

Förbättrad logistik för byggmaterial i Norra Djurgårdsstaden

Metodutveckling för
utvärdering av miljöbelastning

Kristin Brunge



Master of Science Thesis
Stockholm 2013



**KTH Industrial Engineering
and Management**

Kristin Brunge

Förbättrad logistik för byggmaterial i Norra Djurgårdsstaden

Metodutveckling för utvärdering av miljöbelastning

Supervisors:

Johan Högström, Industriell ekologi, KTH

Jan Kristoffersson, Sustainable Innovation AB

Maria Lennartsson, Stockholm Stad

David Ljungberg, Energi och teknik, SLU

Examiner:

Björn Frostell, Industriell ekologi, KTH

Master of Science Thesis

STOCKHOLM 2013

PRESENTED AT

INDUSTRIAL ECOLOGY
ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

TRITA-IM 2013:08

Industrial Ecology,
Royal Institute of Technology
www.ima.kth.se

ABSTRACT

In eastern Stockholm, a former industrial area is now emerging into a new urban district, named Stockholm Royal Seaport. Stockholm Royal Seaport is for the moment one of the largest urban developments in Europe. Around 10 000 new apartments and 30 000 workplaces will be built in the district. The environmental goals set up for Stockholm Royal Seaport are ambitious and the district is to become a role model for sustainable development in city areas.

To handle and reduce the transports during the construction, a logistics centre is to be built that will start operating in the beginning of 2013. This master thesis aims to investigate how the transport volumes can be altered by coordinating the transport logistics and to determine what effect such a solution will have on the energy use and the emissions of climate gases and particles from the construction activities in the area.

By documenting delivery notes from a developer in the first phase of Stockholm Royal Seaport called Norra 1, the transports into the construction site have been mapped. The transports have then been linked to different vehicles that, according to two Site Managers, are typical for the different construction materials. To find the energy usage and emission rates related to the vehicles, methods from The Network for Transport and Environment (NTM) have been utilized.

The report shows that the energy use and climate gas emissions can be greatly reduced by initiating coordinated logistic by the operation of a logistics centre during the construction years of Hjorthagen in Stockholm Royal Seaport. The results are however based on a quite untested method and are to be taken only as an indication on how the real outcome of the logistics centre might be.

SAMMANFATTNING

Norra Djurgårdsstaden är för närvarande ett av Europas största stadsutvecklingsområden och kommer ge rum för cirka 10 000 nya bostäder och cirka 30 000 nya arbetsplatser. Stadsdelen präglas av en stark miljöprofilering och ska verka som en förebild för ett hållbart stadsbyggande.

I början av 2013 kommer ett logistikcenter upprättas i Hjorthagen för att hantera transporter in till området under byggprocessen. Syftet med logistikcentret är att minska trängsel och trafikstockningar genom en lotsfunktion samt reducera transporter i och med samlastning. Detta examensarbete har ämnat kartlägga transportflödena med och utan en samordnad bygglogistiklösning samt beräkna hur energianvändningen och utsläppsmängderna skulle kunna förändras.

Kartläggning av transporterna har skett genom dokumentation av de följesedlar som byggherrarna får som kvitton på inkomna leveranser. Följesedlarna har dokumenterats från JM:s byggande i Norra Djurgårdsstadens första etapp, Norra 1. Genom intervjuer med platschefer på byggarbetsplatser har de olika materialtransporterna kartlagts och kunnat knytas till olika fordonstyper. Transporterna har sedan extrapolerats upp för att gälla det totala byggandet i Hjorthagen. Fordonens energianvändning och miljöpåverkan har beräknats med hjälp av metoder och nyckeltal från Nätverket för Transporter och Miljön (NTM). En uppskattning har gjorts över hur transporterna kan tänkas minska i och med samlastning i logistikcentralen och hur energianvändningen och miljöemissionerna därmed skulle kunna reduceras. Utsläpp av koldioxid, kväveoxider och partiklar har undersökts i arbetet.

Genom metoden med följesedlar har endast de direkta transporterna härrörande byggherrarna kartlagts och underleverantörernas transporter har inte innefattats i rapporten. Underleverantörernas transporter utgör dock en signifikant del av ett bygges totala transporter och kommer med stor säkerhet påverka logistikcentrets totala emissionsreducering.

Resultaten visar på stora miljövinster med en samordnad bygglogistik. Sammantaget visar resultatet på ett minskat koldioxidutsläpp på cirka 41 procent. Utsläppen av kväveoxider och partiklar beräknas kunna reduceras med 34 procent respektive 42 procent. Energianvändningen uppskattas kunna minskas med 41 procent. Studien baseras på en obeprövad metod och ytterligare, liknande undersökningar skulle krävas för att öka resultatets validitet.

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört som en del i projektet Citylogistik. Citylogistik är ett samarbetsprojekt mellan Sustainable Innovation AB, Stockholms stad, Posten AB och KTH – Industriell ekologi och syftar till att undersöka och lyfta fram fördelarna med samordnad logistik i stadsmiljö. Projektet inriktar sig främst på byggandet av Norra Djurgårdsstaden i Stockholm med fokus på både bygg- och varulogistik.

Syftet med examensarbetet har varit att undersöka miljövinster med en samordnad bygglogistik under byggandet av Norra Djurgårdsstadens första tio etapper i Hjorthagen. Examensarbetet utgörs av 30 högskolepoäng och är det sista momentet på civilingenjörsutbildningen i energisystem vid Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts på avdelningen för Industriell ekologi vid Kungliga Tekniska Högskolan.

Jag vill passa på och tacka mina handledare Björn Frostell (KTH), Johan Högström (KTH) och David Ljungberg (SLU) för värdefulla tips och synpunkter. Tack även till Maria Lennartsson på Stockholm stad som har varit till stor hjälp under arbetets gång och bidragit mycket till arbetets utförande och utformning. Utan de välkomnande och samarbetsvilliga medarbetarna på JM som trots stor arbetsbörda bjöd in mig att sitta på deras platskontor och plöja pärmar med följesedlar hade examensarbetet inte gått att genomföra, tack för det! Tack även till Jan Kristoffersson på Sustainable innovation för goda råd under arbetets gång.

Stockholm, november 2012

Kristin Brunge

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Abstract.....	i
Sammanfattning	ii
Förord	iii
1. Bakgrund	1
1.1 Frågeställning.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Mål.....	1
1.4 Avgränsningar	2
2. Hjorthagen	3
2.1 Etapper och tidsplan	3
2.2 Logistikcenter.....	4
2.3 Byggprocessen i Hjorthagen	4
2.3.1 Sanering.....	5
2.3.2 Markarbete.....	5
2.3.3 Byggnation	6
3. Tidigare erfarenheter av samordnad bygglogistik.....	8
3.1 Hammarby Sjöstad	9
3.2 Potsdamer Platz, Berlin.....	9
3.3 London Construction Consolidation Center	9
4. Metodval	11
4.1 Referensscenario	11
4.1.1 Inbyggt material.....	11
4.1.2 Samlastningsgrad i logistikcenter	11
4.1.3 Vald metod: Följesedlar	12
4.1.4 Metodkritik, referensscenario	12
4.2 Logistikscenario	13
4.2.1 Metodkritik, logistikscenario	13
5. Utveckling av scenarier.....	14
5.1 Referensscenario	14
5.1.1 Kartläggning av transporter	14
5.1.2 Fordon.....	18
5.1.3 Energianvändning.....	20
5.1.4 Utsläpp.....	23

5.1.5 Transportavstånd.....	27
5.2 Logistikscenario	28
5.2.1 Kartläggning av transporter	28
5.2.2 Fordon.....	29
5.2.3 Energianvändning.....	31
5.2.4 Utsläpp.....	32
5.2.5 Transportavstånd.....	33
6. Resultat.....	34
6.1 Referensscenario	34
6.2 Logistikscenario	34
6.3 Referensscenario kontra logistikscenario	34
7. Känslighetsanalys.....	35
8. Diskussion	37
9. Slutsatser	39
10. Rekommendationer	40
10.1 Förslag till logistikcentrets utformning.....	40
10.2 Förslag till framtida forskning.....	41
Källförteckning.....	42
Rapporter	42
Elektroniska källor	43
Muntliga kontakter	43

1. BAKGRUND

Från Hjorthagen i norr, via Värtahamnen och Frihamnen, till Loudden i söder pågår just nu utvecklingen av en ny stadsdel som har fått namnet Norra Djurgårdsstaden. Omkring år 2025, då byggandet beräknas vara klart, kommer 10 000-15 000 nya bostäder samt 30 000 nya arbetsplatser att ha etablerats i stadsdelen. Upprättandet av Norra Djurgårdsstaden präglas av ett miljötänk såväl under byggprocessen som efter att de boende flyttat in i lägenheterna.

En mängd byggherrar, arkitekter och entreprenörer kommer att vara inblandade i byggandet av Norra Djurgårdsstaden. Samtidigt sker byggnationen i stadsmiljö med begränsad infrastruktur och lagerutrymme. Med andra ord finns ett behov att hantera och samordna byggtransporterna inom området.

Detta examensarbete ingår i projektet Citylogistik som är ett samarbetsprojekt mellan Sustainable Innovation AB, Stockholms stad, Posten AB och KTH – Industriell ekologi. Det övergripande syftet med Citylogistik är att demonstrera vilka potentiella förbättringar som kan realiseras genom en koordinerad transportlogistik i Norra Djurgårdsstaden. Ett demoprojekt i form av ett logistikcenter som hanterar byggtransporterna i Hjorthagen kommer tas i bruk i början av år 2013. Det är av stor vikt att demoprojektet utvärderas. Lärdom av logistiksamordningen ska kunna användas av andra liknande projekt och bidra till att logistikfrågor i stadsmiljö får mer utrymme i samhällsplaneringen.

Detta examensarbete syftar i huvudsak till att lägga en grund för kommande utvärdering av logistikcentret. För att kunna utvärdera demoprojektet krävs en kartläggning över hur situationen skulle sett ut utan en samordnad logistiklösning.

1.1 FRÅGESTÄLLNING

Hur stor energianvändning och miljöpåverkan står byggtransporterna för under byggandet i Hjorthagen och hur kan dessa faktorer förändras i och med en samordnad bygglogistiklösning?

1.2 SYFTE

Syftet med detta examensarbete är att beräkna byggtransporternas energianvändning och miljöpåverkan i Hjorthagen. Vidare är syftet att ge en översiktlig prognos över hur transportflödet och därmed energianvändningen och miljöemissionerna skulle kunna förändras i och med upprättandet av ett logistikcenter som hanterar byggtransporterna.

1.3 MÅL

Arbetet har delats in i två delmål:

1. Göra en uppskattning av antal transporter som kommer att krävas under byggandet av Hjorthagen samt beräkna transporternas energianvändning och miljöpåverkan ifall det planerade logistikcentret inte skulle tas i drift, i arbetet kallat referensscenario.
2. Göra en prognos över hur transportmängd, miljöemissioner och energianvändning skulle kunna förändras vid användandet av en gemensam bygglogistiklösning, i arbetet kallat logistikscenario.

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Examensarbetet har begränsats geografiskt till byggnationen i Hjorthagen och de transporter som uppkommer inom byggområdet.

Arbetet har även avgränsats till att endast kartlägga de transporter som dokumenterats av byggherrarna genom följesedlar. Med andra ord faller transporterna från sanerings- och markarbeten utanför examensarbetets ramar samt de avfallstransporter som bygget genererar. Inte heller de transporter som byggherrarnas underleverantörer står för har tagits med i arbetet.

En leverans har i arbetet motsvarats av två transporter, en in till avlämningsstället och en ut från avlämningsstället. För logistikcentralens fordon har dock en leverans motsvarats av en transport, eftersom fordonen har antagits åka i en slinga till olika avlämningsställen.

Den samordnade bygglogistiklösningen har bland annat för avsikt att minska trängseln och öka framkomligheten i byggområdet. En ökad framkomlighet borde minska tomgångskörning från eventuell köbildning och därmed reducera miljöemissionerna. I examensarbetet har dock inga beräkningar gjorts på tomgångskörning, varken i referens- eller logistikscenariot.

För delmålen utreds vilka konsekvenser byggmaterialtransporterna skulle få för energianvändning och miljön. Följande fyra aspekter har undersökts i arbetet:

- Energiförbrukning
- Fossil koldioxid (CO₂)
- Kväveoxider (NO_x)
- Partiklar

Utsläppen av koldioxid, kväveoxider och partiklar har undersökts eftersom de hör till trafiksektorns allvarligaste emissioner (Sunnerstedt, 2012). Dessa utsläpp har även varit i fokus i en liknande studie angående transporter under byggskedet av Hammarby Sjöstad (Ekerlund & Stuhmann, 2003).

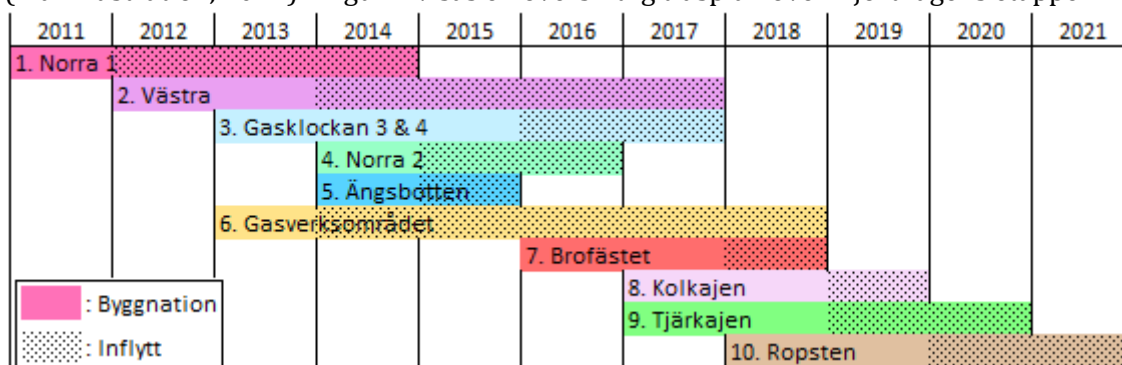
Miljöpåverkan har begränsats till de utsläpp som sker inom byggområdet. Med andra ord har bara de utsläpp som sker då fordonen förbrukar bränslet tagits med och inte utsläppen som uppkommer då bränslet produceras och distribueras. Ytterligare en aspekt som skulle kunnat tas med i arbetet är buller. En reduktion av transporter borde leda till minskat buller och en bättre arbets- och boendemiljö i Hjorthagen. Bullerberäkningar är dock av en mycket avancerad natur och föll utom examensarbetets ramar. Dessutom antogs att bullret från byggarbetsplatsen kommer att överstiga bullret från transporterna.

2. HJORTHAGEN

Examensarbetet har begränsats till den del av Norra Djurgårdsstaden som byggs i Hjorthagen. I följande kapitel ges en presentation av planerna och tillvägagångssättet i byggområdet.

2.1 ETAPPER OCH TIDSPLAN

Byggandet i Hjorthagen har delats in i tio etapper varav den första etappen, Norra 1, påbörjades år 2011 och den avslutande etappen, Ropsten, beräknas bli klar för inflyttning runt år 2020, (Planillustration, 2012). I figur 1 visas en översiktlig tidsplan över Hjorthagens etapper.



Figur 1. Översiktlig tidsplan för de tio etapperna i Hjorthagen.

Totalt kommer cirka 5 600 bostäder och cirka 47 500 m² lokalyta byggas i Hjorthagen. I figur 2 visas en översiktskarta över Hjorthagens etapper med ungefärlig placering av logistikcentret utmärkt. När logistikcentret tas i drift kommer den enda tillåtna infarten för byggtransporter in på området vara via Lidingövägen (Lennartsson, 2012).



Figur 2. Hjorthagens etapper samt placering av logistikcentret.

2.2 LOGISTIKCENTER

För att hantera transporterna till och från bygget kommer ett logistikcenter upprättas med placering i anslutning till Frihamnen på Ropstensparkeringen. Logistikcentrets tre basuppgifter kommer vara att:

1. Planera och övervaka de dagliga transporterna i området för att förebygga trafikstockningar och förseningar genom en trafiklots.
2. Lossa, lagra, omlasta och köra ut samlastat gods till byggområdet.
3. Sköta avfallshanteringen. Byggavfallet körs till logistikcentret där det komprimeras innan vidare transport.

