

ARTEMIS Rail

**- ett kalkylverktyg för utveckling av
energibesparande lastningsstrategier av
kombigodståg**

Huvudförfattare:

Sebastian Bäckström IVL Svenska Miljöinstitutet

Mats Berg, Järnvägsgruppen KTH

Medförfattare:

Johan Öberg MiV konsult.

2013 05 31 Slutrapport för Energimyndighetens projekt nr: 34061-1.

Innehåll

Tack	5
Inledning	6
Bakgrund till projektet	6
Syfte och målsättning.	7
Metodik och genomförande.	7
ARTEMIS RAIL SE kalkylsystem.....	7
Utveckling av Artemis Rail SE till att beräkna tågens luftmotståndskoefficient.....	8
Introduktion	8
2. CFD-simuleringar.....	8
3. Förenklade samband för luftmotstånd	9
4. Implementering i Artemis Rail	9
5. Optimering av luftmotstånd	10
Karakterisering av körprofilen för kombitåg på svenska banor.....	10
GPS mätning av kombitåg	12
Beskrivning av programutveckling för att generera H—Matriser	12
Resultat av mätningarna	13
Metodik.....	13
Mätkampanj 1 – Göteborg Luleå	15
Mätkampanj 2 – Göteborg – Värnamo	16
Körriktningens betydelse för H-matrisens utseende för specifik bandel.	17
Beräkningsexempel med Artemis Rail	18
Inledning	18
Exempel tåg.....	19
Resultat	19
Diskussion	21
Lastningsprocessen vid kombiterminal.....	21
Inledning	21
Beskrivning av terminalprocessen	21
Sammanfattning amerikanska studier	22
Undersökning på Nässjö kombiterminal.....	22
Diskussion	26
Slutsatser av terminalstudien	27
Kompletterande möjligheter	27
Sammanfattning av resultat.....	29
Fortsatta studier	29
Referenser	30

Bilagor	31
Bilaga 1. Underlagsrapport:	31
Bilaga 2. Underlagsrapport: 2013 03 22	49
Bilaga 3. Underlagsrapport 2013 06 14	65
Bilaga 3. Beskrivning av GPS enheter.....	71
Bilaga 4. Underlagsrapport: Utveckling av ARTEMIS kalkylsystem - beskrivning	77

Tack

Författarna vill framföra ett tack till följande organisationer:

Trafikverket, Energimyndigheten för finansiering av arbetet.

Green Cargo, Bombardier, Baneservice AS, Hector Rail, Nässjö kombiterminal, PGF (Vaggeryds kombiterminal) samt DHL för insatser genomförda till stöd för projektet.

Omslagsbild: Tåg 49240 från Värnamo observeras vid ankomst till Skandiahammen den 21/5 2013, en resa vars körprofil dokumenterats i projektets GPS mätningar.

Inledning

Godstransporter med järnväg uppvisar jämfört med andra trafikslag mycket låga behov av energi för förflyttningen. Den stora fördelen för järnvägen står att finna i den mycket låga friktionen mellan vagnarnas hjul och rälen. Trots detta finns det potential till ytterligare reduktioner, då främst genom återmatning av bromsenergi, trafikledning fokuserad på att minimera stopp av tåg, lättare vagnskonstruktioner samt genom att reducera luftmotståndet under linjedragning, särskilt på sträckor/bandelar med hög hastighet.

Den aerodynamiska profilen för ett kombitåg påverkas i hög utsträckning av vagnarnas konstruktion, antal och hur de är lastade. Ett ur aerodynamiskt perspektiv vore det bäst om tåget i så stor utsträckning som möjligt efterliknar en homogen kropp med helt släta ytor och utan skarpa kanter. Tyvärr tenderar godståg, och då särskilt kombitåg, att kraftigt avvika från denna idealbild då flertal vagnstyper och lasttyper kombineras på ofta helt oplanerade sätt. Syftet med denna studie är att utveckla ett kalkylverktyg vilket möjliggör studier av hur olika lastprofiler på ett kombitåg påverkar dess aerodynamiska utformning och därtill kopplad energianvändning.

