Kapacitetsanalys i ett nätverksperspektiv

Etapp 1 – implementering av Nemo

Oskar Fröidh

Ary P. Silvano

KTH Järnvägsgruppen

2015-06-26

KTH A-2014-0906, doss. 4.4.2
TRV 2014/5170, ärende-ID 5608

Förord

Betydelsen av kapacitet i järnvägstrafiken har ökat under många år i takt med att trafikarbetet på de svenska järnvägarna ökar. Sedan 2013 finns också KAJT (KApacitet i JärnvägsTrafiken) som är ett branschprogram för framtida planering, styrning och drift av järnvägens trafik där Trafikverket, högskolorna med kapacitetsforskning och några näringslivsorganisationer ingår.

Analysmetoderna har också successivt utvecklats och förfinats. Sedan introduktionen av simuleringsverktyg på 1990-talet kan dynamiska analyser med störningar också inkluderas i kapacitetsanalyserna. KTH och Trafikverket har sedan dess gemensamt introducerat Railsys, ett simuleringsverktyg, i verksamheten. Samma tyska firma som utvecklar Railsys har också tagit fram ett verktyg för makroanalys av trafik i nätverk, Nemo. Rapporten handlar om en första etapp med förberedande arbeten för att undersöka möjligheterna att genomföra analyser med nätverksverktyget.

I arbetet vid KTH Järnvägsgruppen, institutionen för transportvetenskap, har Oskar Fröidh varit projektledare och doktorand Ary Silvano utfört implementeringen. Även Bo-Lennart Nelldal som skrev den ursprungliga projektbeskrivningen men som numera är pensionär har medverkat med sin kunskap.

En referensgrupp har knutits till projektet. Deltagare i referensgruppen från Trafikverket har varit: Kristina Eriksson, kontaktperson, Magnus Wahlborg, Per Köhler och René Braune. Referensgruppen har beretts tillfälle att lämna synpunkter på innehållet inför denna slutrapport.

Till sist vill vi tacka framför allt Kristina och Magnus för ett gott samarbete!

Stockholm i juni 2015

Oskar Fröidh

Sammanfattning

Nemo är ett makroskopiskt simuleringsverktyg som kan används på ett brett sätt, och genom att det är kopplat till RailSys finns redan indata om järnvägsnätet. Programmet är relativt enkelt att använda för analys av vagnslasttrafik. I kommande arbete ska också inkluderas möjligheterna att lägga in mer av godstrafiken som kombitåg och systemtåg för att få nätverksanalysen mer fullständig (vid sårbarhetsanalys bör även persontrafiken inkluderas genom manuellt arbete).

Implementering av Nemo i etapp 1 har skett i följande ordning:

a. Nemo-programmet installeras i dator på KTH

b. Det svenska järnvägsnätet 2014 konverteras till Nemo

c. Den svenska tågplanen T14 implementeras i Nemo

d. Test av att implementera matriser från Samgods till Nemo

e. Test av tågbildningsfunktionen för vagnslast och systemtåg i Nemo

f. Test av kapacitetsfunktionen i Nemo

g. Utvärderingsrapport till Trafikverket.

Med ledning av våra inledande tester, och internationella erfarenheter, vill vi peka på de förväntade nyttorna med Nemo. Simuleringsverktyget möjliggör att modeller av verkligheten byggs upp och realistiska scenarier kan utvärderas. Bland de scenarier vi skulle kunna utvärdera är:

- Optimering vid omstrukturering av vagnslasttrafiken
- Bättre kapacitetsutnyttjande i järnvägsnätet som helhet
- Effekter av differentierade och styrande banavgifter (kapacitetsdelen)
- Järnvägsnätets standard (tillåten tåglängd, axellast och lastprofil)
- Sårbarhetsaspekter (trafikavbrott)
- Miljöeffekt av varje alternativ beträffande emissioner för tågtrafiken
- Underlag för strategiska infrastrukturinvesteringar.

Vi bedömer att Nemo är ett anpassningsbart verktyg som ger möjlighet till analys av många tillämpade scenarier som är aktuellt på det svenska järnvägsnätet. Fortsatt arbete med Nemo skulle möjliggöra en bättre förståelse av samverkan i och effekterna på järnvägsnätet som helhet som leder till bättre resursutnyttjande.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Belastningen i ett järnvägsnät varierar stort beroende på hur efterfrågan på godstransporter och personresande ser ut. Tågtrafiken är detaljplanerad och fjärrstyrs för att höja säkerheten och kunna utnyttja den tillgängliga kapaciteten på bästa sätt. Många godståg transporterar varor mellan start- och målpunkter som ofta ligger ganska lång ifrån varandra. I dessa fall kan det vara möjligt att åka alternativa vägar genom Sverige. Persontrafiken däremot är nästan alltid bunden till linjer där resandetågen också har uppehåll vid mellanstationer. Endast vid stora avbrott kan omledning av persontågen bli aktuell.