Lotsfunktionen planeras vara i drift strax efter årsskiftet 2012/2013. Logistikcentrets samlastningsfunktion beräknas vara i drift cirka sex månader efter lotsen. Fördröjningen beror på att centrets IT-system måste köras in. IT-systemet kommer bland annat kartlägga vilka material som för tillfället lagras och när dessa ska köras ut till byggarbetsplatsen (Lennartsson, 2012).

Förutom de tre basuppgifterna kommer logistikcentret även erbjuda vissa tilläggstjänster som kan nyttjas av byggherrarna. Hur dessa kan komma att se ut är inte helt fastställt, men det kan röra sig exempelvis om att få:

- o Godset inlyft per våningsplan
- o Snöröjning
- o Övervakning
- o Avfallshantering per våningsplan
- o Möjlighet att hyra byggställning
- o Möjlighet att hyra småmaskiner
- o Möjlighet att köpa till exempel skruv och spik från en av logistikcentret upprättad järnvaruhandel.

Logistikcentrets lotsfunktion kommer vara obligatorisk för byggherrarna från och med Västra, Hjorthagens andra etapp (Infomöte, 2012).

2.3 BYGGPROCESSEN I HJORTHAGEN

Etableringen av en ny etapp kan sägas genomgå tre steg; sanering, markarbete och byggnation. De tre stegen genererar olika typer av transporter och kommer att påverkas på olika sätt av logistikcentrets drift. Tillvägagångssätt och materialtransporter för de tre stegen beskrivs översiktligt i kommande tre kapitel. Information har inhämtats med hjälp av intervjuer med platschefer på JM:s bygge i etapp Norra 1 samt ett av NCCs byggen i Sollentuna. Intervju har även gjorts med ansvarige för markarbetet i etapp Västra. Ytterligare underlag har införskaffats genom studier av mängdförteckningar över saneringen och markarbetet i etapp Västra.

I intervjuerna har det framgått att de beskrivna processerna (sanering, markarbete och byggnation) ger en generell bild av hur ett bygge går till i Norra Djurgårdsstaden. En jämförelse har också gjorts med byggnationen i Hammarby Sjöstad vilken överensstämde med den information som framkom i intervjuerna (Viaductor, 1999). En parameter som dock kan variera

stort från byggnation till byggnation är förhållandet mellan lösbetong (i arbetet kallad betong) och prefabricerade betongelement (Henriksson, 2012) (Ekström, 2012).

2.3.1 SANERING

Mellan 1893-1972 producerades gas i Hjorthagen. Gasproduktionen samt en del mindre industriverksamhet har gjort att halterna av främst PAH (polycykliska aromatiska kolväten) och metaller i marken är höga. En rad fyllnings- och schaktningsarbeten har under årens lopp gjort att föroreningar flyttats runt inom området. Saneringsbehovet skiljer sig därför stort både i plan- och djupled (Mängdbeteckning, 2012).

Under saneringsarbetet delas marken in i ett rutnät där varje ruta är 10 x 10 m. För varje ruta tas ett prov ned till 1 meters djup. Jord och schaktmassor som inte uppfyller miljökraven kan genomgå olika reningssteg för återanvändning alternativt läggas på deponi (Mängdbeteckning, 2012) (Spansk, 2012).

Transportmängderna av schakt och fyllningsmassa under saneringen för kommande etapper i Hjorthagen är svåra att uppskatta. Transporterna antas ha en hög fyllnadsgrad och påverkas inte av logistikcentret bortsett från att de passerar lotsen.

2.3.2 MARKARBETE

När etableringsområdet har sanerats är det dags att färdigställa infrastrukturen. Vägar anläggs och ledningar för el och tele samt rör för fjärrvärme, avlopp och vatten dras. En stor del av marken i Hjorthagen utgörs av gammal sjöbotten. Instabiliteten i marken gör att vägar måste förankras i den underliggande berggrunden med pålning. På pålarna gjuts betongplattor, så kallade påldäck. På påldäcken läggs cirka 3 m bärmassa av stenkross som avslutas med ett par lager asfalt (Spansk, 2012).

De sista markarbetena görs efter det att byggnaderna står klara och den påfrestande byggtrafiken avtagit. Marksten samt ett finare lager asfalt läggs och andra arbeten utförs för att möjliggöra en trivsamt boendemiljö (Spansk, 2012).

Husen har i regel källarplan vilket gör att grunden till byggnaderna kommer ligga lägre än markplan. Ytorna för byggnaderna måste därför avskärmas från vägbygget så att inte bärmassa rasar ned. Avskärmningen görs med så kallad vinkelmur eller T-stöd som består av stora betongfundament med stadig grund. Stöden placeras 1 m utanför husgränsen, se figur 3 (Spansk, 2012).

De avskärmade husgrunderna utgör goda lagringsutrymmen för betongfundament och rördelar. Materialen kan anses tåliga och är inte känsliga för hantering eller väderlek. Detta gör att markarbetsperioden präglas av stora fullastade transporter som inte anses kunna samlastas av logistikcentret. Däremot kommer transporterna passera genom logistikcentrets lots.



Figur 3. Pågående markarbeten i etapp Västra. Ytan för kommande husbyggnation utgör goda lagringsmöjligheter för bland annat rördelar.

2.3.3 BYGGNATION

När den grundläggande infrastrukturen är på plats ges byggherrarna tillträde till området. Bodar och kranar beställs in och monteras och elektricitet dras till arbetsplatsen. Husgrunderna måste, precis som vägarna, stabiliseras med påverk ned till berggrunden. På pålarnas gjuts en bottenplatta. Våning för våning byggs husen upp. Antingen kan prefabricerade väggar användas eller så gjuts väggar på plats (Henriksson, 2012) (Ekström, 2012).

De prefabricerade väggstommarna utgörs antingen av utfackningsväggar eller av skalväggar. Utfackningsväggarna består i huvudsak av stål- eller träreglar med en ytterskiva av ett väderbeständigt material. Utfackningsväggarna används där väggen inte behöver bära mycket tyngd. Utfackningsväggarna är lätta att isolera och få täta och används ofta som fasadstommar. Utfackningsväggarna har ofta redan färdigmonterade fönster när de anländer till bygget (Henriksson, 2012) (Ekström, 2012).

Skalväggarna består av två betongskivor med en färdigarmerad luftspalt emellan. Efter att skalväggen satts på plats gjuts betong i luftspalten. Alternativet till skalväggar är att gjuta stommarna på plats. Fördelen med skalväggarna är att inga gjutformar behöver byggas vilket sparar tid på byggarbetsplatsen. Till vänster i figur 4 visas en transport med skalväggar till etapp Norra 1 i Hjorthagen.

Golvet/taket mellan varje våningsplan anländer delvis prefabricerat till byggarbetsplatsen som så kallat plattbärlag. Plattbärlaget består av cirka 5 cm tjock betong och har färdiga öppningar där el kan dras för belysning, se figur 4 till höger. I detta skede involveras även rörmokaren som lägger rör för vatten och avlopp i golvet. När elektrikern och rörmokaren är klara armeras det blivande golvet och cirka 20 cm betong gjuts på toppen av plattbärlaget (Henriksson, 2012).



Figur 4. Till vänster: Transport med skalväggar. Till höger: Plattbärlag. Lägg märke till att betongelementet är delvis färdigarmerat samt att eldragning för exempelvis taklampor redan är förberedd.

När husets stommar är uppbyggda och yttertaket lagt kan inredningsarbetet påbörjas. Väggar målas och golv läggs. Kök- och badrumsinredning monteras tillsammans med foder, socklar och innerdörrar. Utsidan av husen isoleras, putsas och målas.

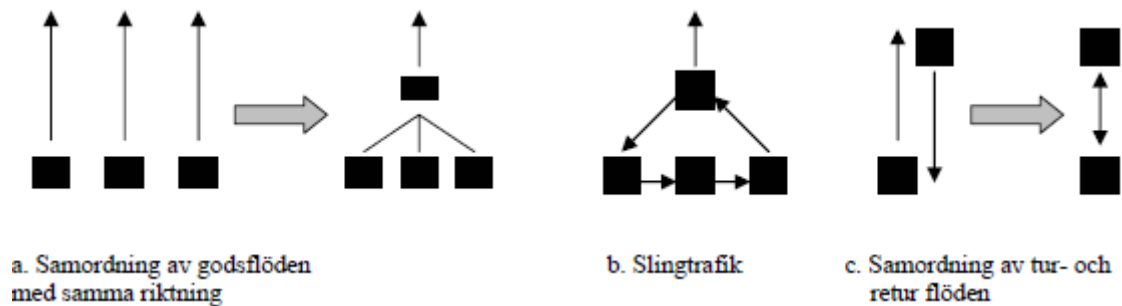
Byggtransporternas fyllnadsgrad varierar beroende på materialtyp men är i regel mindre än för sanerings- och markarbetestransporterna. En del material är så pass tidskritiska att hela bygget stannar upp vid försening. Till de tidskritiska godsen hör stommarna. Många av materialen är dessutom känsliga att hantera och kan även förstöras av väder och vind (Henriksson, 2012) (Ekström, 2012). Dessa egenskaper gör byggmaterial intressanta ur ett logistikperspektiv då

potential finns för både samlastning och lagring i logistikcentret. Tyngdpunkten i arbetet har därför lagts på transporterna under byggnationen.

3. TIDIGARE ERFARENHETER AV SAMORDNAD BYGGLOGISTIK

I följande kapitel ges en kort genomgång av logistikteori samt några exempel där samordnad logistik har tillämpats i samband med stora byggprojekt.

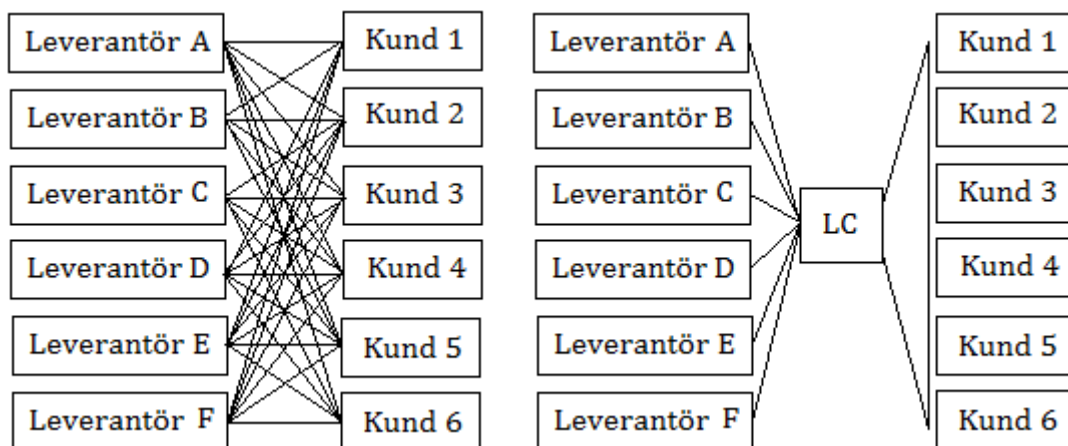
Logistik avser läran om effektiva materialflöden. Detta examensarbete har inriktats på bygglogistik och i huvudsak om att optimera en varuleverans från punkt A till punkt B genom planering, styrning och samordning. Vilken distributionsmodell som är bäst lämpad beror på materialflödet och i figur 5 visas några exempel.



Källa: Ekerlund & Stuhmann, 2003

Figur 5. Exempel på logistiksamordning av godsflöden.

Ett logistikcenter kan verka som spindeln i nätet där varor kan lagras och samlas innan transport till kund. I figur 6 illustreras hur transportflödena kan minska i och med ett logistikcenter som samlar leveranserna.



Figur 6. Exempel på transportflöden utan och med samordnad logistik mellan leverantör och kund. Ett logistikcenter (LC) samordnar transporterna och kör i en slinga ut till kunderna.

Under en byggnation sker ett stort flöde av material in till byggarbetsplatsen. Avsaknaden av vissa material, som till exempel betong, riskerar att stanna upp hela bygget. Samtidigt skapar för stora materialleveranser oordning på bygget vilket kan leda till ineffektivitet och materialförstörelse av väder och onödig hantering. Materialflöden spelar med andra ord en stor roll för hur lyckad byggnationen blir.

I rapporten *CityLogistics: International Experience of Urban Logistics Projects, with Reference to Classification and Evaluation* (Beitoei, 2012) listas urbana logistikprojekt (både varu- och

bygglogistik) som utförts under det senaste årtiondet. För bygglogistik förs följande tre projekt fram:

- Hammarby Sjöstad, Stockholm
- Potsdamer Platz, Berlin
- London Construction Consolidation Centre, London

I kommande avsnitt ges en kort beskrivning av dessa tre projekt.

3.1 HAMMARBY SJÖSTAD

Byggandet av stadsdelen Hammarby Sjöstad påbörjades under 2001 och beräknas bli klart år 2015. Totalt kommer cirka 11 000 bostäder och cirka 150 000 m² lokalyta att ha etablerats i området (hammarbysjostad.se, 2012). Ett logistikcenter togs i drift år 2003 vid infarten till byggområdet och verkade under tre år. Målet med logistiksamordningen var att minska de lättare transporterna, reducera energianvändningen, minska utsläppen av CO₂, NO_x och partiklar samt förbättra arbets- och levnadsvillkoren i området (Trendsetter, 2006).

Logistikcentret samlastade byggmaterial som anlände i leveranser mindre än fyra pallar. Ett webbaserat datasystem användes för att koordinera transporterna och planera materialflödena. Logistiklösningen utvärderades med hjälp av data insamlad under centrets driftperiod samt intervjuer med de inblandade aktörerna och fallstudier (Beittoi, 2012).

Resultatet från bygglogistiksamordningen i Hammarby Sjöstad visade på stora miljövinster där utsläppen av koldioxid, kväveoxider och partiklar beräknades reduceras med cirka 90 procent (Beittoi, 2012).

3.2 POTSDAMER PLATZ, BERLIN

Mitt i centrala Berlin påbörjades år 2000 uppbyggandet och restaureringen av Potsdamer Platz. Under byggnationen var Potsdamer Platz en av Europas största byggarbetsplatser. Med tanke på byggets storlek samt det centrala läget var det nödvändigt att samordna byggtransporterna. Ett logistikcenter upprättades i anslutning till två godsjärnvägsstationer som varit ur bruk sedan andra världskriget. Järnvägsstationerna rustades upp för att kunna transportera byggmaterial och dessutom nyttjades sjötransporter längs med Landwehrkanalen. För att minska betongtransporterna genom Berlin upprättades två betongverk inom området (LIP-kansliet, 2000).

I detta examensarbete har inga resultat kunnat hittas över hur den samordnade bygglogistiken i Potsdamer Platz påverkat energianvändningen och miljöemissionerna. Däremot går att läsa att byggprojektet kunde slutföras sex månader tidigare än beräknat, mycket tack vare logistiksamordningen. Det lyckade resultatet medförde att Tyskland införde en bygglogistikpolicy för alla stora byggprojekt i landet (Goldman & Gorham, 2006).

3.3 LONDON CONSTRUCTION CONSOLIDATION CENTER

I södra London, närmare bestämt South Bermondsey, etablerades år 2005 ett logistikcenter som skulle hantera transporter till fyra olika byggarbetsplatser i London. Logistikcentret verkade under två år. Målet med logistiksamordningen var att minska byggtransporterna och därmed reducera köbildning och miljöutsläpp i London (Transport for London, 2008).

Två olika metoder användes för att avgöra resultatet av logistiksamordningen. Den ena metoden var att mäta antalet transporter som kom in till logistikcentret och jämföra dessa med antal transporter ut från logistikcentret till byggarbetsplatserna. Den andra metoden gick ut på att mäta antal materialbeställningar från byggarbetsplatserna och precis som ovan jämföra dessa med transporterna ut från logistikcentret. Resultatet visade på 60-70 procents reduktion i antal transporter till byggområdena. Koldioxidutsläppen uppskattas ha minskat med 70-80 procent (Transport for London, 2008).

4. METODVAL

De transporter som har störst potential att reduceras i och med en samordnad bygglogistiklösning är de som härrör till husbyggnationerna (se avsnitt 2.3). Examensarbetet har därför inriktat sig på att kartlägga dessa transporter för referensscenariot respektive logistikscenariot. I följande kapitel presenteras vilka metoder som har använts i liknande studier samt metodvalet för detta examensarbete.