Bakgrund till projektet

Inom det europeiska samarbetsprojektet ARTEMIS¹ utvecklades inte bara den inom vägtrafiken väl spridda emissionskalkylmodellen ARTEMIS Road (vilken numer ingår i HBEFA-modellen). I ett parallellt arbetspaket utvecklade DTU (Danmarks Tekniska Universitet) en EXCEL-baserad kalkylmodell² för beräkning av olika tågs energibehov samt emissioner till luft. Denna kunde dock inte fyllas med landsspecifik data inom ramen för det projektet varför användbarheten för andra länder än Danmark varit begränsad. Modellen är dock enkel och användarvänlig och motsvarar de krav som kan ställas av t.ex. en tågoperatör med intresse för energieffektivisering av sin tågdrift. En komplettering med data för godståg på svenska bandelar utgjorde således en förutsättning för att göra modellen lika spridd som motsvarigheten på vägsidan. I modellen kan värdet för tågsättets luftmotstånd anges, dock saknas hjälpmedel att utifrån tågets geometriska konfiguration beräkna ett relevant värde på denna storhet.

Nyttan med att försöka optimera den aerodynamiska utformningen för kombitåg har påvisats i arbeten genomförda i USA. I samband med de kontinuerliga oljeprishöjningar som följde på konflikterna i mellanöstern kring och efter sekelskiftet kom de amerikanska järnvägsbolagen att initiera ett arbete med att reducera dieselförbrukningen. Som en del av åtgärderna undersöktes potentialen till besparingar genom att fördela om befintlig last på tågen så att aerodynamiska motståndseffekter minimerades. Detta arbete ledde till en rad publikationer samt en doktorsavhandling, se referens Lie et al (2007) och Lie et al. (2008). I sammanfattning konstaterades att befintliga tåg hade en icke fördelaktig aerodynamisk utformning, främst bestående av 'luftiga' lastbärare som trailers men även pga. att vagnar inne i tåget lämnades olastade. Tidigare studier i ämnet hade visat att ojämnheter i tågets geometri har störst effekt på de 10 första vagnarna där den relativa hastigheten till

¹ Se: <http://www.inrets.fr/ur/lte/publi-autresactions/fichesresultats/ficheartemis/artemis.html>

² Se: http://www.inrets.fr/ur/lte/publi-autresactions/fichesresultats/ficheartemis/non_road4/ARTEMIS_Rail_Model_and_UserManual.zip

omgivande luft är som störst. Genom att förändra rutinerna vid lastning av tågen kunde reduktion av luftmotståndet reduceras och bränsle besparas. Även om de amerikanska tågen är både längre, tyngre och högre (dubbelställning av containers) så körs de i regel långsammare än de svenska (70 istället för 105 km/h), varför effekten för svenska tåg har potential att bli signifikant (detta då luftmotståndet är proportionellt till kvadraten på hastigheten).

Med syfte att utveckla såväl kalkylmodellen som kunskapen om energibesparingspotentialen för svenska kombitåg genomfördes studien som beskrivs i denna slutrapport.

Syfte och målsättning.

Utgångspunkten för detta projekt har varit en ambition att dels undersöka vilken potential till energibesparing som kan rymmas inom en förändring av den aerodynamiska utformningen av tåg med intermodala lastbärare. Därutöver vill vi tillhandahålla den kunskap och ett av de hjälpmedel som kan underlätta för branschens aktörer att realisera denna potential. Utgångspunkten var de studier som genomförts i USA och som visat på goda möjligheter att bara genom en genomtänkt lastplanering reducera tågets luftmotstånd vid linjedragning. Vi ville dels undersöka i vilken utsträckning motsvarande ändringar på svenska kombitåg skulle bidra till energibesparingar och samtidigt utveckla ett enkelt kalkylverktyg med vilket effekten på energibehovet av olika placeringar av lastenheterna i tåget kunde beräknas. Målgruppen för verktyget är personal hos tågdragare och terminaloperatörer med ansvar för energieffektivisering och verksamhetsutveckling. Det finns även en tanke om att företag som utvecklar datoriserade produktions och lastplaneringsverktyg till kombiterminaler ska kunna integrera denna kunskap/funktionalitet i sina produkter.