Nätverksanalys har hittills ofta använts för att beskriva efterfrågan på transporter utlagd på väg- respektive järnvägsnätet. Exempel på verktyg som används är Emma i Sampers och Samgods och Vips/Visum i Samvips. Oftast används dessa för att beskriva flöden i antal personer eller ton gods, ibland även för att beskriva antal fordon eller tåg. När det gäller tåg är det dock i regel en förutsättning (indata) för prognosen och inte ett resultat av prognosen. Än mindre brukar det finnas någon koppling till kapaciteten som dessutom tar hänsyn till både person- och godstransporterna på järnvägsnätet.

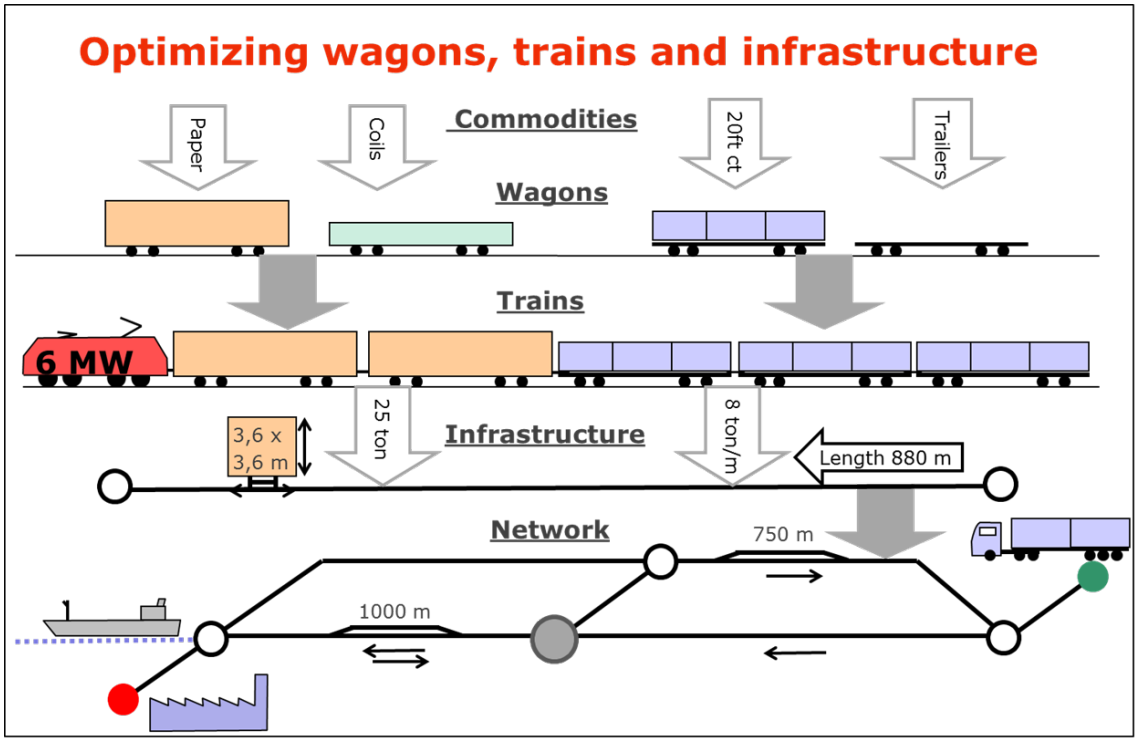
Framför allt den långväga godstrafiken är mer betjänt av ett nätverk där det finns alternativa körvägar med relativt hög kapacitet. Några exempel på att godstrafiken skulle kunna utvecklas är genom att köra längre tåg om olika länkar kan kombineras där mötesstationerna är tillräckligt långa eller tyngre tåg där banornas bärighet medger det. Infrastrukturens standard har givetvis stor betydelse och i ett långsiktigt perspektiv kan man också utveckla godsstråk för långa och tunga godståg där godstrafiken har prioritet.

De aspekter som kan tänkas bli bättre belysta med analys på nätverksnivå är:

- Optimering vid omstrukturering av vagnslasttrafiken
- Bättre kapacitetsutnyttjande i järnvägsnätet som helhet
- Effekter av differentierade och styrande banavgifter (kapacitetsdelen)
- Järnvägsnätets standard (tillåten tåglängd, axellast och lastprofil)
- Sårbarhetsaspekter (trafikavbrott)
- Miljöeffekt av varje alternativ beträffande emissioner för tågtrafiken
- Underlag för strategiska infrastrukturinvesteringar.

Kapaciteten på en järnväg beror inte bara på antalet tåg utan också på tåglängden och lastkapaciteten per vagn. Antalet tåg som man kan köra beror dessutom på tidtabellstrukturen och blandning mellan olika tågslag. En slutsats av detta är att man måste ta hänsyn till både gods- och persontrafiken när man analyserar kapaciteten i en järnvägskorridor.