4.1 REFERENSSCENARIO

Följande metoder har kunnat identifieras i liknande studier för att hitta antalet transporter till en byggplats utan samordnad bygglogistik:

- Inbyggt material
- Samlastningsgrad i logistikcenter

De två metoderna beskrivs kort i följande kapitel. I kapitel 4.1.3 presenteras det tillvägagångssätt som valt att användas i detta examensarbete.

4.1.1 INBYGGT MATERIAL

Ett sätt att uppskatta byggtransporter är att räkna på massan inbyggt material i ett hus. I rapporten *Hammarby Sjöstad - Logistik under byggnadstiden* (Viaductor, 1999) har transporter under byggskedet av Hammarby Sjöstad kartlagts med hjälp av denna metod. I rapporten görs bland annat följande avgränsning:

Det är endast de ur vikts- och volymprocent väsentliga byggmaterialen som utredningen tagit fasta på. Detta är huvudsakligen stommaterial och viss stomkomplettering.

Metoden missar med andra ord lättare transporter med till exempel verktyg och maskiner. I detta examensarbete har det varit viktigt att få med de lättare transporterna eftersom godsens i dessa transporter skulle kunna samlastas i logistikcentret.

Metoden med inbyggt material har även använts i en undersökning av Norra Djurgårdsstadens transporter: *Förutsättningar för samordnad godstrafik inom Norra Djurgårdsstaden i Stockholm* (Pettersson et al., 2010). I rapporten beräknas att 230 000 transporter skulle genereras under byggandet av 6 700 bostäder och 350 000 m² lokalyta i Hjorthagen och Värtahamnen. Den större delen, 57 procent, av dessa transporter faller inom kategorin "övrigt" vilken enligt studien innehåller material för stomkomplettering, fönster, installationer, ventilation, inredning, balkonger, plåtarbeten med mera. Förhoppningen i detta arbete har varit att hitta en metod som kan dela upp kategorin "övrigt" i mer högupplöst data av material och mängder.

4.1.2 SAMLASTNINGSGRAD I LOGISTIKCENTER

I examensarbetet *Miljövinster i samband med Hammarby Sjöstad Logistikcenter* (Ekerlund & Stuhmann, 2003) använts en annan metod för att beräkna antal transporter, i detta fall under byggandet av Hammarby Sjöstad. Metoden utgår från en beräknad alternativt uppskattad samlastningsgrad. Samlastningsgrad definieras som kvoten mellan in- och utleveranser till

logistikcentret. När examensarbetet utfördes var således logistikcentret i Hammarby Sjöstad redan i drift. Metoden gick i korta drag ut på följande sätt:

Under en dag mättes hur många direkttransporter respektive transportrundor med logistikcentrets fordon som körde in i byggområdet. Antalet logistikfordon multiplicerades sedan med en uppskattad samlastningsgrad för logistikcentralen och därmed kunde resultat fås för hur transportantalet per dag skulle sett ut utan logistiklösningen.

Denna metod är inte möjlig att använda i detta arbete eftersom logistikcentret i Norra Djurgårdsstaden ännu ej är i drift. När centret väl är i drift kommer varje dags in- och uttransporter registreras och när tillräckligt mycket data har inhämtats kan en uträkning som ovanstående göras.

4.1.3 VALD METOD: FÖLJESEDLAR

För varje materialtransport till en byggherre överlämnas en följesedel som ett kvitto på att leveransen skett. I detta arbete har informationen från cirka 1 500 följesedlar (leverantör, datum, typ av gods, vikt/volym/antal) från JM:s bygge i etapp Norra 1 dokumenterats.

Genom cirka fem intervjuer med de anställda på byggföretaget har transporterna delats in i olika materialkategorier. I intervjuerna har de olika materialkategorierna kunnat knytas till olika fordon. Klassificeringen av fordonen är hämtade från rapporten *Environmental Data for International Cargo Transport. Calculation Methods and Default Data* från Nätverket för Transporter och Miljön (NTM, 2010). Nätverket för Transporter och Miljön, NTM, är en ideell förening som skapat en erkänt användbar beräkningsmetod för miljöutsläpp från olika transporter (Ekerlund & Stuhmann, 2003). NTM:s beräkningsmetod har använts för att hitta bränsleåtgången och utsläppen från transporterna i referensscenariot. Transportsträckan inom byggområdet har uppskattats genom ett kartverktyg för distansmätning på nätet. Transporternas viktfyllnadsgrad (används vid beräkning av bränsleförbrukning) har uppskattats genom att utifrån följesedlarna beräkna en medelgodsvikt på inkommande transporter och sedan dividera denna med NTM-fordonens totala lastkapacitet. För en del transporter har inte godsvikten varit delgiven på följesedlarna och en fyllnadsgrad har då uppskattats bland annat med hjälp av siffror från NTM.

Antalet transporter från följesedlarna har förstörats upp till att gälla hela Hjorthagen. Detta har gjorts genom att dividera transporterna från följesedlarna med den bruttototalarea (BTA) som JM bygger och sedan multiplicera med hela Hjorthagens BTA. BTA definieras som arean av våningsplan, mätt från omslutande väggars utsida.

4.1.4 METODKRITIK, REFERENSSCENARIO

Hur bra är då metoden med följesedlar? När en metod för en fallstudie analyseras brukar tre begrepp användas; validitet, reliabilitet samt generaliseringsgrad.

Validitet (giltighet) är ett mått på om metoden verkligen genererat de resultat som metoden avsåg att ge. Syftet med den valda metoden med följesedlarna var att få med alla byggtransporter, även av de lättare slagen. Metoden missade dock en del transporter som i regel inte bokförs av byggherren. De missade transporterna är de som byggherrens underleverantörer står för. Underleverantörerna utgörs till exempel av rörmokare, elektriker, plåtslagare, ventilations- och takentreprenörer. Att transporterna i samband med

underentreprenörernas arbete inte omfattades av metoden kan sägas minska examensarbetets validitet. Dock borde metoden vara valid för transporter knutna direkt till byggherren.

Reliabilitet (pålitlighet) är ett mått på metodens robusthet. Skulle samma resultat erhållas om metoden användes igen? Eftersom det är första gången som metoden med följesedlar används i dessa sammanhang är reliabiliteten oviss. Ett sätt att öka reliabiliteten skulle vara att dokumentera ytterligare en eller två byggherrars följesedlar. En förhoppning i arbetet var att även bearbeta följesedlar från NCCs byggnation i Norra Djurgårdsstaden, men en sådan undersökning föll utanför examensarbetets tidsram.

Generaliserbarhet är ett mått på om undersökningen går att applicera på liknande situationer. För att en metod ska vara generaliserbar krävs att den både är valid och reliabel. Då metoden med följesedlar inte är vanligt förekommande krävs det att fler liknande studier görs med samma metod. Om resultaten blir desamma i studierna ökar rapportens generaliseringsgrad.

4.2 LOGISTIKSCENARIO

Inga tidigare tillämpade metoder hittades när det gäller att uppskatta hur ett framtida logistikcenter påverkar transportantalet. I de studier som berör ämnet har logistikcentret redan varit i drift (Ekerlund & Stuhmann, 2003) (Albinsson & Björnsdotter, 2002) alternativt redan avvecklats (Transport for London, 2008).

Då ett logistikcenter är i drift kan in- och utleveranser till centrumet mätas och ställas mot varandra för att få siffror på hur mycket transporterna minskar i och med samlastning. Då denna metod inte kunnat tillämpas i detta examensarbete har antaganden istället fått göras för att uppskatta samlastningspotentialen.

Genom intervjuer med byggherrarna JM och NCC har byggmaterialen från följesedlarna kategoriserats utefter om de skulle kunna samlastas eller inte. En uppskattning har sedan gjorts över antalet fordon från logistikcentret som behövs för att ersätta de samlastbara transporterna i ett logistikscenario. Uppskattningen har baserats på de samlastbara transporternas fyllnadsgrad och den troliga lastkapaciteten i logistikcentralens fordon.

4.2.1 METODKRITIK, LOGISTIKSCENARIO

Eftersom metoden bakom logistikscenariot bygger på antaganden blir resultatet validitet oviss. Resultatet i logistikscenariot får ses som en prognos där siffrorna skulle kunna hamna, men som bör genomgå närmare studier när logistikcentret är i drift för att ge ett säkrare resultat. En känslighetsanalys har utförts för att se hur resultatet påverkas av att logistikcentrets förutsättningar ändras.

5. UTVECKLING AV SCENARIER

I följande kapitel används de valda metoderna som presenterades i avsnitt 4 för att beräkna antal byggtransporter samt transporternas energianvändning och miljöpåverkan i form av nyckeltal. Nyckeltalen presenterar information per en enhet till exempel *transporter per 1000 m² BTA* eller *koldioxidutsläpp per km*. Nyckeltalen är framtagna, för att de lätt ska gå att jämföra med andra studier. Nyckeltalen används sedan i resultatkapitlet för att beräkna Hjorthagens totala transportantal och miljöbelastning.

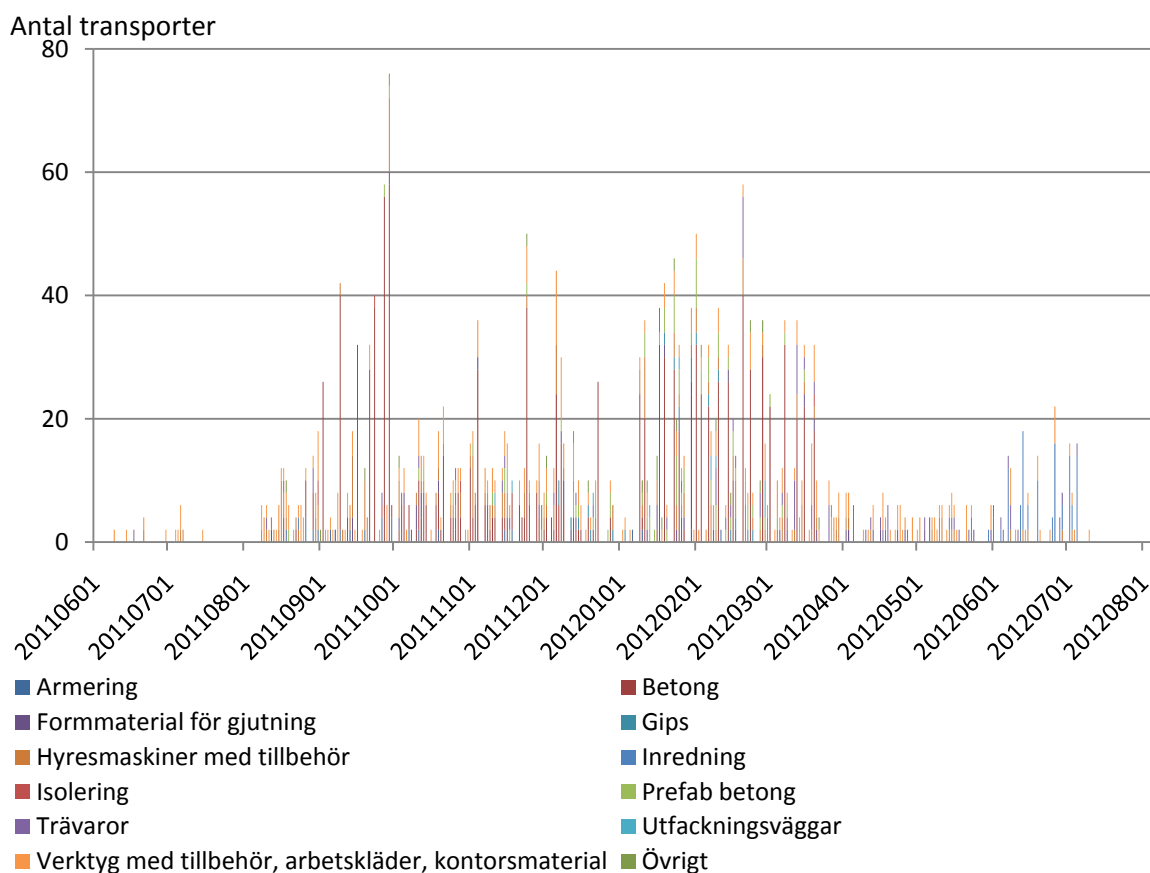
5.1 REFERENSSCENARIO

Referensscenariot beskriver antal transporter och miljöpåverkan under byggnationsperioden ifall ingen samordnad logistiklösning skulle ha upprättats. I följande kapitel presenteras en kartläggning av byggtransporterna samt transporternas energianvändning och miljöpåverkan.

5.1.1 KARTLÄGGNING AV TRANSPORTER

För att få en bild över antalet byggtransporter har byggföretaget JM kontaktats. JM har kontrakterats att bygga 69 lägenheter i etapp Norra 1, vilket motsvarar 9 939 m² BTA (inklusive garage). Inflyttning kommer att påbörjas i oktober 2012.

Följesedlar från godstransporter till JM:s bygge i etapp Norra 1 har dokumenterats under perioden 110601–120808. I figur 7 visas transporternas utbredning under den period som följesedlarna kartlades.

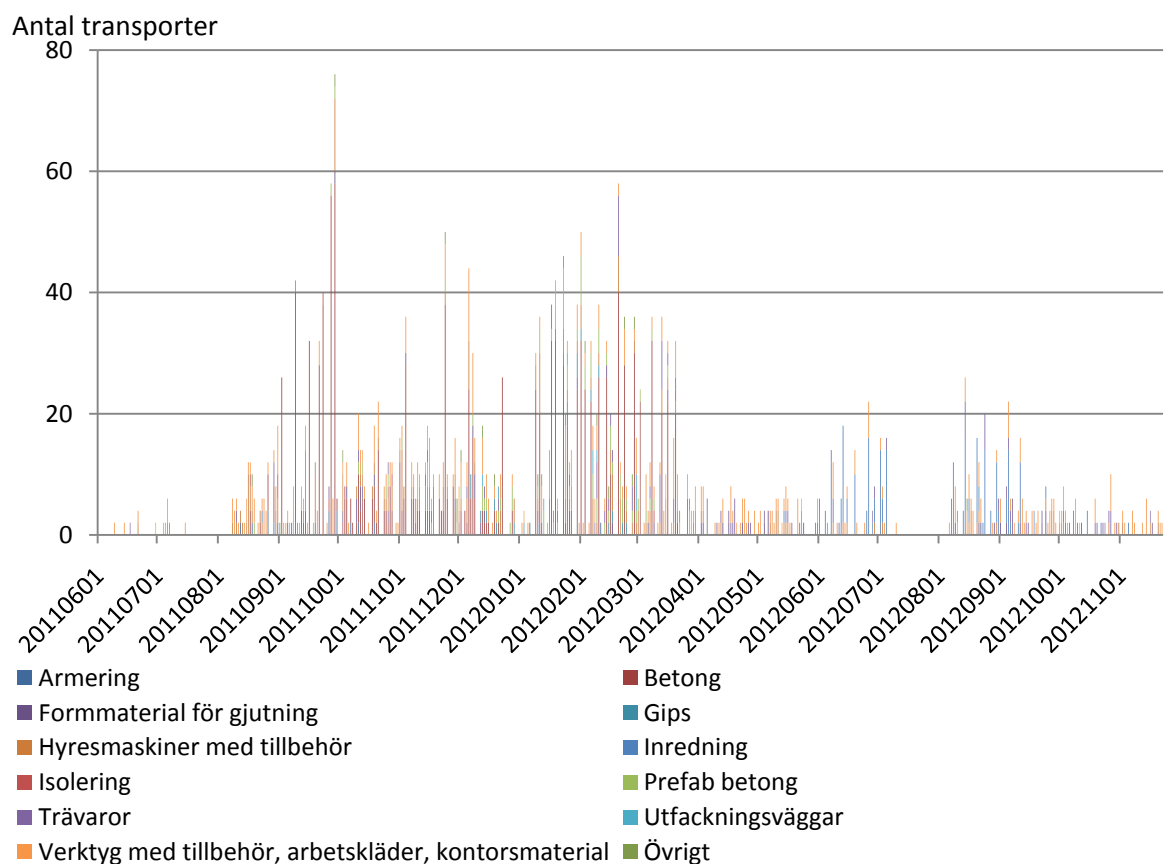


Figur 7. Transporternas utbredning i tid för respektive byggnadsmaterial. Under julhelgen och semestern i juli månad anlände nästan inga transporter till bygget.