Metodik och genomförande.

Detta utvecklingsprojekt har byggts upp av verksamhet inom följande delmoment:

1. Utveckling av ARTEMIS RAIL excel-system med CI kalkyler för att kunna modellera luftmotstånd
2. Framtagning av CI formler för att beräkna CI utifrån en enkel beskrivning av tågs geometri
3. Karakterisering av svenska kombitågs körprofiler på svenska banor (GPS mätningar, Utveckling av dataprogram för beräkning av H-matriser.).
4. Testkörning av ARTEMIS RAIL modellen, funktion och resultat.
5. Studier av lastningsprocessen på kombiterminal

ARTEMIS RAIL SE kalkylsystem

Kalkylsystemet Artemis Rail finns beskrivet i underlagsrapporter till projektet Artemis på följande hemsida:

<http://www.inrets.fr/ur/lte/publi-autresactions/fichesresultats/ficheartemis/artemis.html>

Därifrån kan även originalversionen av kalkylverktyget laddas hem.

Utveckling av Artemis Rail SE till att beräkna tågens luftmotståndskoefficient.

Introduktion

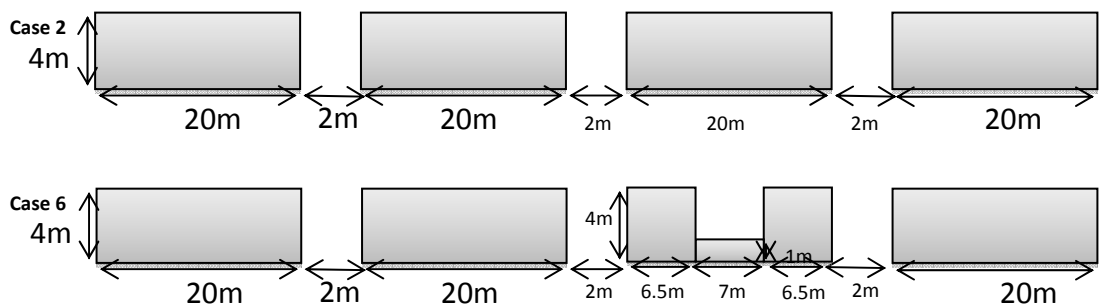
Ett viktigt sätt att minska intermodala tågs energiförbrukning är att minska deras luftmotstånd. Tåghastigheterna är visserligen inte så höga men tåg och lastbärare ger tillsammans ofta en mycket heterogen lastgeometri (höjdprofil) med betydande mellanrum mellan vagnar eller mellan lastbärare. Till skillnad från många persontåg fås intermodala godstågs största luftmotstånd inte vid front och akter utan längsmed tåget.

För att förstå hur vagnar och lastbärare bör placeras i ett tåg för minsta energiförbrukning har aerodynamiska undersökningar utförts i aktuellt projekt. Som bas har omfattande strömningsmekaniska simuleringar (Computational Fluid Dynamics, CFD) gjorts men för praktisk användning behövs enklare, men mera approximativa, samband. Dyliga simuleringar har gjorts inom ramen för ett examensarbete på KTH i samarbete med WSP/IVL och Bombardier Transportation. I examensarbetet har också ingått att formulera enkla samband för intermodala tågs luftmotstånd baserade på deras höjdprofiler och strömningssimuleringar för ett antal elementarfall. Dessa samband har sedan implementerats i programvaran Artemis Rail av en MiW Konsult. Konsultfirman också arbetat mycket med användarvänligheten av det utökade Artemis-programmet.