KTH Järnvägsgruppen har arbetat mycket med simuleringsverktyget Railsys och i detta projekt implementeras ett verktyg för nätverksanalys, Nemo, som är kompatibelt med Railsys.



Figur 1. Godstransporter på järnväg från lastning till trafik i nätverk. Nemo täcker alla stegen.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla en metod för att analysera järnvägens kapacitet i ett nätverk. Genom att ta fram en modell för nätverksanalys av godstransporter på järnväg, som även tar hänsyn till persontrafiken, kan en förbättrad transportkvalitet uppnås och en ökning av godstransporterna på järnväg möjliggöras.

I denna inledande studie är avsikten att implementera nätverksverktyget Nemo i Sverige, och att peka på vilka möjligheter att verktyget ger för kommande analyser inom forskning och inom Trafikverkets planering.

2. Metod

I projektets första del implementeras verktyget för nätverksanalys, Network Evaluation Model (Nemo), som är kopplat till simuleringsverktyget Railsys. Railsys används också av Trafikverket som det huvudsakliga simuleringsverktyget och har använts både för infrastruktur- och tidtabellsplanering. Trafikverket har byggt upp hela järnvägsnätet i Sverige i Railsys och förutsättningar finns därmed att importera detta till Nemo. Erfarenheterna av Railsys i Sverige är goda, det använts också i KTHs forskning

förutom för simulering i kombination med andra modeller och i statistiska analyser.

Erfarenheter av Nemo finns framförallt i Österrike där det under en lång följd av år har använts för infrastrukturplanering och operativ planering. Implementeringen sker i samarbete med KTH:s samarbetspartners IVE (Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und Eisenbahnwesen mbH) vid universitet i Hannover

Implementering av Nemo i etapp 1 har skett i följande ordning:

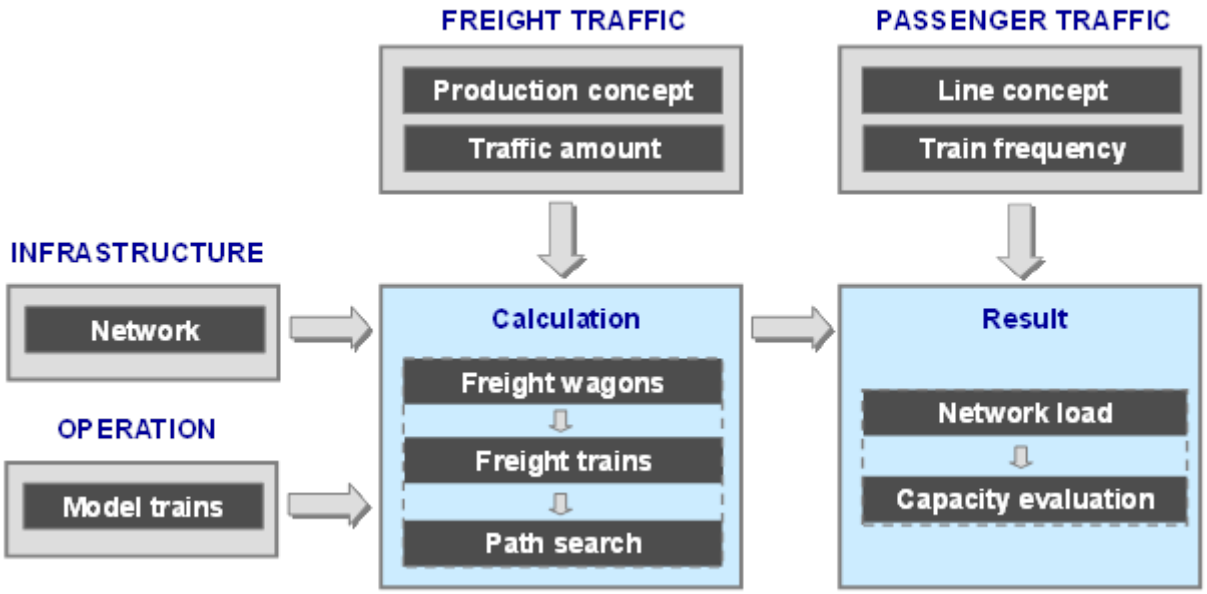
a. Nemo-programmet installeras på KTH
b. Det svenska järnvägsnätet konverteras till Nemo
c. Den svenska tågplanen T14 implementeras i Nemo
d. Test av att implementera matriser från Samgods till Nemo
e. Test av tågbildningsfunktionen för vagnslast och systemtåg i Nemo
f. Test av kapacitetsfunktionen i Nemo
g. Utvärderingsrapport till Trafikverket.

För att kunna använda Nemo med tillförlitligt resultat krävs även en kalibrering av modellen. Det kommer att göras som inledning till eventuella fortsättningsprojekt med analyser.