Bygget beräknas vara helt klart den 22a november år 2012. Därmed saknas information om transporter under byggets sista månader. För att fylla informationsgapet på 106 dagar från 120808, då de sista följeseدلarna kartlades, till den 22a november 2012 då bygget beräknas stå klart har följande tillvägagångssätt använts:

Transportmängden från perioden 120321–120704, det vill säga de 106 dagarna innan bygget avstannade för semester har adderats till perioden efter 120808. Eftersom byggnadernas stommar är färdigbyggda borde inga eller väldigt få transporter av denna typ anlända medan transporter med trävaror, verktyg och hyresmaskiner med stor sannolikhet fortsätter komma.

I figur 8 visas utbredningen av transporter efter att perioden förlängts till att gälla hela bygget.



Figur 8. Transporternas utbredning efter att extraheringen av data utförts.

Här bör tilläggas att transporter med inredningsmaterial genomgått en annan procedur än övriga byggnadsmaterial. Datum och transportantal för inredning var väl planerade (på minuten) över hela byggnadsperioden. Därför användes den datan för inredningstransporterna då det antas ge en exaktare bild än att extrahera data som för de övriga materialen.

I samarbete med JM har byggmaterialen kategoriserats utifrån fyra egenskaper. Dessa egenskaper har ansetts viktiga för hur materialen kan komma att hanteras av logistikcentret. De fyra egenskaperna beskrivs närmare nedan:

- **Kassationsrisk:** Anger om byggmaterialet riskerar att skadas eller förstöras vid hantering och/eller av väderlek.
- **Tidskritisk:** Ett tidskritiskt byggmaterial är av stor vikt för det fortsatta byggandet och riskerar att stanna upp bygget om det inte når avlastningsplatsen i tid. De tidskritiska materialleveranserna anländer till bygget i samband med att de ska användas.
- **Låg fyllnadsgrad:** Ett byggmaterial som endast utgör en mindre del av transportens lastkapacitet (både vikt- och volymmässigt) har tilldelats egenskapen "låg fyllnadsgrad". Materialet skulle kunna samköras med andra gods för att öka transporternas fyllnadsgrad och effektivitet.
- **Behov av lagring:** Ett byggmaterial med lagringsbehov anländer i regel i stora lass, men behövs endast i mindre portioner under byggnationen. Materialet tar därmed upp plats och skulle med fördel kunna lagras i logistikcentret tills det ska användas.

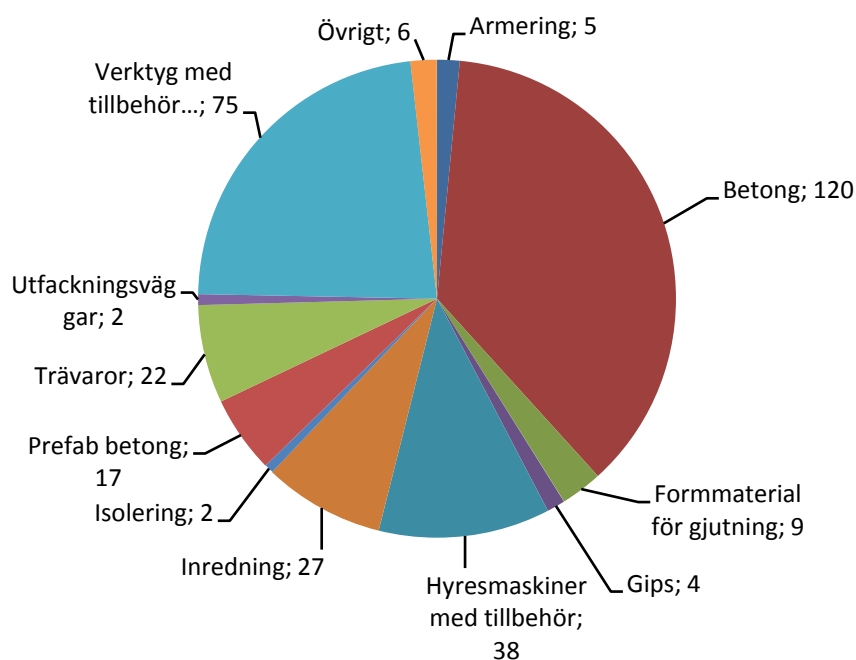
Byggmaterialen har delats in i 12 kategorier, se tabell 1. Utifrån information om godsvikt på följesedlarna har transporternas viktsfyllnadsgrad, F, beräknats för varje materialkategori. Viktsfyllnadsgraden definieras som andelen av fordonets totala lastkapacitet som godset utgör. Beräkningarna för transporternas fyllnadsgrad har utförts i avsnitt 5.1.3. Viktsfyllnadsgraden behöver vara känd för att bestämma transporternas bränsleförbrukning då ett tungt lastat fordon drar mer bränsle än ett lätt lastat. Trots att en transport har låg viktsfyllnadsgrad kan den ändå vara fullastad eftersom vissa material tar stor plats volymetriskt.

Materialen i kategori 5 (hyresmaskiner med tillbehör) och kategori 11 (verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial) antas utgöra en mindre viktsfyllnadsgrad än den angivna på 40 procent. Byggmaterialet antas samköras med andra materialleveranser och totalt sett uppskattats transporterna ha en viktsfyllnadsgrad på 40 procent.

Tabell 1. Byggmaterialen har delats in i 12 kategorier med liknande egenskaper som är av vikt för de kommande beräkningarna.

	Materialkategori	Kassations- risk	Tidskritisk	Låg fyllnadsgrad	Behov av lagring	F [%]
1.	Armering	Nej	Nej	Nej	Ja	30
2.	Betong	Nej	Ja	Nej	Nej	90
3.	Formmaterial för gjutning	Nej	Ja	Nej	Nej	10
4.	Gips	Ja	Nej	Nej	Ja	80
5.	Hyresmaskiner med tillbehör	Nej	Nej	Ja	Nej	40
6.	Inredning	Ja	Nej	Nej	Ja	10
7.	Isolering	Ja	Nej	Nej	Ja	3
8.	Prefab betong	Nej	Ja	Nej	Nej	70
9.	Trävaror	Ja	Nej	Nej	Ja	10
10.	Utfackningsväggar	Ja	Ja	Nej	Nej	30
11.	Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial	Nej	Nej	Ja	Nej	40
12.	Övrigt	Nej	Nej	Ja	Ja	30

Antalet transporter för varje materialkategori har dividerats med den bruttototalyta (BTA) som JM bygger. BTA definieras som arean av våningsplan, mätt från omslutande väggars utsida. Antal transporter per 1 000 m² BTA för respektive materialkategori redovisas i figur 9. Observera att en materialfrakt till bygget har beräknats generera två transporter, en in till avlämningsplatsen och en ut från bygget.

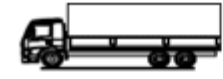
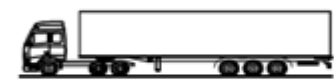


Figur 9. Antal byggtransporter per 1 000 m² BTA samt per material.

5.1.2 FORDON

Materialkategorierna har tilldelats ett fordon som har antagits vara det mest typiska för respektive godstransport. Fordonstyperna har bundits till de olika materialkategorierna i diskussion med JM och NCC. Fordonen är hämtade från rapporten *Environmental Data for International Cargo Transport. Calculation Methods and Default Data*. (NTM, 2010) och presenteras i tabell 2.

Tabell 2. Fordonstyper med lastkapacitet och dimensioner.

Nr	Illustration	NTMs nomenklatur	Lastkapacitet			Längd (cirka) [m]
			[ton]	[pallar]	[m ²]	
1		(LCV) Pick-up	0,6	1	3 - 6	5
2		(LCV) Van	1,5	3 - 5	10	7
3		(HGV) Small lorry/truck	5	14	35	8
4		(HGV) Medium lorry/truck	7	24	44	12
5		(HGV) Large lorry/truck	15	24	44	12
6		(HGV) Tractor + "city-trailer"	15-16,5	20 - 28	50 - 64	12 - 15
7		(HGV) Lorry/truck + trailer	22	36	104	18,75
8		(HGV) Tractor + semi-trailer	26	33	92	16,5
9		(HGV) Tractor + MEGA-trailer	33	33	110	16,5
10		(HGV) Lorry/truck + trailer or semi-trailer on dolly	40	51	140	24 - 25,25

LCV = Light Commercial Vehicle

HGV = Heavy Goods Vehicle

Genom diskussioner med JM och NCC har olika fordonstyper kunnat knytas till olika byggmaterialtransporter, dock inte i samma "upplösning" som fordonen i tabell 2. Till exempel antas materialet "prefabricerade betongelement" komma i en "tung lastbil ofta med släp". Vilken av fordonstyperna i tabell 2 som bäst representerar denna transport är svårt att säga. Antagligen kommer materialet i en jämn fördelning av fordonstyperna nummer 7 - 10. För de materialtransporter där fler än ett fordon vart vanliga har medelvärden beräknats utifrån fordonen.

I tabell 3 redovisas vilka fordon som knutits till respektive material.

Tabell 3. Typiska fordon för respektive materialkategori. De material som har knutits till fler än ett fordon antas transporteras i en jämn fördelning av dessa och ett medelvärde har beräknats för lastkapaciteten.

Materialkategorier	Fordon från NTM		Lastkapacitet		
	Illustration	Nomenklatur	[ton]	[pallar]	[m ³]
11. Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial		»(LCV) Van	1,5	3 - 5	10
5. Hyresmaskiner med tillbehör		»(HGV) Small lorry/truck	5	14	35
4. Gips		»(HGV) Medium lorry/truck	7	24	44
2. Betong 9. Trävaror 12. Övrigt	 	»(HGV) Large lorry/truck »(HGV) Tractor + "city-trailer"	15,3	24	50,5
1. Armering 3. Formmaterial för gjutning 6. Inredning 7. Isolering 8. Prefab betong 10. Utfackningsväggar	   	»(HGV) Lorry/truck + trailer »(HGV) Tractor + semi-trailer »(HGV) Tractor + MEGA-trailer »(HGV) Lorry/truck + trailer or semi-trailer on dolly	30,3	30,7	111,5

LCV = Light Commercial Vehicle

HGV = Heavy Goods Vehicle

5.1.3 ENERGIANVÄNDNING

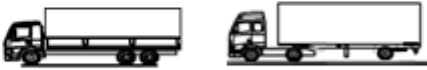
Beräkningar och antaganden i detta avsnitt har gjorts baserat på metoder och data hämtade från Nätverket för Transporter och Miljön, NTM. Drivmedlet har beräknat utgöras av europeisk diesel. Energiinnehållet i den europeiska dieseln ligger på 9,94 kWh/l.

Transporternas bränsleförbrukning påverkas av:

- viktsfyllnadsgrad
- körsätt
- motortyp

Bränsleförbrukningen för fordonskategorierna har beräknats för 0 respektive 100 procents viktsfyllnadsgrad, se tabell 4. Observera att de lättare fordonen som antas köra materialkategori 11 och 5 har en fyllnadsgrad på 40 %. Vägtypen är satt till "mättad stadstrafik" vilket antas bäst beskriva körsättet inne på byggarbetsplatsen. Motorklassen har i samråd med ansvariga för NTM satt till EURO IV vilken kan antas vara ett medelvärde för svenska transporter (Swahn, 2012).

Tabell 4. Bränsle- och energiförbrukning för de 10 fordonskategorierna med 0 respektive 100 % - viktsfyllnadsgrad. För det första fordonet (van) gäller 40 % -viktsfyllnadsgrad.

Materialkategorier	Fordon från NTM Illustration	Dieselförbrukning stadstrafik [l/km]		Energiförbrukning stadstrafik [kWh/km]	
		0 % last	100 % last	0 % last	100 % last
11. Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial*		0,168	0,168	1,67	1,67
5. Hyresmaskiner med tillbehör*		0,139	0,165	1,38	1,64
4. Gips		0,235	0,299	2,34	2,97
2. Betong 9. Trävaror 12. Övrigt		0,354	0,493	3,52	4,90
1. Armering 3. Formmaterial för gjutning 6. Inredning 7. Isolering 8. Prefab betong 10. Utfackningsväggar		0,442	0,759	4,40	7,54

*Gäller 40 % last

En medelförbrukning har beräknats för respektive fordonskategorierna. Medelförbrukningen har baserats på den medelfyllnadsgrad som fordonen beräknats ha. Medelfyllnadsgraden F har beräknats utifrån mängderna på följesedlarna från JM, med hjälp av formeln

$$F = m/M \quad (1)$$

där m är medelgodsvikten för respektive materialkategori och M är fordonets lastkapacitetsvikt. I kategorierna där flera fordon ingår har en medellastkapacitet använts.

Bränsleförbrukningen för transporten in på byggområdet B_{in} fås genom

$$B_{in} = B_0 \% + (B_{100 \%} - B_0 \%) \cdot F \quad (2)$$

där $B_0 \%$ är transportens bränsleförbrukning vid 0 procents fyllnadsgrad och $B_{100 \%}$ är transportens bränsleförbrukning vid 100 procents viktsfyllnadsgrad.

Förutom materialkategori nummer 5 (Hyresmaskiner med tillbehör) och materialkategori 11 (Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial) antas transporter lämnat byggområdet tomma. För de övriga två materialkategorierna antas transporter både anlända och utgå från byggområdet med 40 procent lastkapacitet. Genomgången av JM:s följesedlar har visat att dessa transporter i regel lämnar mindre försändelser som inte påverkar bilens totala lastkapacitet. En fyllnadsgrad på 40 procent anses i arbetet vara en trolig medelfyllnadsgrad på dessa transporter. En fyllnadsgrad på 40 procent anges även i rapporten *Environmental Data for International Cargo Transport* (NTM, 2010) som ett troligt genomsnittligt värde för fordonstypen "van".

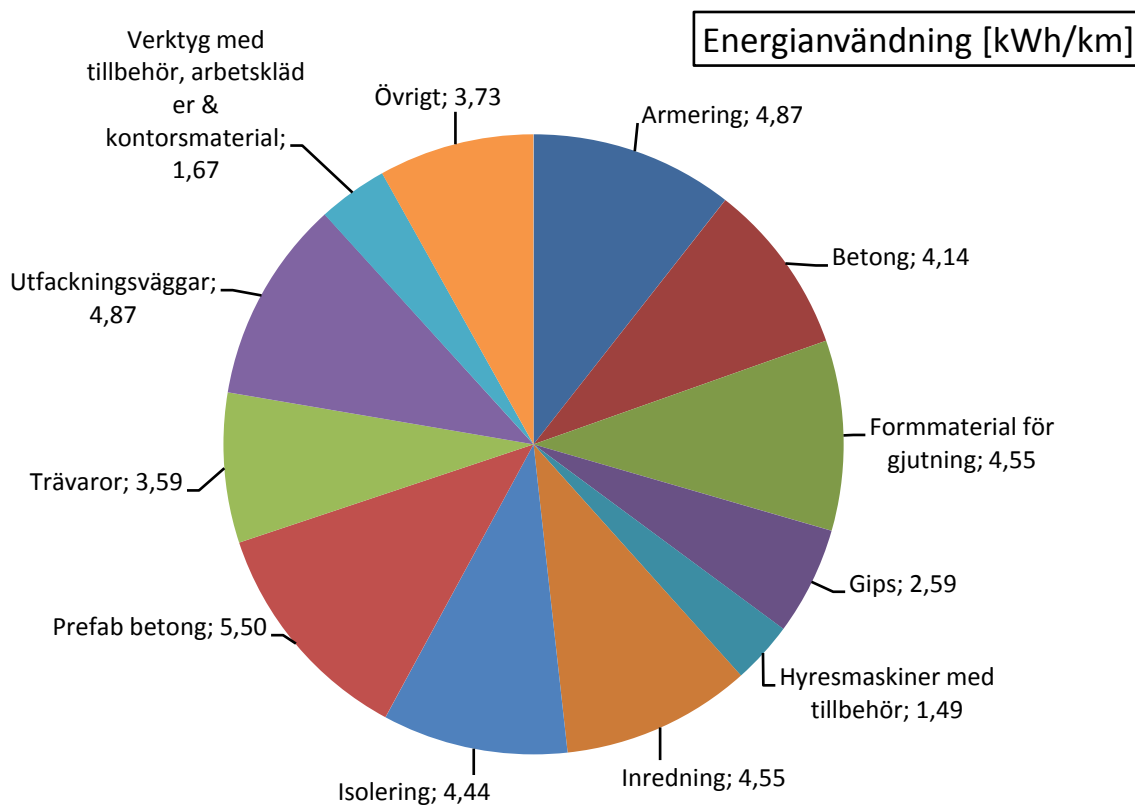
För materialkategori nummer 6, inredning, har ingen medelgodsvikt kunnat fås från följesedlarna. Viktsfyllnadsgraden har därför fått uppskattats och satts till 10 procent. Inredningsmaterial är i regel skrymmande och volymen sätter stopp för hur mycket lastbilarna kan lastas. Materialen är också vanligen relativt lätta och därför antas viktsfyllnadsgraden inte uppgå till mer än 10 procent. I tabell 5 redovisas transporternas bränsle- och energiförbrukning.