CFD-simuleringar

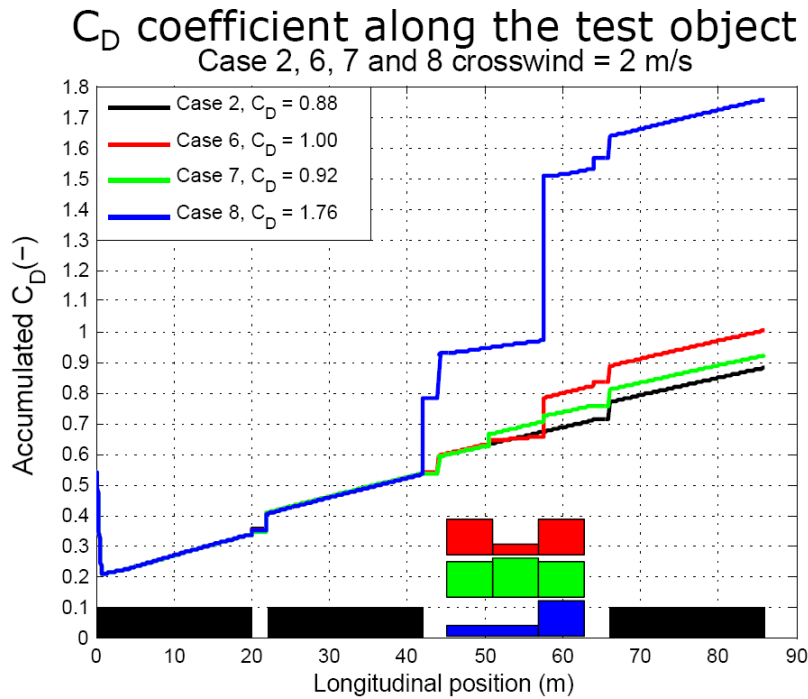
Efter grundläggande kontroller av CFD-simuleringarnas giltighet, bl a jämförelser med mätningar, har ett antal elementarfall formulerats i examensarbetet. Släta räbblock med längd 20 m, bredd 3 m och höjd 4 m har varit viktiga byggstenar för dessa elementarfall med utgångspunkten att dessa block, placerade 0.5 m ovan mark, ska efterlikna godsvagnar med lastbärare.

Fyra dylika block har placerats efter varandra med olika mellanrum, främst 2 m. Därefter har lastbärarna för den tredje "vagnen" varierats för att studera påverkan på luftmotståndet. Se exempel nedan. Även en viss sidvind har beaktats för att bli mera verklighetsnära. Fyra "vagnar" har bedömts tillräckligt för att fånga den grundläggande aerodynamiken samtidigt som simuleringarna inte blivit alltför beräkningstunga.



Figuren nedan visar exempel på hur luftmotståndet (C_D) byggs upp längs med tåget för fyra olika geometrier (tågets akter dock ej beaktad). De lutande linjerna svarar mot

friktionsmotstånd med "trappstegen" svarar mot tryck/sug på gaveln. Det framgår tydligt att Fall 8 (blått) ger mycket kraftig ökning av C_D .



Figur 1. Exempel på hur luftmotståndskoefficienten C_D byggs upp längs ett tågliknande objekt (fyra olika geometrier för "vagn 3")

Förenklade samband för luftmotstånd

Utifrån CFD-simuleringarna ovan har mönster identifierats för luftmotståndet vid olika geometrier. Med antagande om en trappstegsformad höjdprofil hos tåget, och en konstant bredd, har sedan en approximativ formel tagits fram för dess luftmotstånd. Fyra olika bidrag kan identifieras: front, akter, friktion, mellanliggande "gavlar". Framför allt att representera bidraget av "gavlar" vid olika längspositioner inom tåget har krävt mycket arbete. Ett polynom av olika höjdskillnader har slutligen valts. I korthet beror C_D -tillskottet av en viss "gavel" på gavelns höjd, höjd på gaveln närmast framför och längsavståndet till den, samt höjd på gaveln närmast bakom och längsavståndet till den. Varje friktionsbidrag antas vara proportionellt mot vagnens tvärsnittsomkrets och längd.