3. Implementering av Nemo

3.1 Simuleringsverktyget

Nemo är ett strategiskt planeringsverktyg för utvärdering av infrastruktur och trafikering av järnvägssystem. Faktorerna i nätverket som infrastruktur, trafik och transportefterfrågan är integrerade vilket möjliggör analys av samverkan mellan dessa.



Figur 2. Nemo modellstruktur. Källa: IVE

Medan Railsys är en mikroskopisk modell är Nemo en makroskopisk, vilket innebär att detaljeringsgraden inte är lika hög. I gengäld går det med en makroskopisk fortare att göra analyser av större områden och mer tågtrafik. Nemo kan kopplas till Railsys som redan nämnts vilket förutom att infrastrukturdata och tidtabeller kan importeras, kan man också göra framtida tidtabeller i Railsys baserade på transportefterfrågan i Nemo.

3.2 Indata

Järnvägsnät

Underlag för järnvägsnät i Nemo är 2014 års infrastruktur i Railsys. Detta nät har importerats i Nemo med hjälp av ett gränssnitt mellan båda simuleringsverktygen. Medan Railsys är en mikroskopisk modell är Nemo en makroskopisk, vilket innebär att detaljeringsgraden inte är lika hög. I gengäld går det med en makroskopisk fortare att göra analyser av större områden och mer tågtrafik. Nemo kan kopplas till Railsys som redan nämnts vilket förutom att infrastrukturdata och tidtabeller kan importeras, kan man också göra framtida tidtabeller i Railsys baserade på transportefterfrågan i Nemo.

Figur 3 visar grafiskt resultatet av importen med hela Sveriges järnvägsnät i Nemo. Variablerna som kan verifieras är dubbelspår, enkelspår, elektrifierade eller icke-elektrifierade länkar och medelhastighet på länkarna.

OD-matris

Samgodsmatrisen, år 2006, (från Emme/2) har används som underlag för godsmängd (ton) som fraktas genom järnvägsnätet. I detta fall är Sverige indelat i 261 inrikes (domestic) zoner och 149 utlandszoner (non-domestic). Zonerna omfattar järnvägsstationer samt hamnar med tågförbindelser. I matrisen har den godsmängd som fraktas aggregerats per år. Matrisen gäller bara vagnslasttrafiken eftersom detta tågsslag är det enda som ombildas och leds om i den hittillsvarande tillämpningen av Nemo.

Samgodsmatrisen fick omvandlas och bearbetas för att passa till Nemo. Totala godsmängder som fraktas i vagnslasttrafik matades in i Nemo och resultatet är 21 miljoner nettoton år 2014 vilket stämmer med verklig godsmängd i inrikes vagnslasttrafik (Bantrafik 2014).

Figur 3. Resultatet av importen med hela Sveriges järnvägsnät i Nemo. Variablerna som kan verifieras är dubbelspår, enkelspår, elektrifierade eller icke-elektrifierade länkar och medelhastighet på länkarna.

Tågtyper

I Samgods anges olika tågslag, varav det i vagnslasttrafiken används fyra tågslag:

- Matartåg (Samgods nr 202)
- Vagnslasttåg med längden 550 m (Samgods nr 207)
- Vagnslasttåg med längden 750 m (Samgods nr 208)
- Vagnslasttåg med längden 950 m (Samgods nr 209)

Den vanligaste tåglängden som används i vagnslaststrafik är för närvarande 550 m, alltså Samgods nr 207, men effekterna av längre tåg kan enkelt bedömas genom att öka andelen tåg 208 eller 209 beroende på scenario.

Tågparametrar

Godsslag anges i 12 olika grupper enligt STAN. I Nemo behövs en vagnstyp till varje godsslag. I första fasen av analysen kommer dock Nemo att köras med bara en vagnstyp till alla STAN-grupper. Tabell 1 visar några parametrar baserade på uppskattade värden från Green Cargos vagnslasttrafik.

Tabell 1. Tågparametrar

Type	Train	Number of axles	max axle load (tons)	Gross load (ton)/wagon	Tare weight (ton)/wagon	Max payload/ wagon	empty wagon rate/train	wagon length (m)
202	Feeder train	2	22,5	45	16	29	25%	14
207	Wagon load	2	22,5	45	16	29	25%	14
208	Wagon load	2	22,5	45	16	29	25%	14
209	Wagon load	2	22,5	45	16	29	25%	14

Not: Vagnsdata antas motsvara ett genomsnitt

Struktur

Nemo är strukturerad på tre nivåer vilken möjliggör att vagnslasttrafiken kan optimeras och ledas om genom järnvägsnätet. De tre nivåerna är stationer/terminaler (godsets inträde respektive utträde i järnvägssystemet), uppsamlingsbangårdar och rangerbangårdar.