Tabell 5. Transporternas bränsle- och energiförbrukning där m motsvarar medelgodsvikten och F medelfyllnadsgraden för respektive materialkategori.

Materialkategori	Från följesedlar		Dieselförbrukning [l/km]			Energiförbrukning [kWh/km]		
	m [kg]	F [%]	In	Ut	Medel	In	Ut	Medel
1. Armering	9 700	30	0,537	0,442	0,489	5,34	4,40	4,87
2. Betong	13 200	90	0,479	0,354	0,417	4,76	3,52	4,14
3. Formmaterial för gjutning	3 800	10	0,474	0,442	0,458	4,71	4,40	4,55
4. Gips	5 400	80	0,286	0,235	0,261	2,85	2,34	2,59
5. Hyresmaskiner med tillbehör	-	40	0,149	0,149	0,149	1,49	1,49	1,49
6. Inredning	-	10	0,474	0,442	0,458	4,71	4,40	4,55
7. Isolering	1 000	3	0,451	0,442	0,447	4,49	4,40	4,44
8. Prefab betong	22 200	70	0,664	0,442	0,553	6,60	4,40	5,50
9. Trävaror	1 300	10	0,368	0,354	0,361	3,66	3,52	3,59
10. Utfackningsväggar	9 000	30	0,537	0,442	0,489	5,34	4,40	4,87
11. Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial	-	40	0,168	0,168	0,168	1,67	1,67	1,67
12. Övrigt	4 100	30	0,396	0,354	0,375	3,94	3,52	3,73

Transportsträckan till och från avlämningsplatsen antas vara lika lång. Därmed kan det framräknade medelvärdet på bränsleförbrukningen för lastad respektive olastad transport användas vid framräkning av total bränsleförbrukning.

Medelenergibehovet för materialtransporterna redovisas i figur 10 och ligger till grund för beräkning av referensscenariots energianvändning.



Figur 10. Materialtransporternas energianvändning angivet i enheten kWh per kilometer.

5.1.4 UTSLÄPP

Vägtransporter ger upphov till en rad miljöfarliga utsläpp där koldioxid, kväveoxider och partiklar hör till de allvarligaste. Uppkomst och påverkan skiljer sig för de tre emissionerna:

- **Koldioxid (CO₂):** Koldioxid bildas vid förbränning av bränslen innehållande kol. Vid förbränningen bildas även den mycket hälsofarliga föreningen kolmonoxid (CO). Utsläppen av kolmonoxid har dock minskat i och med användandet av katalysatorer i fordon. I kommande beräkningar antas att allt kol i bränslet omvandlas till koldioxid (NTM, 2012).

Koldioxidutsläppen bidrar till jordens växthuseffekt och påskyndar den globala uppvärmningen. Så kallad fossil koldioxid brukar skiljas från förnyelsebar koldioxid. Den förnyelsebara koldioxiden antas ingå i jordens naturliga kretslopp (NTM, 2012).
- **Kväveoxider (NO_x):** Kväveoxider bildas av upphettad luft runt om motorer. Luftens innehåll av kväve och syre reagerar vid den höga temperaturen och bildar främst NO och NO₂ (NTM, 2012).

Kväveoxider kan påverka både hälsa och miljö negativt. Bland annat kan kväveoxiderna ingå i reaktioner där marknära ozon bildas och de bidrar även till försurning och övergödning (Ekerlund & Stuhmann, 2003).
- **Partiklar (PM):** Partiklar av olika konstellationer bildas i förbränningsmotorer. Partiklarna kommer också från vägslitage vilket ökar ifall fordonen har dubbdäck. Dieselmotorer genererar i regel mer partiklar än bensinmotorer (Ekerlund & Stuhmann, 2003).

Partikelutsläpp påverkar människors hälsa negativt och kan öka risken för cancer samt hjärt- och kärlsjukdomar (Ekerlund & Stuhmann, 2003).

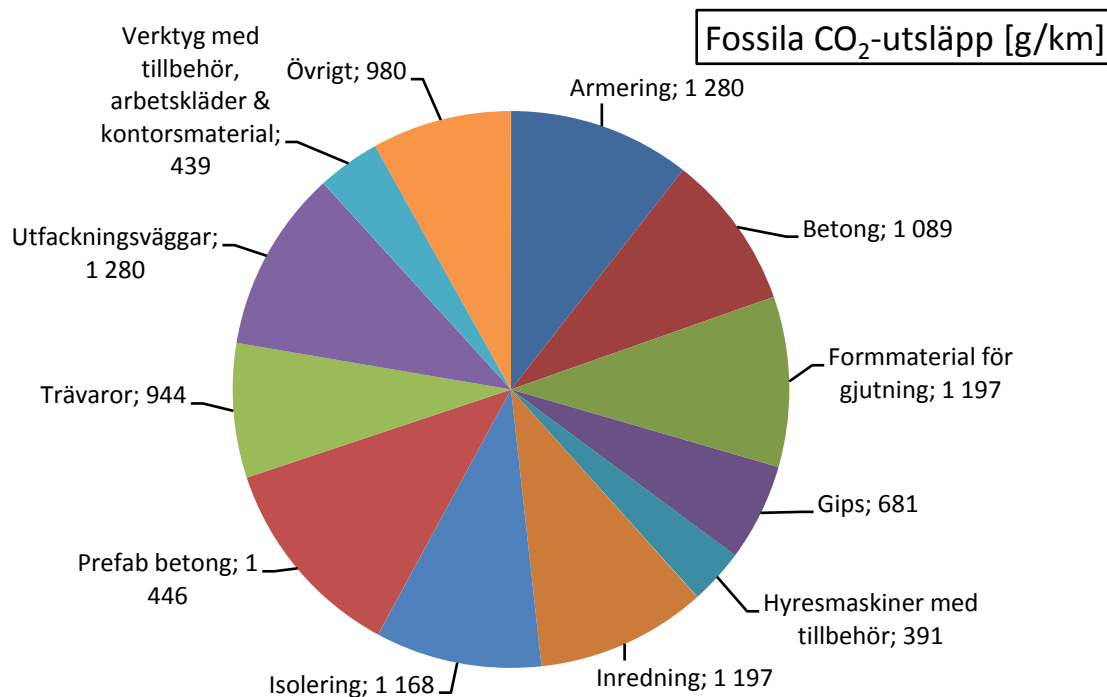
Beräkningar för transporternas miljöpåverkan har gjorts med hjälp av data från rapporten *Environmental Data for International Cargo Transport. Calculation Methods and Default Data*. (NTM, 2010). I rapporten finns emissionsfaktorer per liter dieselbränsle för de olika fordonstyperna vilka presenteras i tabell 6.

Tabell 6. Emissionsfaktorer för de olika fordonstyperna.

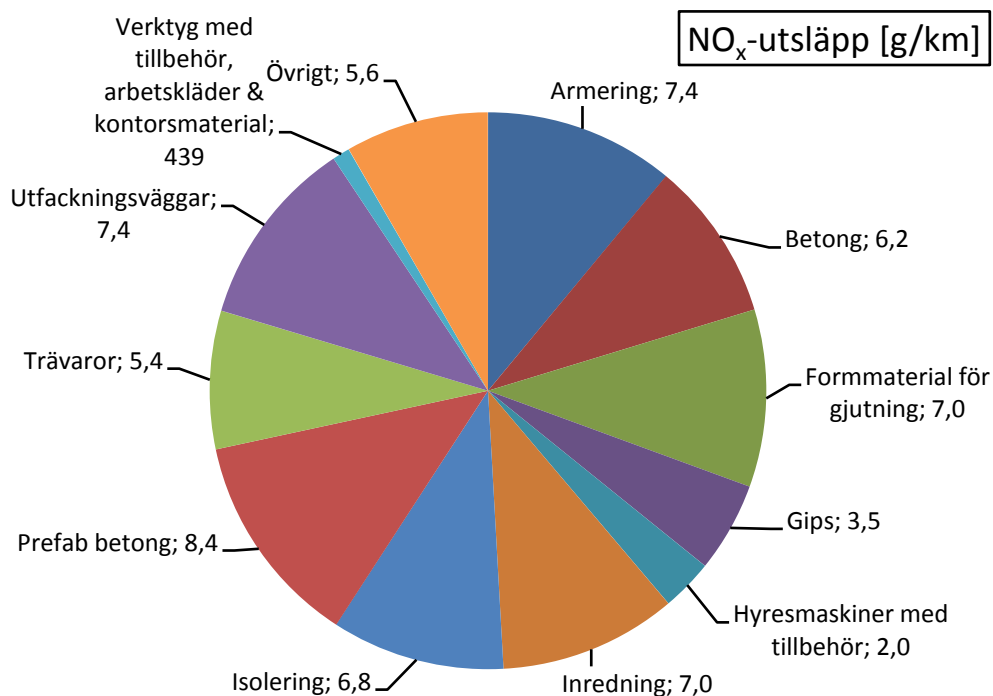
Nomenklatur	Illustration	Fyllnadsgrad [Vikts-%]	CO ₂ [g/l diesel]	NO _x [g/l diesel]	Partiklar [g/l diesel]
(LCV) Van		40	2 615	4,0	0,211
Small lorry/truck		50	2 615	13,5	0,112
Medium lorry/truck		50	2 615	13,5	0,112
Large lorry/truck		50	2 615	15,0	0,115
Tractor + "city-trailer"		50	2 615	15,0	0,115
Lorry/truck + trailer		60	2 615	15,2	0,108
Tractor + semi-trailer		60	2 615	15,2	0,108
Tractor + MEGA-trailer		60	2 615	15,2	0,103
Lorry/truck + trailer or semi-trailer on dolly		60	2 615	15,2	0,103

Emissionsfaktorer i tabell 6 är framtagna för specifika viktsfyllnadsgrader och alltså inte de viktsfyllnadsgrader för byggtransporterna som beräknades i avsnitt 5.1.3. Emissionsfaktorerna är angivna i enheten gram per liter diesel. Genom att multiplicera emissionsfaktorerna med dieselförbrukningen för de olika materialkategorierna kan ungefärliga utsläppsnivåer beräknas för Hjorthagens byggtransporter. För de materialkategorier som är knutna till fler än ett fordon har ett medelvärde av emissionsnivåerna i tabell 6 beräknats.

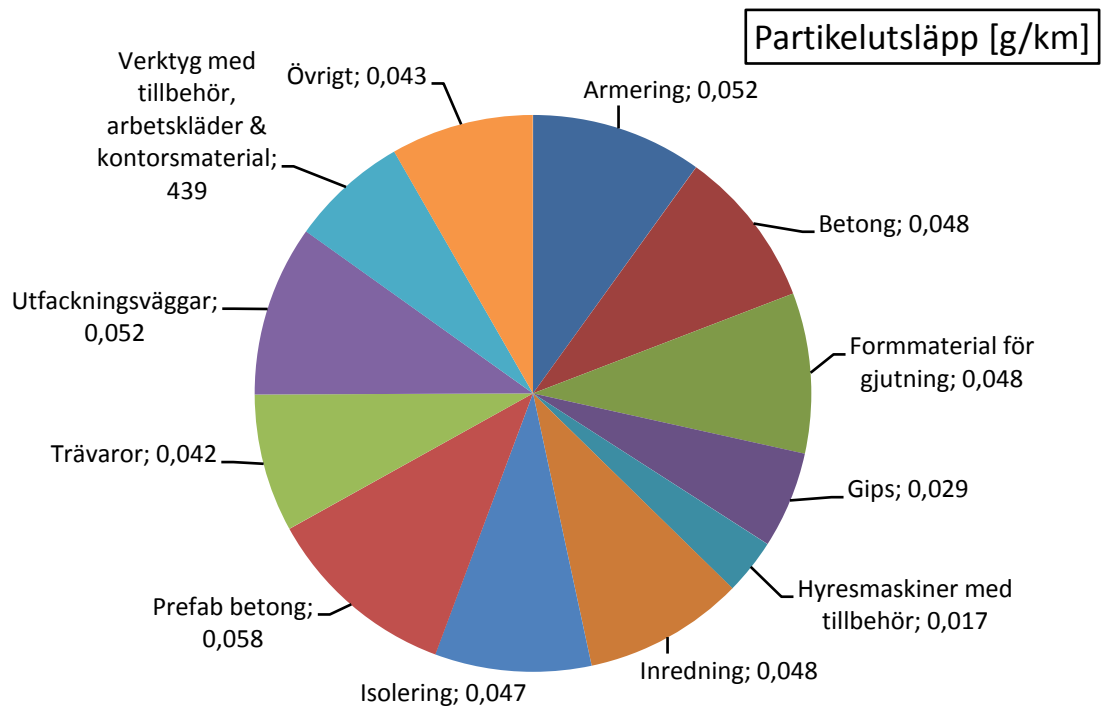
I figur 11, 12 och 13 visas utsläppen från de tolv materialkategorierna. Dessa siffror ligger till grund för beräklandet av referensscenariots miljöpåverkan.



Figur 11. Koldioxidutsläpp från de olika byggmaterialen angivet i enheten gram per kilometer.



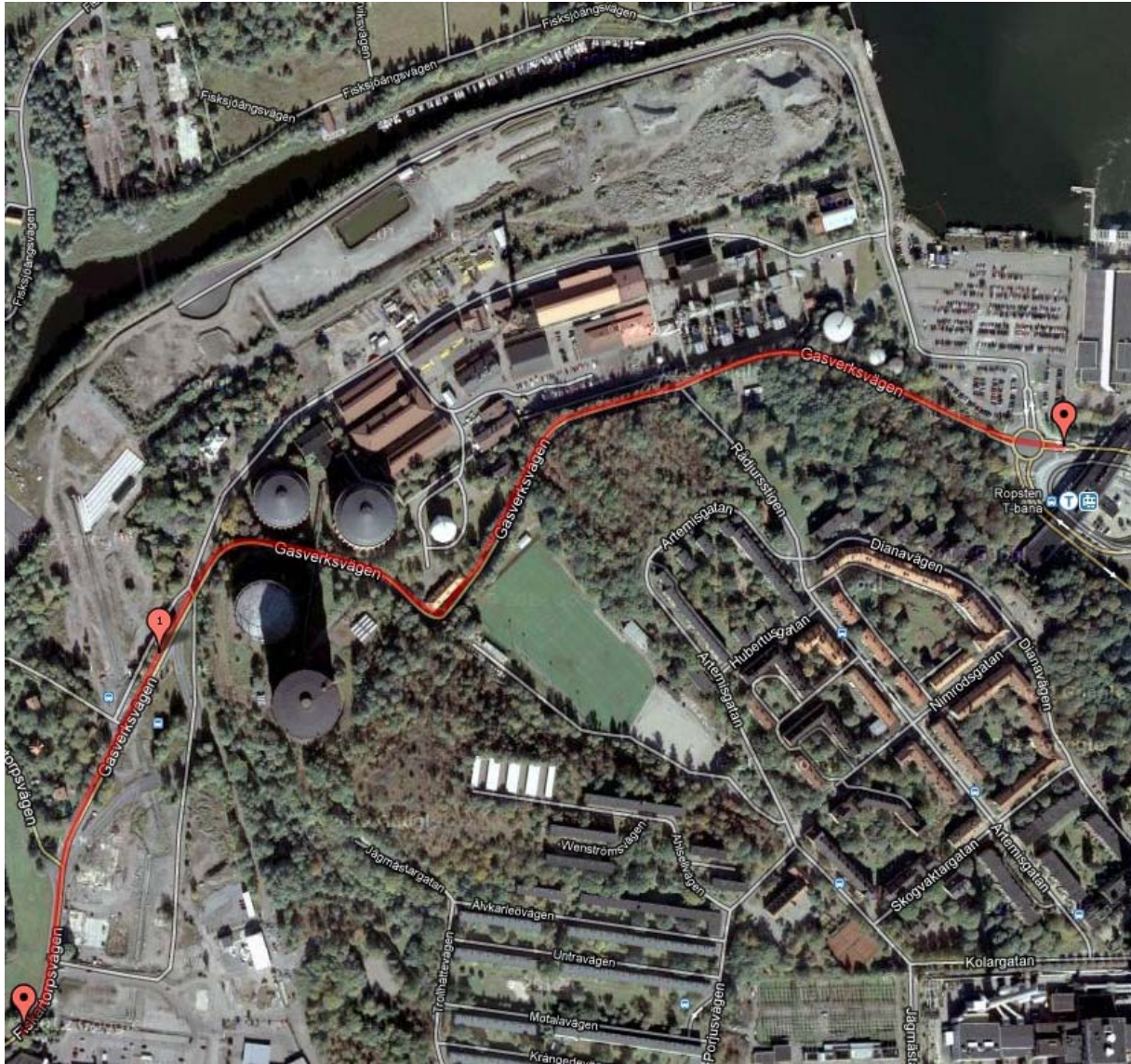
Figur 12. Kväveoxidutsläpp från de olika byggmaterialen angivet i enheten gram per kilometer.