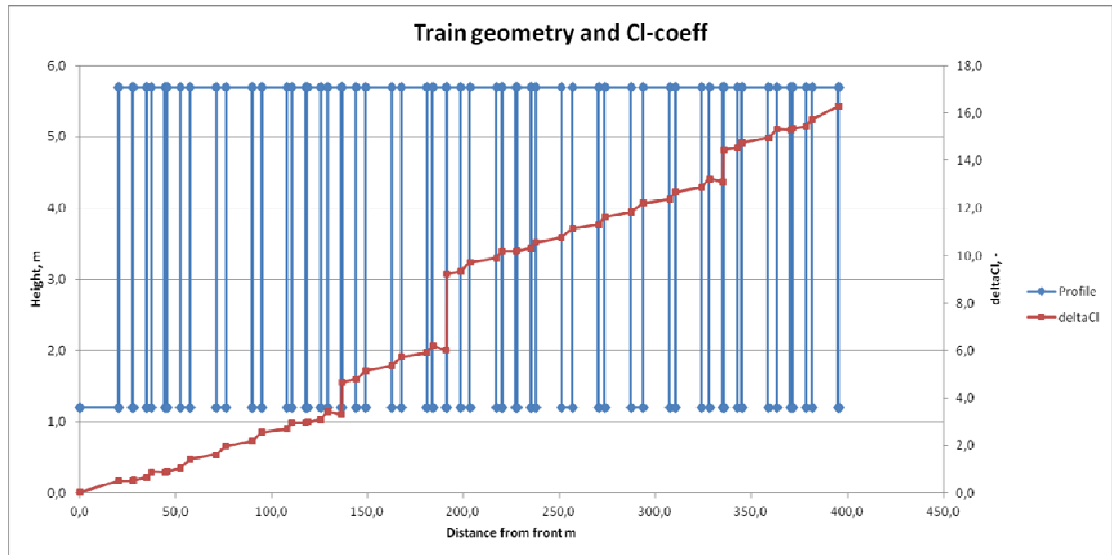
Luftmotståndet baserat på de förenklade sambanden har för elementarfallen jämförts med CFD-simuleringarna ovan med acceptabel överensstämmelse. Sambanden har också utvärderats mot mätningar, både i vindtunnel och i fält, för verklighetsnära geometrier med goda resultat. För mera information, se examensarbetet av Felipe Padilla Prado.

4. Implementering i Artemis Rail

Vad gäller tågs luftmotstånd i Artemis Rail, ges indata i form av frontarea och luftmotståndskoefficient (C_L , ovan kallad C_D). Standardmässigt brukar arean sättas till 10 m^2 medan C_L beror inte bara på tågets längd utan i stor utsträckning på hur likformat (homogent) tåget är. För persontåg och homogena godståg ger Artemis Rail viss ledning, men för intermodala godståg är stödet mycket begränsat. Det är här arbetet ovan kommer in.

Som alternativ till att bara skriva in ett värde i Artemis dialogruta för C_L , kan en trappstegsformad höjdprofil definieras för tåget genom att ge ett antal talpar (längsläge, höjd över spåret). Dessa talpar läses från fil, eventuellt baserad på höjdprofilmätningar (scanner) från spåret av förbipasserande tåg.

Figuren nedan visar ett exempel på till Artemis inläst höjdprofil för ett 400 m långt tåg. Den visar också hur de förenklade sambanden implementerade i Artemis använts för att beräkna hur C_L successivt byggs upp. Ett totalvärde för C_L kan sedan importeras till Artemis dialogruta för C_L .



Figur 2. Exempel på höjdprofil och uppbyggnad av C_L i vidareutvecklat Artemis Rail.

