A. (2020) *The transport footprint of Swedish construction sites*, IOP Publishing Ltd

Sezer, A. A., and Fredriksson, A. (2021a) Paving the Path towards Efficient Construction Logistics by Revealing the Current Practice and Issues, *Logistics*, ISSN 2305-6290, Vol. 5, nr 3

Sezer, A. A., and Fredriksson, A. (2021b) Environmental impact of construction transport and the effects of building certification schemes, *Resources, Conservation & Recycling*, ISSN 0921-3449, E-ISSN 1879-0658, Vol. 172

Shneiderman, B. (1996). The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. In *Proc. IEEE Symp. Visual Languages*, pp. 336-343. IEEE Computer Society Press.

Sveriges Byggindustrier, (2010), Effektiva Byggtransporter: S. Byggindustrier, 12235

Trafikanalys Statistik. (2020) Lastbilstrafik 2019, Rapport nr 14, publication date 5th of May 2020.

Zernis, R. (2021), Modelling urban traffic congestion due to construction transports – The Case of Norrköping, Masteruppsats, Linköpings universitet

Wills, G. (2008). Linked data views. In Chen, C., Härdle, W., Unwin, A. (eds.) Handbook of data visualization, pp. 217-241. Springer.

Bilagor