Figur 13. Partikelutsläpp från de olika byggmaterialen angivet i enheten gram per kilometer.

5.1.5 TRANSPORTAVSTÅND

För att beräkna den totala energianvändningen och miljöpåverkan från byggtransporterna i Hjorthagen har en medelfärdsträcka för fordonen bestämts. Det finns många verktyg på webben där avstånd kan mätas upp genom att klicka ut en rutt på en karta (NTM, 2010). I denna rapport användes tjänsten gmap-pedometer (<http://www.gmap-pedometer.com/>). För att uppskatta den vägsträcka som byggtransporterna i medel färdas har gasverksvägen, som går genom området mätts upp, se figur 14. Sträckan i figuren uppmättes till 1,36 km.



Figur 14. Uppmätning av gasverksvägen i Hjorthagen. Sträckan i figuren är 1,36 km och kilometerpunkten är utmärkt med en etta.

Utiifrån figur 14 har en medelsträcka för transporterna satts till 1 km (enkel väg). För vissa etapper kommer denna sträcka vara i överkant, medan den för andra etapper ligger lägre än verkligheten.

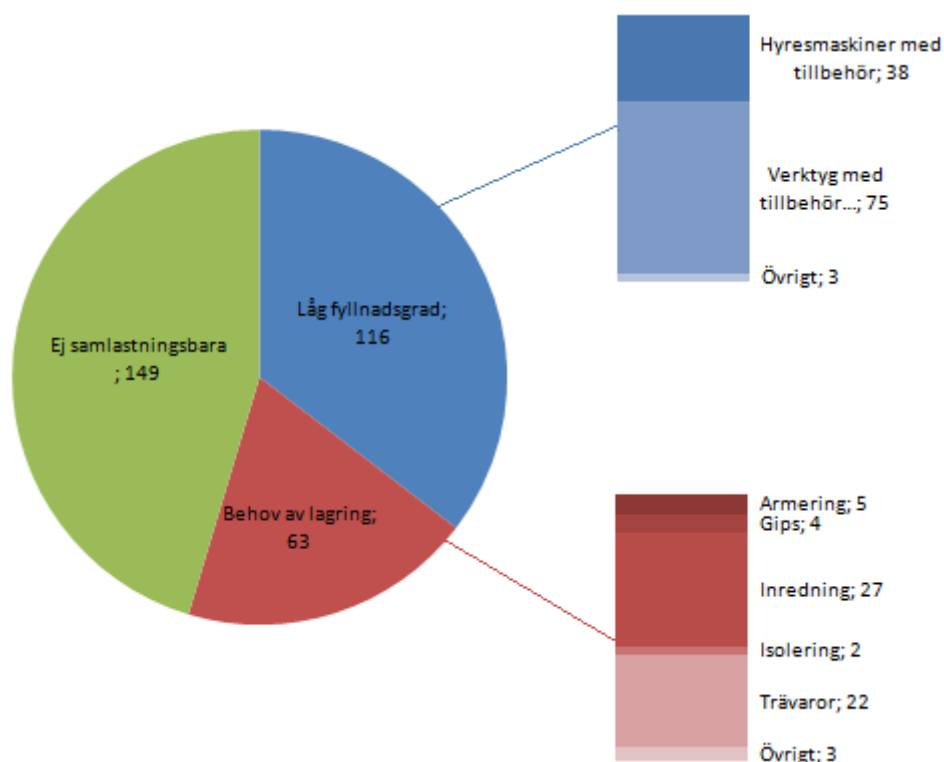
5.2 LOGISTIKSCENARIO

Logistikcentret ska enligt plan vara i drift i början av 2013. I följande kapitel beräknas och uppskattas transportantalet samt miljöpåverkan under logistikcentralens drift. Precis som för referensscenariot ges lösningarna i så kallade nyckeltal vilka används i resultatdelen för att beräkna Hjorthagens totala miljöpåverkan. I detta kapitel görs en del antaganden och resultaten får ses som en indikation över hur det skulle kunna bli i och med den samordnade bygglogistiklösningen och inte som exakta svar. Då logistikcentret väl är i drift kommer noggrannare beräkningar kunna göras.

5.2.1 KARTLÄGGNING AV TRANSPORTER

Av de fyra egenskaperna för byggmaterialen är det "låg fyllnadsgrad" och "behov av lagring" som i arbetet ansetts ha störst betydelse när det gäller att minska transporterna med en samordnad bygglogistik. Material med låg fyllnadsgrad kan samlastas med portioner av de lagringsbara materialen och köras ut av logistikcentrets egna fordon till respektive avlämningsplats. De tidkritiska stommaterialen körs direkt ut till byggarbetsplatsen efter att ha passerat logistikcentrets lotsfunktion. Dessa transporter kommer med andra ord inte minska i och med logistiklösningen.

Andelen transporter per 1 000 m² BTA vars gods antingen utgör en låg fyllnadsgrad eller är i behov av lagring och därmed kan samlastas redovisas i figur 15. De samlastbara transporterna utgör cirka 55 procent av den totala andelen transporter.



Figur 15. Antal transporter per 1 000 m² BTA som endast går genom logistikcentrets lotsfunktion (grön) samt kan samlastas i logistikcentrets egna fordon (blå och röd).

Logistikcentret kan komma att erbjuda uthyrning av maskiner som kan ersätta transporterna av hyresmaskiner. Även en järnhandel kan komma att etableras vid logistikcentret som kan köra ut verktyg, arbetskläder och kontorsmaterial vid behov. Transportkategorin "övrigt" innehåller en

del blandade material vilka i regel anses samlastbara och har fördelats lika mellan kategorierna "låg fyllnadsgrad" och "behov av lagring". Materialtransporterna med låg fyllnadsgrad antas kunna samlastas och levereras med ett lättare fordon.

När det gäller armering, gips, inredning, isolering och trävaror är det material som kommer i stora mängder, men som på bygget endast behövs portionsvis. Dessa transporter skulle kunna lasta av materialet i logistikcentret där det kan lagras och sedan köras ut av centralens egna bilar vid behov. Att material med kassationsrisk ofta även är i behov av lagring är en fördel då hanteringen av dessa i logistikcentret anses minska skaderisken. För att logistikcentret ska kunna köra ut de ofta skrymmande materialen krävs det tunga fordon med god lastkapacitet.

5.2.2 FORDON

Lastkapacitetsbehovet hos logistikcentrets fordon kommer att variera från körning till körning. Exempelvis kommer ett kök kräva en transport med ett tungt fordon medan en hyresmaskin ofta ryms i en skåpbil. I arbetet har ett antagande gjorts att material i kategorin "behov av lagring" körs ut av de tyngre fordonen medan material i kategorin "låg fyllnadsgrad" samlastas i de lättare fordonen. De tyngre fordonen kommer att drivas av biogas och de lättare fordonen kommer drivas av el.

Genom att multiplicera transportantalet per BTA från referensscenariot med totala BTAn (bortsett från Norra 1) och sedan dividera resultatet med antal arbetsdagar kan vi beräkna hur många transporter som i snitt anländer per dag. Antal byggtransporter per dag kan ge ett hum om hur många logistikfordon som krävs för att ersätta de samlastbara transporterna. Till att börja med har den totala BTAn för Hjorthagen beräknats.

Fördelning av bostäder och lokalarea för Hjorthagens 10 etapper redovisas i tabell 7.

Tabell 7. Hjorthagens 10 etapper samt planerat antal bostäder och lokalyta.

Etapp	Bostäder [st]	Lokalarea [m ²]
1. Norra 1	682	0
2. Västra	1 201	0
3. Gasklockan 3 & 4	529	0
4. Norra 2	578	0
5. Ängsbotten	450	8 000
6. Gasverksområdet	150	7 000
7. Brofästet	500	3 000
8. Kolkajen	380	3 000
9. Tjärhagen	650	9 000
10. Ropsten	480	17 500
Totalt	5 600	47 500

Byggherren JM bygger 69 st bostäder i etapp Norra 1 på totalt 9 939 m² BTA vilket ger

$$\frac{9\,939}{69} = 144,043 \dots \frac{\text{m}^2 \text{ BTA}}{\text{Bostad}}$$

Genom att multiplicera denna siffra med totala antalet nya bostäder i Hjorthagen kan totala BTA:n beräknas genom

$$5\,600 \cdot 144,043 \dots + 47\,500 \approx 854\,143,5 \text{ m}^2.$$

Eftersom etapp Norra 1 inte kommer påverkas av logistikcentret drar vi bort

$$682 \cdot 144,043 \dots \approx 98\,238,7 \text{ m}^2$$

från totala BTA:n. Logistikcentret kommer alltså ansvara för

$$854\,143,5 - 98\,238,7 \approx 755\,906 \text{ m}^2 \text{ BTA.}$$

Byggnationen från och med Västra till Ropsten beräknas pågå under 10 år. Ett genomsnittligt år består av 227 arbetsdagar (DN, 2011). Bygget i Hjorthagen kommer med andra ord pågå i

$$227 \cdot 10 = 2\,270 \text{ dagar.}$$

I tabell 8 redovisas antalet byggtransporter per dag för materialen med lagringsbehov, låg fyllnadsgrad samt övriga material i referensscenariot. Notera att transportererna inte kommer vara jämt fördelade per dag utan variera beroende på hur mycket som byggs för tillfället. Uppskattningen över transporter per dag ger dock en bild av hur många logistikrundor som totalt kan komma att behövas för att ersätta de samlastbara transportererna.

Tabell 8. Genomsnittligt antal materialtransporter per dag under byggandet i Hjorthagen.

	Materialkategori	Transporter	Transporter/dag
"Låg fyllnadsgrad"	– Hyresmaskiner med tillbehör – Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial – Övrigt	87 691	39
"Behov av lagring"	– Armering – Gips – Inredning – Isolering – Trävaror – Övrigt	47 230	21
Övriga material	– Betong – Formmaterial för gjutning – Prefab betong – Utfackningsväggar	112 713	50

För material med egenskapen "Behov av lagring" varierar mängderna stort mellan olika transporter. Det är svårt att uppskatta hur många samlastade transporter som krävs för att ersätta de i genomsnitt cirka tio dagliga leveranser (21 transporter fram och tillbaka). Ett antagande har dock gjorts att dessa material ryms i logistikcentrets tyngre fordon om dessa kör tre rundor dagligen. Antal logistikfordon per dag varierar sedan i en känslighetsanalys för att se hur en förändring skulle påverka resultatet.

Materialkategorierna som anses ha en låg fyllnadsgrad utgör en mindre del av transportens lastkapacitet. För kategorin "Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial" har en genomsnittligt godsvikt beräknats till 55 kg med hjälp av följesedlarna. För kategorin "hyresmaskiner med tillbehör" anländer i genomsnitt fem stycken enheter (antingen maskiner eller tillbehör) per transport. Ett antagande har gjorts att även dessa material ryms i logistikcentrets lättare fordon om dessa kör tre rundor dagligen. Antal logistikfordon per dag varierar sedan i en känslighetsanalys för att se hur en förändring skulle påverka resultatet.

Antagandet om att de samlastbara materialen skulle rymmas i sex dagliga rundor med logistikcentrets fordon ger en samlastningsgrad, det vill säga kvot mellan in- och utleveranser till logistikcentret på:

$$\frac{\frac{21+39+50}{2}}{3 + 3 + \frac{50}{2}} = 2,09.$$

I Hammarby Sjöstad uppmättes under toppproduktionen en samlastningsgrad på 2,4 (Albinsson & Björnsdotter, 2002) och under lågproduktion en samlastningsgrad på 2,0 (Ekerlund & Stuhmann, 2003) för logistikcentret. Noteras bör att samlastningsgraden i Hammarby Sjöstad baserades på praktiskt utförda mätningar när logistikcentret var i drift. Studierna fick med andra ord med alla inkommande transporter och inte endast byggherrarnas transporter som i detta examensarbete. Att samlastningsgraderna ändå överensstämmer någorlunda kan ses som en indikation på att antagandena om antal logistikfordon inte är helt fel ute.

5.2.3 ENERGIANVÄNDNING

Denna rapport har begränsats till att studera energianvändningen inne på byggområdet och inom logistikcentrets ansvarsområde. För referensscenariot har därför endast den energiförbrukning som uppstår när motorerna förbränner diesel belysts och inte den totala energiåtgången till att producera och distribuera bränslet. För att göra en rättvis jämförelse bör denna avgränsning även gälla för elektriciteten respektive biogasen.

När det gäller energianvändningen av logistikcentrets elfordon har skåpbilen Mercedes Vito E-cell undersökts närmare. Mercedes Vito är en relativt ny elbil med en lastkapacitet på cirka 900 kg. Energiåtgången ligger enligt tillverkaren på 22 kWh per 100 kilometer (NECD) (Mercedes-Benz, 2012).

Energiförbrukningen för de tunga biogasfordonen har antagits vara cirka 12,44 MJ/km (Uppenberg et al., 2001). I tabell 9 redovisas den antagna energiförbrukningen per kilometer för logistikcentrets fordon.

Tabell 9. Energiförbrukning för logistikcentrets fordon.

	Energiförbrukning [kWh/km]
Eldriven skåpbil	0,22
Biogasdrivet tungt fordon	3,46

5.2.4 UTSLÄPP

Precis som för energianvändningen har endast miljöpåverkan inne på byggområdet och inom logistikcentrets ansvarsområde studerats i denna rapport. För eldriftens del medför detta att inga utsläpp sker då elmotorn inte ger upphov till några avgaser. Elanvändningens totala utsläpp beror dock på vilken energikälla som använts för att alstra elen och utsläppen kan skilja sig stort mellan olika metoder. För logistikcentrets elbilar kommer miljömärkt el att inhandlas (Lennartsson, 2012). Partikelutsläpp från elbilar kommer enbart från vägslitage och ökar ifall fordonet är utrustat med dubbdäck. Partikelutsläppet minskar dock med minskad hastighet (Johansson et al., 2008). Eftersom logistikfordonen kör i relativt låga hastigheter inne på byggområdet antas partikelutsläppet från dessa vara försumbart. I tabell 10 redovisas utsläppen för logistikcentralens elfordon.

Tabell 10. Inga utsläpp antas ske vid driften av logistikcentrets elbilar.

	Fossil CO ₂ [g/km]	NO _x [g/km]	Partiklar [g/km]
Eldriven skåpbil	0	0	0

Utsläppen från biogasfordonen har hämtats från rapporten *Miljöfakta för bränslen* (Uppenberg et al., 2001). I *Miljöfakta för bränslen* har flera rapporter om biogasens miljöpåverkan studerats och utifrån dessa har rekommenderade värden tagits fram. Eftersom kolinnehållet i biogas härstammar från organiska produkter ger förbränning av biogas inget utsläpp av fossil koldioxid. Utsläpp vid körning av tunga biogasfordon redovisas i tabell 11.

Tabell 11. Utsläpp från biogasdrivna fordon i milligram per MJ förbrukat bränsle. Eftersom biogasen tillverkas av förnyelsebara källor antas inget utsläppt av fossil koldioxid ske vid förbränning av bränslet.

	Fossil CO ₂ [mg/MJ biogas]	NO _x [mg/MJ biogas]	Partiklar [mg/MJ biogas]
Användning tunga fordon*	0,0	167	1,7

*Årsmodell från -90 till -96

Källa: Uppenberg et al., 2001

Med hjälp av energiförbrukning för de tunga fordonen har utsläppsdata i enheten gram per körd kilometer för biogasfordon beräknats, se tabell 12.