Stationer/terminaler (Nivå 1)

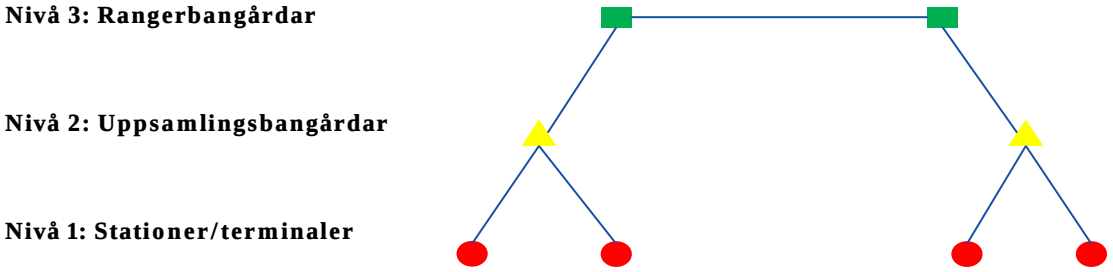
Stationer och terminaler (*entry points*) innebär noder för mottagning och avlämning (leverans) av gods. Alla stationer med godstrafik fungerar som en ingång och utgång av gods från järnvägsnätet. Stationer och terminaler innefattar den lägsta nivå i Nemo.

Uppsamlingsbangårdar (Nivå 2)

Uppsamlingsbangårdar (*junctions*) är noder som fungerar som insamlingspunkter för tågbildning. I Nemo tillhör uppsamlingsbangårdarna den andra nivån av noder i programmet. De uppsamlingsbangårdar som angetts enligt underlag från Green Cargo är: Boden, Vännäs, Sundsvall, Karlstad, Tomteboda (Stockholm), Norrköping, Nässjö, Älmhult, Halmstad och Helsingborg.

Rangerbangårdar (Nivå 3)

Rangerbangårdar (*shunting yards*) är noder som fungerar som nav för ombildning av vagnslasttåg i vagnslasttrafiken. Rangerbangårdar är den högsta nivån i Nemo. Mellan bangårdar måste man definiera om det går direkta tåg eller om vagnarna måste ledas genom en eller flera rangerbangårdar. De rangerbangårdar som angetts är: Hallsberg, Sävenäs, Malmö, Borlänge, Ånge och Gävle.



Figur 4. Nätstruktur i Nemo.

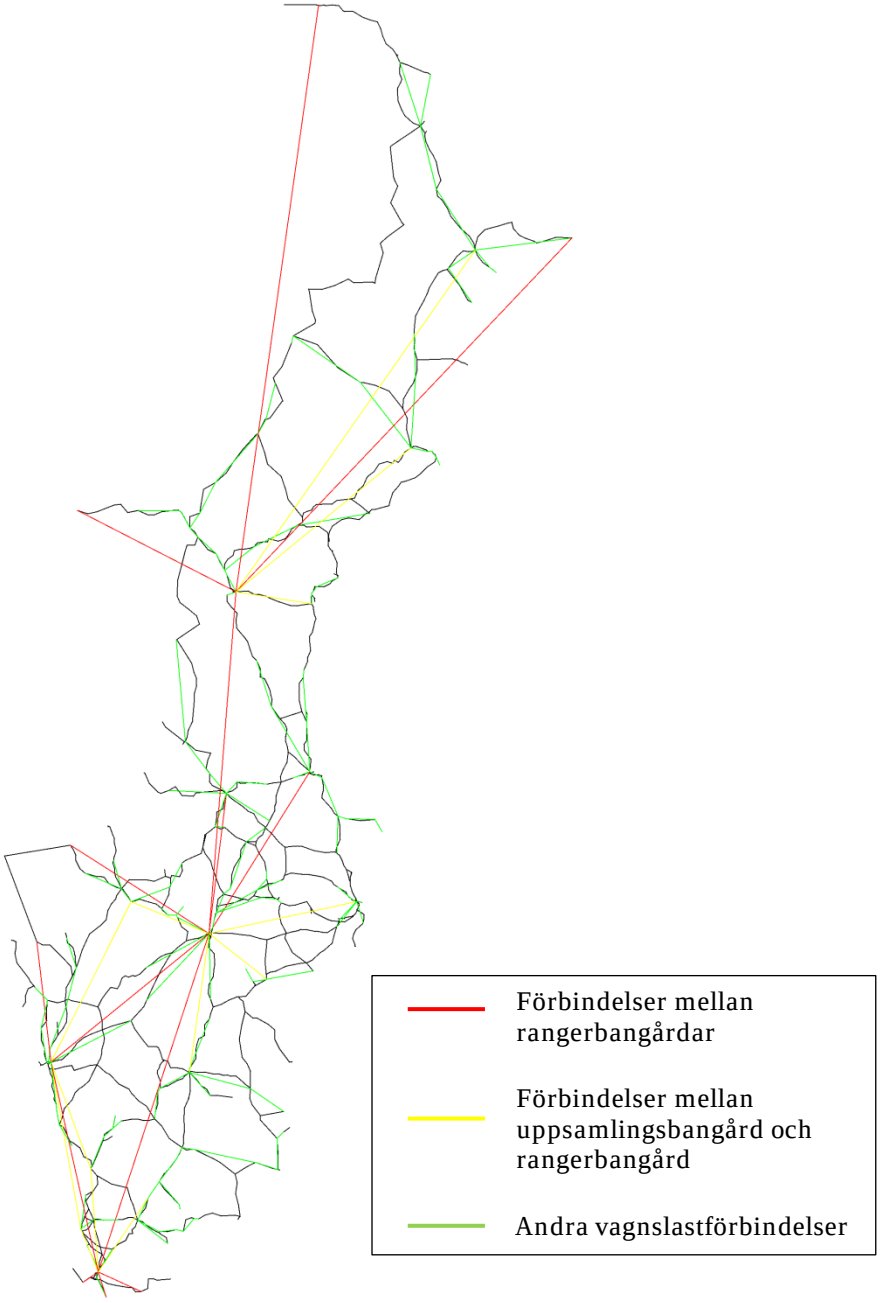
Gränsstationer och utländska stationer

Stationer som ligger vid gränsen till andra länder definieras som gränsstationer. Detta betyder att stationerna kommer att fungera som mottagning och avlämning av tåg som korsar gränsen. Gränsstationer behövs för att koppla vidare tågen som fraktas till utländska destinationer och för tågen som kommer från utlandet till Sverige. De gränsstationerna som angetts i detta arbete med uppgifter från Green Cargo är i gräns med

- Finland: Haparanda
- Norge: Vassijaure, Storlien, Charlottenberg och Kornsjö
- Danmark: Malmö
- Europa i övrigt: Malmö, Trelleborg och Ystad

3.3 Verifiering

Verifieringen som genomförts är att produktionskoncept i Nemo överensstämmer med verkligheten, det vill säga produktionskonceptet som Green Cargo använder. I det ingår direkta tåg mellan rangerbangårdar, förbindelser mellan uppsamlingsbangårdar och rangerbangårdar och förbindelser mellan stationer/terminaler och uppsamlingsbangårdar i hela järnvägsnätet. En annan verifiering som genomförts angår gränsstationer. Produktionskonceptet avspeglar den struktur som huvudoperatören av vagnslasttrafiken använder enligt figur 5. Vagnslasttrafiken är ganska flexibel för omledning och ombildning vilket möjliggör att produktionskonceptet blir anpassningsbart till efterfrågan och ändringar i infrastrukturen.



Figur 5. Produktionskoncept i Nemo.

4. Användbarhet i kapacitetsanalys

4.1 Allmän tillämpning med Nemo

Nemo kan användas till flera olika planeringsuppgifter som är relaterade till tågtrafiken och infrastrukturen (IVE, 2015):

- ***Infrastrukturplanering i järnvägsnät***

  Nemo visar effekterna av nya länkar, blockerade länkar eller variationer i länkkapacitet genom omledning av tåg i nätverk. Detta leder till olika trafikproduktion (tåg-km), transportarbete (ton-km) och intäkter av

banavgifter som kan användas som parametrar för att utvärdera olika planeringsscenarier.

- ***Identifiering och eliminering av flaskhalsar i nätet***

  Identifiering av flaskhalsar är möjligt om tillgänglig kapacitet anges per länk i nätet. Information om kapacitet måste definieras som en extern variabel (indata). Efter att ha analyserat den tillgängliga kapaciteten söker Nemo automatiskt efter alternativa vägar. Om denna process lyckas finns det en slutlig nätverksbelastning utan flaskhalsar. Men det kan också finnas fall där inga möjliga alternativa vägar finns om nätstrukturen saknar akternativa vägar med tillräcklig kapacitet. I dessa fall finns det två alternativ: Det ena är att infrastrukturen förbättras genom nya länkar eller mer kapacitet på befintliga länkar, till exempel genom att bygga dubbelspår. Det andra att trafikvolymen (definierad i OD-matrisen) minskas.

- ***Utvärdering av utbud och transportefterfrågan***

  Nemo behöver en OD-matris över godstransporter som indata för sina beräkningar. Nemo beräknar transportproduktionen som behövs för att nå en viss efterfrågan, medan efterfrågeberäkningar måste göras med en extern prognosmodell. I detta fall används Samgods.

- ***Optimering av produktionsstrukturer***

  Detta är en central tillämpning av programmet: att definiera ett nytt produktionskoncept (noder/bangårdar), nya tågförbindelser mellan bangårdar, nya tågparametrar (längd, vikt), andra gränsstationer för internationell trafik och så vidare.