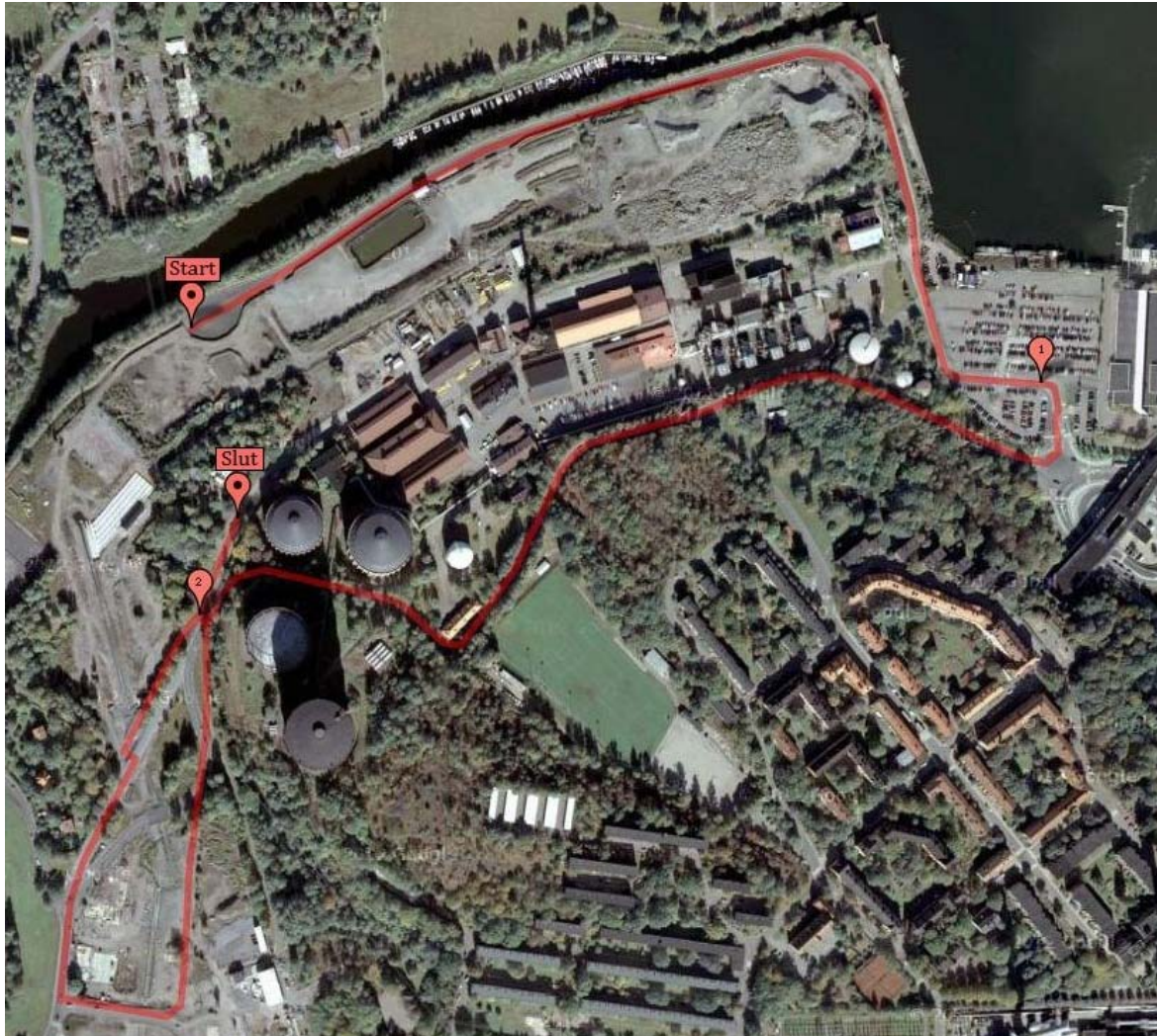
Tabell 12. Utsläpp från biogasdrivna fordon i gram per körd kilometer.

	Fossil CO ₂ [g/km]	NO _x [g/km]	Partiklar [g/km]
Användning tunga fordon*	0,0	0,50	0,02

*Årsmodell från -90 till -96

5.2.5 TRANSPORTAVSTÅND

Transporterna i referensscenariot antas köra i genomsnitt en kilometer till avlämningsstället och sedan en kilometer för att lämna byggområdet igen (avsnitt 5.1.5). Logistikcentrets fordon antas däremot köra i en slinga som passerar de nio etapperna. Ett exempel på hur denna slinga skulle kunna se ut redovisas i figur 16. Slingan i figuren mäter cirka 3 km och är den sträcka som använts för att beräkna referensscenariots energianvändning och miljöutsläpp. Notera att det kommer byggas en väg mellan "start" och "slut" vilket kommer göra att slingan sluts.



Figur 16. Uppmått slinga som logistikcentrets fordon skulle kunna köra. Sträckan mäter 2,91 km och eftersom det saknas en bit mellan "start" och "stop" har en körsträcka antagits till 3 km.

6. RESULTAT

6.1 REFERENSSCENARIO

Antal BTA för Hjorthagsdelen av Norra Djurgårdsstaden beräknas uppgå till cirka 755 900 m² (etapp Norra 1 borträknad). Detta ger en total transportmängd under byggskedet på cirka 248 000 transporter, där två transporter genereras för varje leverens. Transporterna förbrukar cirka 83 000 liter diesel vilket motsvarar en energiförbrukning på 827 MWh. Utsläppet av fossil koldioxid uppgår till cirka 217 ton. Fordonen ger upphov till cirka 1 140 kg kväveoxider samt cirka 10,24 kg partiklar.

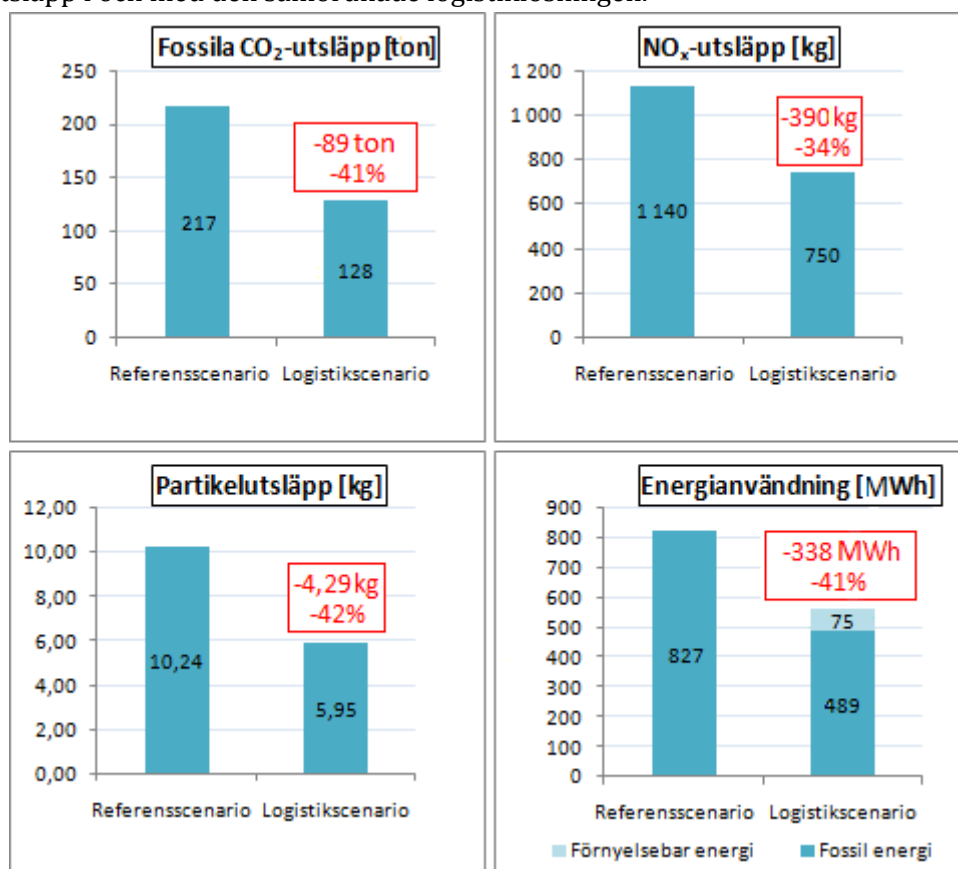
6.2 LOGISTIKSCENARIO

I logistikscenariot ersätts cirka 126 000 transporter med logistikcentrets egna fordon. Logistikcentrets fordon kör cirka 13 600 rundor jämnt fördelade på tunga, biogasdrivna lastbilar och eldrivna skåpbilar. Dieselförbrukningen minskas därmed till cirka 49 000 liter vilket motsvarar en energiförbrukning på cirka 489 MWh. Logistikcentrets biogasfordon kräver cirka 70 600 kWh energi och elfordonen cirka 4 500 kWh elektricitet.

Utsläppet av fossil koldioxid uppgår i logistikscenariot till cirka 128 ton. Fordonen ger upphov till cirka 750 kg kväveoxider och cirka 6,36 kg partiklar.

6.3 REFERENSSCENARIO KONTRA LOGISTIKSCENARIO

Figur 17 visar minskningen i energiförbrukning samt minskningen av koldioxid-, kväveoxid- och partikelutsläpp i och med den samordnade logistiklösningen.



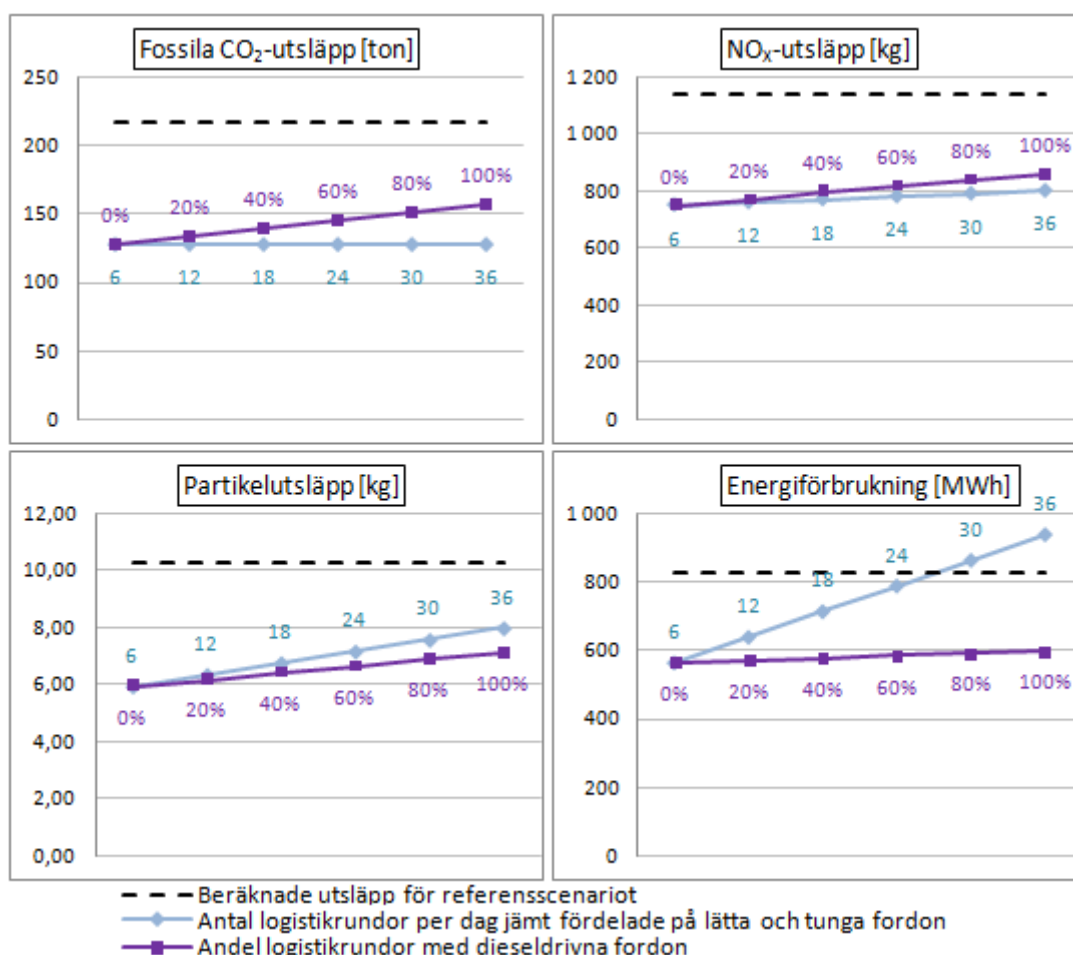
Figur 17. Förändring av miljöpåverkan och energianvändning för referensscenariot kontra logistikscenariet.

7. KÄNSLIGHETSANALYS

I en känslighetsanalys undersöks hur resultatet förändras ifall en enskild parameter varierar. Två parametrar har varierats i känslighetsanalys; antal logistikfordon per dag och andelen logistikfordon som körs med diesel.

Antal logistikfordon som krävs för att ersätta de samlastbara materialtransporterna gjordes med hjälp av en uppskattning. Som med alla uppskattningar kan det vara bra att undersöka andra alternativ för att se hur resultatet påverkas. I känslighetsanalysen har antalet logistikfordon ändrats från basfallets 6 transporter per dag till 12, 18, 24, 30 respektive 36 transporter om dagen.

I känslighetsanalysen har även olika andelar av logistikcentrets sex dagliga leveranser antagit drivas av diesel (20, 40, 60, 80 och 100 procent). Analysen är gjord för att se vilken inverkan valet av miljöfordon har på resultatet. Dieselförbrukningen för de lättare logistikfordonen antogs vara likvärdig den för materialkategori 11 (Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial) och för de tyngre logistikfordonen materialkategori 9 (Trävaror). I figur 18 visas resultatet av känslighetsanalysen. Observera att parametrarna varierats utan inbördes påverkan.



Figur 18. I känslighetsanalysen har två enskilda parametrar varierats för att se hur dessa påverkar resultatet. De totala miljöutsläppen minskar i samtliga fall, men energianvändningen ökar om 30 eller fler logistikfordon i genomsnitt kör ut per dag. Användningen av fossil energi minskar dock i samtliga fall.

Känslighetsanalysen visar att trots en 500-procentig ökning av antal logistikfordon som kör ut per dag så reduceras de totala miljöemissionerna av den samordnade bygglogistiklösningen kontra referensscenariot. En ökning av logistikfordonen ger ingen påverkan på utsläppen av fossil koldioxid eftersom fordonen endast ger utsläpp av förnyelsebar koldioxid (avsnitt 5.2.4)

Energianvändningen ökar om 30 logistikfordon kör ut per dag istället för basfallets sex fordon. Här bör nämnas att den fossila andelen energi ändå minskar med lika mycket som basfallet eftersom logistikfordonen antas köra på förnyelsebar energi (miljömärkt el samt biogas).

Känslighetsanalysen visar att miljöemissionerna och energianvändningen reduceras i logistikscenariot även fast olika andelar av logistikfordonen skulle drivas med diesel.

8. DISKUSSION

Resultatet från undersökningen visar på en stor miljöbesparingspotential för en samordnad bygglogistik i Norra Djurgårdsstaden. I beräkningarna har alla byggmaterial, förutom till byggnadernas stommar, antagit samlas i logistikcentret fordon. För att realisera ett sådant scenario krävs det att byggherrarna använder sig av centret och fullt ut anammar de tjänster som erbjuds. För liknande logistiklösningar, till exempel vid byggandet av stadsdelen Hammarby Sjöstad i Stockholm var en av de största utmaningarna just att engagera byggherrarna till att använda centret.

En viktig beståndsdel i att få med byggherrarna på den samordnade bygglogistiklösningen är att etablera ett förtroende till centret. Det är speciellt viktigt under centrets första tid att logistiken fungerar väl, det vill säga att rätt varor levereras i rätt tid och på rätt sätt.

Examensarbetet har avgränsats geografiskt till byggnationen i Hjorthagen. Endast byggtransporter inom området har kartlagts och hur mycket dessa kan tänkas minska i och med logistikcentret. För vidare studier och vid en utvärdering av logistikcentret vore det intressant att även studera hur transportflödet in till och ut från byggområdet påverkats. Om centret upprättar en järnvaruhandel och maskin- och byggställningsuthyrning skulle potentiellt transporterna in till centret med dessa varor minska i antal allteftersom fyllnadsgraden i fordonen skulle öka. Även uttransporterna av byggavfall från området borde minska i och med avfallet komprimeras i centret.