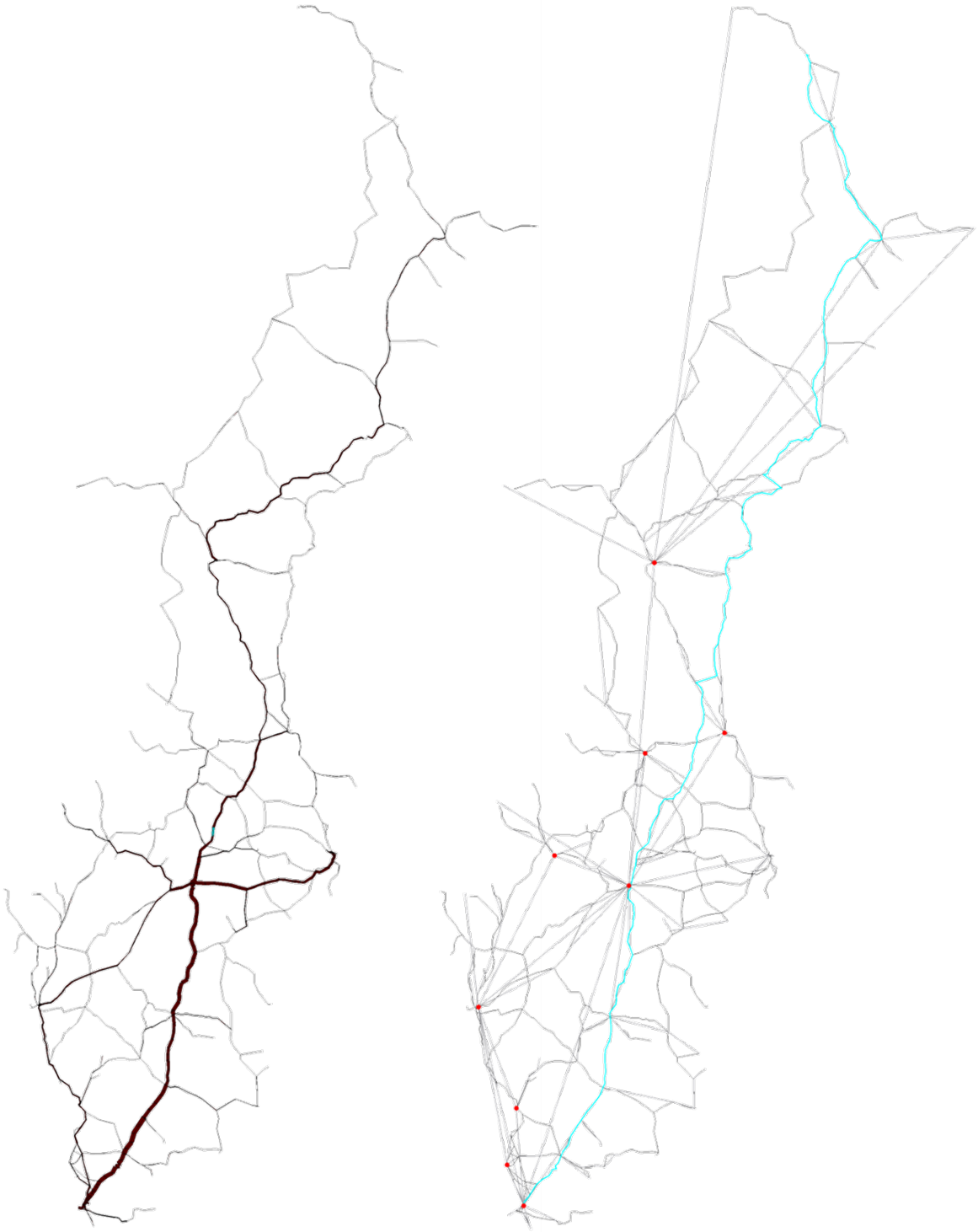
- ***Hållbarhet och miljöpåverkan***

  Baserad på trafikproduktion (tåg-km) framtagen från ett visst produktionskoncept kan CO_2-emissioner uppskattas. Uppskattningen tar hänsyn till tågparametrar (vikt, längd, medelhastighet), infrastruktur (elektrifierade, icke-elektrifierade) och energiförbrukningen (el, diesel). Beräkningen kan gå enligt formeln från Haris et al., (2011) nedan.

$$CO_2(kg) = total\ trafikproduktion \cdot förbrukning\ per\ tonkm \cdot bränslefaktor \quad (1)$$

4.2 Specifik tillämpning av Nemo

Simuleringsverktyget möjliggör att modeller av verkligheten byggs upp och realistiska scenarier kan utvärderas. I denna rapport beskrivs hur Nemo kan användas i planeringen med några tillämpad exempel.



Figur 6. Användbarhet av Nemo. A (till vänster): Belastning av vagnslasttrafik i järnvägsnätet. B (till höger): Ruttsökning (Kiruna–Malmö) med avseende på kortaste transporttid (även kortaste väg kan sökas).

- ***Längre och tyngre tåg***

  Vad kommer att hända om godsmängden fraktas med längre och tyngre tåg? Hur kommer kapaciteten i järnvägsnätet att påverkas? Var kommer infrastruktur att behöva åtgärdas? Hur kommer produktionskostnaderna att påverkas? Dessa är några frågor som Nemo kan hjälpa till att få svar på.

Tågparametrarna kommer att ändras för att få längre och tyngre tåg i järnvägsnätet. Dessutom kan man definiera längre och tyngre tåg enbart över vissa länkar eller relationer.

- ***Sårbarhetsanalys***

  När ett avbrott inträffar är det nästan omöjligt att förutse konsekvenserna för trafiken när det gäller hur lång tid avbrottet pågår och vilka transportuppdrag (länkar) som kommer att påverkas. I Nemo kan man göra analys av avstängda länkar för att analysera hur vagnslasttrafiken kommer att ledas om på grund av avbrottet. Ett exempel som kan analyseras är att stänga länken mellan Ånge (Bräcke) och Långsele på Stambanan genom övre Norrland där ett tåg med farligt gods spårade ur 1997 och banan var avstängd i 10 dygn (Rapport RJ2000:01). Det har också skett andra urspårningar i närheten. Denna fallstudie kan jämföras med fakta från störningar i godstrafiken i verkligheten.

- ***Omstrukturera vagnslastsystemet***

  Att minska eller öka vagnslasttrafiken kan medföra ändrad produktionsstruktur. Ett exempel som kan testas i Nemo är att någon av rangerbangårdarna tas bort ur produktionssystemet och eventuellt ersätts med någon annan bangård. Hur vagnslasttrafikens produktionssystem då kommer att se ut och vilken belastning det ger på andra bangårdar och länkar kan enkelt analyseras. Denna fråga intresserar många aktörer såsom vagnslastoperatörer, godskunder, infrastrukturförvaltare och planerare.

- ***Nya länkar***

  Planering av ny järnvägsinfrastruktur tar lång tid innan det resulterar i färdig anläggning. Det finns också osäkerheter angående effekterna av den nya infrastrukturen i järnvägsnätet. Ett tillämpat exempel kan bli ny länk mellan Umeå och Luleå (Norrbotniabanan) där effekterna för vagnslastgodset och kapacitetsutnyttjandet på Stambanan genom övre Norrland kan analyseras med Nemo.

- ***Banavgifter***

  Banavgifter kan användas att styra kapacitetsutnyttjandet i järnvägsnätet. Syftet är att avlasta överbelastade länkar och leda om trafiken till mindre belastade länkar för att få ett bättre fungerande järnvägsnät som helhet. Detta kan resultera i lägre totala kostnader och mer effektivare transporter till exempel genom separerad person- och godstrafik eller enkelriktade flöden som ger färre tågmöten. Det kan analyseras med hjälp av Nemo för att uppskatta konsekvenserna. I nuläget har Nemo använts i Österrike och Schweiz för att studera banavgiftssystem baserade på trafikarbete (tåg-km) och transportarbete (ton-km) genom nätet. Varierande avgifter studerades baserade på olika banklass och -typ (låg eller hög banstandard, elektrifierad eller icke-elektrifierad bana).

5. Slutsatser

Nemo är ett makroskopiskt simuleringsverktyg som kan används på ett brett sätt, och genom att det är kopplat till RailSys finns redan indata om järnvägsnätet. Programmet är relativt enkelt att använda för analys av vagnslasttrafik och omstruktureringar av produktionsstruktur, efterfrågan och utbud. Det är också okomplicerat att utvärdera införande av nya länkar och noder (stationer) vilket gör programmet flexibelt och anpassningsbart. Resultatet visas också i form av bilder vilken gör lättare att översiktligt bedöma konsekvenserna av olika scenarier.

I kommande arbete ska också inkluderas möjligheterna att lägga in mer av godstrafiken som kombitåg och systemtåg för att få nätverksanalysen mer fullständig, medan persontrafiken i regel styrs av marknadsförutsättningar så att det finns inga eller få omledningsmöjligheter. En situation med någon avstängd länk till exempel för banarbete eller efter skada kan dock analyseras genom att manuellt lägga tillfälliga tidtabeller för persontrafiken.

Vi bedömer att Nemo är ett anpassningsbart verktyg som ger möjlighet för analys av många tillämpade scenarier som är aktuellt på det svenska järnvägsnätet. Fortsatt arbete med Nemo kommer att möjliggöra en bättre förståelse av samverkan i och effekterna på järnvägsnätet som helhet.

6. Referenser

Bantrafik 2014 (2015-06-05). Statistik 2015:13. Trafikanalys, SCB, Trafikverket

Haris, I., Naim, M., Palmer, A., Potter, A. och Mumford, C., 2011. Assessing the impact of cost optimization based on infrastructure modelling on CO2 emissions. *Int. J. Production Economics* 131, 313-321.

IVE, 2015. http://www.ivembh.de/index.php/program-nemo (läst 2015-05-21)

Rapport RJ 2000:01. Olycka med godståg nr 5800 innehållande farligt gods den 4 juli 1997, SSV om Kälarne, Z län. Statens haverikommission