Flytbetong utgör den enskilt största delen av materialtransporterna och står för nära 40 procent av de totala byggtransporterna. I Hjorthagen var det inte möjligt att upprätta en lokal betongfabrik likt Potsdamer Platz vilket skulle kunnat minska transporterna in till logistikcentret stort. För liknande bygglogistiklösningar kan det vara värt att kolla närmare på lokal betongtillverkning eftersom dessa transporter utgör en sådan signifikant del av de totala byggtransporterna.

I arbetet har ingen hänsyn tagits till eventuell tomgångskörning under avlastningen av byggmaterialen. Hur länge olika fordon i genomsnitt tomgångskör vid varje leverans har varit svårt att uppskatta och fallit utanför examensarbetets ramar. Om tomgångskörningen inkluderats i arbetet skulle miljöbesparingen antagligen förbättrats i och med att tomgångskörning av logistikfordonen genererar mindre utsläpp än dieselfordonen. Dessutom borde tomgångskörningen minska i logistikscenariot eftersom framkomligheten inne på byggområdet ökas.

När det gäller fordonen i referensscenariot har alla beräknat drivas av diesel. Detta är ett troligt antagande för fordonen bortsett från transporttypen "van" som använts för materialkategorin 11 (Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial). En del av dessa bilar är antagligen bensindrivna vilket skulle ge ändrade utsläppsmängder. En diesebil släpper till exempel ut mindre koldioxid, men mer kväveoxider och partiklar än en bensinbil.

Resultatet i denna rapport bygger i grunden på kartläggning av byggtransporter med hjälp av följesedlar. Det är vad författaren vet första gången en sådan metod använts i dessa sammanhang. Att en sådan obeprövad metod ändå valdes var för att få med de lättare transporterna, vilka också visade sig utgöra en förvånansvärd stor del av de totala

transporterna. Resultatet validitet skulle kunnat stärkas genom att fler än en byggherres följesedlar kartlagdes, vilket tyvärr hamnade utanför examensarbetets tidsram. Då metoden med följesedlar känns som ett fullgott tillvägagångssätt för ändamålet rekommenderas att fler liknande studier görs. Om metoden visar sig vara generaliserbar skulle generella nyckeltal kunna tas fram vilka skulle underlätta vid beräkningar av framtida logistikprojekts miljöpåverkan.

I examensarbetet har som nämnts följesedlar från endast en byggherre kartlagts för att sedan extrapolerats upp för att gälla hela bygget i Hjorthagen, såväl för bostäder som för lokalarea. Enligt de kontaktade på JM stämmer deras sätt att bygga någorlunda väl överens med tillvägagångssättet för ett generellt bostadsbyggande. När det gäller upprättandet av lokaler kan det däremot antas att materialval och tillvägagångssätt skiljer sig från normen vid bostadsbyggen. Till exempel kommer en del av lokalarean i Hjorthagen upprättas i befintliga byggnader. För att stärka resultatet skulle en noggrannare analys kunna göras både över hur det generella bostadsbyggandet och hur det generella lokalbyggandet ser ut. I Hjorthagen utgör dock byggandet av lokalarea en liten andel (cirka 5 procent) av den totala BTA:n och kommer därmed inte påverka resultatet nämnvärt.

Ytterligare en aspekt som skulle kunna förbättra resultatet vore att titta på bränslenas totala miljöpåverkan och energiåtgång under både produktionen och distributionen av drivmedlen. I fortsatta studier vore det även bra att kartlägga transporterna genererade av byggherrarnas underentreprenörer. Andel transporter genererade från underleverantörer kan antas utgöra en väsentlig del av de totala transporterna i Hjorthagen. Att även få in underleverantörernas transporter i beräkningarna skulle vara intressant och ge en bättre bild av miljövinster med den samordnade bygglogistiken.

Känslighetsanalysen visade på reducerade utsläpp för logistikscenariot kontra referensscenariot trots att alla fordon i logistikcentrets flotta antogs drivas med diesel. Resultatet från känslighetsanalysen tyder på att logistikcentret kommer ha en positiv inverkan på miljön även fast förutsättningarna försämrats. När det gäller energianvändningen visade känslighetsanalysen att resultatet är känsligt när det gäller antalet fordon från logistikcentret. För 30 respektive 36 logistikfordonsrundor per dag ökade energianvändningen i logistikscenariot kontra referensscenariot. Noteras bör att energianvändningen hos logistikcentrets fordon kan ses som förnyelsebar eftersom miljömärkt el och biogas utgör bränslena.

Hur placeringen av logistikcentret påverkar miljöemissionerna och energianvändningen har inte undersökts i examensarbetet. När arbetet påbörjades var både logistikcentrets placering och utformning i stora drag redan fastställda. Ett intressant förslag till vidare studier vore att skala upp logistiksamordningen till att gälla större arealer och fler byggnationer.

Miljökonsekvenserna skulle förslagsvis kunna utredas för ett scenario där ett antal logistikcenter utanför exempelvis Stockholm hanterar hela stadens byggtransporter. Det är svårt utifrån denna studie att säga om en sådan lösning skulle minska eller öka miljöemissionerna och energianvändningen. Metoden i detta arbete bör dock vara applicerbar för liknande studier där miljökonsekvenserna av en samordnad bygglogistik för ett enskilt byggområde ska utredas.

9. SLUTSATSER

Detta examensarbete hade två delmål; att kartlägga referensscenariots respektive logistikscenariots transportmängd, miljöpåverkan och energianvändning. En samordnad bygglogistik lösning har beräknats kunna minska antalet byggtransport med cirka 121 000 transporter, vilket motsvarar en reducerad energianvändning på 340 000 kWh (41 procent) och en minskning av koldioxidutsläppen på cirka 89 ton (41 procent). Genom att reducera byggherrarnas transporter beräknas kväveoxidutsläppen kunna minskas med cirka 390 kg (34 procent) och partikelutsläppen med cirka 4,3 kg (42 procent) under byggandet i Hjorthagen.

Resultatet får ses som indikationer för den samordnade bygglogistikens reduktion av emissioner och energianvändning och inte som ett "facit". Examensarbetet bygger på en oprövad metod och kantas av många antaganden och uppskattningar, vilket gör resultatets giltighet osäker. Dock framstår det någorlunda tydligt, både genom denna studie och liknande studier, att en samordnad logistiklösning kommer ha en positiv inverkan på miljön.

10. REKOMMENDATIONER

I detta avsnitt presenteras en del idéer som uppkommit under arbetets gång. Idéerna utgörs både av tips på hur logistikcentralen skulle kunna utformas för att nå bästa resultat och förslag på vidare forskning (vilket även tagits upp en del i diskussionen).

10.1 FÖRSLAG TILL LOGISTIKCENTRETS UTFORMNING

I detta kapitel lyfts ett fåtal funktioner fram som i examensarbete framstått som viktiga för logistikcentret.

- **Järnvaruhandel & maskinuthyrning:** Materialkategorierna "Verktyg med tillbehör, arbetskläder & kontorsmaterial" samt "Hyresmaskiner med tillbehör" utgjorde i examensarbetet 34 procent av de totala transporterna. Transporterna av dessa material hade i regel låg fyllnadsgrad. Genom att upprätta en varuhandel som tillhandahåller dessa material skulle transporterna in till Hjorthagen kunna reduceras.

Ett alternativ till järnvaruhandeln skulle kunna vara att logistikcentret varje dag samlar in alla sådana materialbeställningar från byggherrarna för att sedan göra en gemensam beställning av de önskade varorna. På så sätt levereras materialen samlastade och fyllnadsgraden ökas.
- **Tankning och laddning:** En temporär tankstation för biogasfordonen och laddningsstolpar för elfordonen skulle kunna upprättas i närheten av logistikcentret.
- **Mätning:** I och med logistikcentret finns goda förutsättningar att samla ovärderlig information om byggtransporterna i området. Informationen kan användas för att utvärdera den samordnade bygglogistiklösningen och ge faktiska siffror på hur centret påverkat trafikmängden. Förslag på information som logistikcentret bör samla in är:
 - Antal transporter in till centret
 - Antal transporter från centret in till byggområdet
 - Antal samlastade logistiktransporter
 - Typ av godsleverens för varje transport
 - Fordonstyp för varje transport
Från informationen skulle bland annat logistikcentrets samlastningsgrad kunna beräknas samt vilken emissions- och energireducering den samordnade bygglogistiken faktiskt gett upphov till.

10.2 FÖRSLAG TILL FRAMTIDA FORSKNING

Följande ämnen har under examensarbetet funnits intressanta att undersöka vidare:

- **Kostnader:** Kartlägga hur en samordnad bygglogistik skulle kunna minska byggherrarnas kostnader. Logistikcentrets verksamhet skulle kunna minska kostnader för kassationer (3.1.1). Ett för byggherrarna mer lätthanterligt lager skulle även kunna minska den arbetstid som, istället för att bygga, eventuellt går åt till att leta efter material samt flytta material som är i vägen.
- **In- och uttransporter:** Kartlägga hur logistikcentret påverkar transportmängden till och från byggområdet. Upprättandet av en järnvaruhandel och maskin- och byggställningsuthyrning tillsammans med komprimering av byggavfallet i centret skulle kunna påverka transporterna in och ut från Hjorthagen.
- **Total miljöpåverkan:** Undersöka hur miljövinster med den samordnade bygglogistiken skulle bli om bränslenas totala miljöpåverkan (även produktion och distribution) togs med i beräkningarna.
- **Lokal betongtillverkning:** I Hjorthagen var det inte möjligt med en lokal betongtillverkning. En undersökning om hur en lokal betongfabrik skulle kunna reducera transporterna in till byggområdet skulle dock kunna bidra till att en sådan lösning kommer till stånd i liknande projekt.
- **Uppskalning:** Undersöka hur miljöemissionerna och energianvändningen skulle förändras beroende på logistikcentrets placering och ansvarsområde. Skulle det vara miljö- och energimässigt försvarbart med ett antal logistikcenter utanför en storstad som ansvarar för samtliga byggtransporter?

KÄLLFÖRTECKNING

RAPPORTER

Albinsson E & Björnsdotter Å, 2002. *Hammarby Sjöstad LogistikCenter–betydelsen av en samlad logistiklösning i stora byggprojekt*. Examensarbete: Kungliga Tekniska Högskolan

Beittoi, Ali, 2012. *Citylogistics: International Experience of Urban Logistics Projects, with Reference to Classification and Evaluation*. Projektarbete: Kungliga Tekniska Högskolan.

Ekerlund, Sofia & Stuhmann, Ellinor, 2003. *Miljövinster i samband med Hammarby Sjöstad Logistikcenter*. Examensarbete: Lunds Tekniska Högskola. Tillgänglig: http://www.tlog.lth.se/fileadmin/tlog/Utbildning/Examensarbete/2003_och_tidigare/Exjobb/5518_Ekerlund-Stuhmann.pdf (Hämtad 2012-08-24)

Goldman, T. & Gorham, R. 2006. *Sustainable urban transport: Four innovative directions*. Technology in Society Vol.28: pp.261-273. Tillgänglig: <http://www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/Sustainable.Urban.Transport.pdf> (Hämtad 2012-10-13)

Johansson, Roger, Linderholm, Leif, Indibetou, Lovisa, Söderström, Liselott, Carlsson, Björn, Fallström, Björn, Sjöstrand, Helena, Andersson, Torbjörn, Cruse Sonden, Gerd & Grönlund, Bo, 2008. *Rätt fart i staden, handbok för hastighetsnivåer i en attraktiv stad*. Vägverket, Sveriges Kommuner och Landsting & SKL Kommentus AB. Tillgänglig: http://publikationswebbutik.vv.se/upload/4607/2008_54_ratt_fart_i_staden_hastighetsnivaer_i_en_attraktiv_stad_utskriftsbar.pdf (Hämtad 2012-08-14)

LIP-kansliet, 2000. *Logistikkonsortiet BAULOG, Berlin -dokumentation från en studieresa hösten 2000*.

Mängdbeteckning etapp Västra, 2012. Förväntade tillvägagångssätt och mängder av olika material vid markarbetet i etapp Västra, Hjorthagen. (Hämtad 2012-05-09)

NTM, 2010. *Environmental Data for International Cargo Transport. Calculation Methods and Default Data*. Tillgänglig: www.ntmcalc.se Obs! inloggningsuppgifter krävs. (Hämtad 2012-07-09)

Pettersson, Mona, Eklund, Björn & Kristoffersson, Jan, 2010. *Förutsättningar för samordnad godstrafik inom Norra Djurgårdsstaden i Stockholm*. Tillgänglig: <http://www.sust.nu/images/projekt/TransOpt%20f%C3%B6rstudie%20rapport%20juni%202010.pdf> (Hämtad: 2012-08-23)

Transport for London, 2008. *London Construction Consolidation Centre Final Report* Tillgänglig: http://www.tfl.gov.uk/microsites/freight/documents/publications/LCCC_final_report_July_2009.pdf (Hämtad 2012-08-23)

Trendsetter WP9, 2006. *Evaluation report – New Concepts for the Distribution of Goods*. Tillgänglig: <http://213.131.156.10/xpo/bilagor/20060119170324.pdf> (Hämtad 2012-10-13)

Uppenberg, Stefan, Almemark, Mats, Brandel, Magnus, Lindfors, Lars-Gunnar, Marcus, Hans-Olov, Stripple, Håkan, Wachtmeister, Alexandra & Zetterberg, Lars, 2001. *Miljöfakta för bränslen. Del 2. Bakgrundsinformation och Teknisk bilaga*. Tillgänglig: <http://www.ivl.se/download/18.7df4c4e812d2da6a416800085601/B1334B.pdf> (Hämtad 2010-08-13)

Viaductor, 1999. *Hammarby Sjöstad - Logistik under byggnadstiden*. Rapport framtagen för Stockholm Stad av Viaductor AB juni 1999 (Hämtad 2012-08-23)

ELEKTRONISKA KÄLLOR

DN (Dagens Nyheter), 2011. *2011- jobbets år med få lediga arbetsdagar*. Publicerad 2011-01-05. Tillgänglig: <http://www.dn.se/nyheter/sverige/2011---jobbets-ar-med-fa-lediga-arbetsdagar> (Hämtad 2012-08-17)

Hammarbysjostad.se, 2012. Tillgänglig: www.hammarbysjostad.se (Hämtad: 2012-10-13)

Mercedes-Benz, 2012. *Lättaste sättet att köpa nya Vito E-CELL är att slippa göra det....* Tillgänglig: http://www2.mercedes-benz.se/content/sweden/mpc/mpc_sweden_website/sv/home_mpc/van/home/vans_world/whats_new/Nyhetsbrev/laettaste_saettet.html (Hämtad: 2012-08-16)

NTM, 2012. *Enkel godskalkyl* (Klicka på de olika emissionerna). Tillgänglig: <http://www.ntmcalc.se/index.html> (Hämtad: 2012-07-02)

Planillustration NDS översikt, 2012-01-30. *Norra Djurgårdsstaden. Tidsplan för bostäder i Hjorthagen*. Dokument erhållet från Stockholms stad. (Hämtad 2012-08-16)

MUNTliga KONTAKTER

Ekström, Jan, 2012. Platschef på NCCs bygge i Sollentuna. Möte: 2012-07-17

Infomöte bygglogistik, 2012. Presentation av Fredrik Bergman Norra Djurgårdsstadens genomförandechef på Stockholms Stads Exploateringskontor. Muntlig presentation för bland annat byggherrarna: 2012-05-29

Henriksson, Thomas, 2012. Platschef på JM:s bygge i etapp Norra 1, Hjorthagen. Möte: 2012-05-16

Lennartsson, Maria, Stockholmsstad, Exploateringskontoret, Stora projekt. Flertal träffar under 2012 bland annat 2012-08-16.

Spansk, Göran, 2012. Stockholms stad. Möte: 2012-05-14 & 2012-06-08

Sunnerstedt, Eva, 2012. Stockholms stad, Projektledare Miljöbilar i Stockholm med projektansvar för elbilsupphandlingen. Möte: 2012-05-08

Swahn, Magnus, NTM. Telefonsamtal: 2012-07-12

TRITA-IM 2013:08

Industrial Ecology,
Royal Institute of Technology
www.ima.kth.se