Den programmeringstekniska delen av arbetet, inkl användar-interfacet, har utförts av Johan Öberg från MiW Konsult.

5. Optimering av luftmotstånd

Givet antal vagnar, vagnstyper (litera) och ordningsföljd i tåget kan normalt sett lastbärare av olika typer och antal placeras på tåget på olika sätt. Detta val kommer att påverka tågets luftmotstånd, ibland väsentligt, och därmed tågets energiförbrukning.

Med hjälp av implementeringen ovan i Artemis Rail, kan olika lastningsscenarioer utvärderas med hänsyn till luftmotstånd. Begränsningar finns dock genom att vagnar oftast inte kan ta alla typer av lastbärare och farligt gods måste hanteras speciellt. Terminalarbetets upplägg sätter också vissa gränser, liksom om inte hela tåget ska till samma slutdestination.

I en förlängning kan datorstödet i Artemis Rail utvecklas ytterligare så att en automatiserad optimering av luftmotståndet erhålls.

Karakterisering av körprofilen för kombitåg på svenska banor

Energikalkylen i Excelapplikationen ARTEMIS baseras på en beräkning av de dragkrafter som loket behöver ansätta på tåget. Storleken på kraften påverkas av de

motståndskrafter som uppstår huvudsakligen av i) rull- och friktionsmotstånd, ii) luftmotstånd, iii) acceleration av tågets massa samt iv) tillförsel av lägesenergi (uppförsbackar). Storleken på krafterna i-iii är avhängig tågets körprofil varför denna är en viktig inparameter till energikalkylen. I ARTEMIS beskrivs tågets körprofil för en specifik bansträckning som en fördelning av tiden (eller sträckan) som tåget befinner sig i olika hastighetsintervall, och inom dessa ytterligare en gång uppdelat på accelerationsintervall. Denna fördelning sammanställs i en matris (benämns H-matris), se exempel nedan.

Tabell 1. Exempel på H-matris beskrivande tågets körprofil.

Train Type		Freight Locomotive Diesel			
		Valid for routes in Denmark			
Acceleration		Speeds		Time	Route
amax [m/s]	amin [m/s]	Vmax [km/h]	Vmin [km/h]	t (%)	x (%)
1,0	0,9	45	30	0,00	0,00
0,9	0,8			0,02	0,01
0,8	0,7			0,00	0,00
0,7	0,6			0,00	0,00
0,6	0,5			0,18	0,06
0,5	0,4			0,07	0,03
0,4	0,3			0,00	0,00
0,3	0,2			0,60	0,24
0,2	0,1			0,69	0,26
0,1	0,0			3,81	1,48
1,0	0,9	30	15	0,00	0,00
0,9	0,8			0,02	0,01
0,8	0,7			0,00	0,00
0,7	0,6			0,00	0,00
0,6	0,5			0,00	0,00
0,5	0,4			0,18	0,04
0,4	0,3			0,00	0,00
0,3	0,2			0,84	0,20
0,2	0,1			0,36	0,10
0,1	0,0			1,24	0,31
1,0	0,9	15	0	0,00	0,00
0,9	0,8			0,00	0,00
0,8	0,7			0,00	0,00
0,7	0,6			0,11	0,01
0,6	0,5			0,04	0,00
0,5	0,4			0,07	0,01
0,4	0,3			0,00	0,00
0,3	0,2			0,00	0,00
0,2	0,1			0,11	0,01
0,1	0,0			1,99	0,03

De i Tabell 1 presenterade uppgifterna är de som gäller för danska godståg på danska järnvägsbanor (i intervallen 0-45 km/h). På grund av de skillnader i topografi, trafikintensitet, loktyper och vikt av godståg som föreligger mellan svenska och danska tåg behöver ARTEMIS-modellen kompletteras med motsvarande data för de bansträckningar i Sverige för vilka beräkningar önskas göras. Då körprofilen kan variera mellan olika godstågtyper bör körprofilen etableras för så specifika tågtyper som möjligt, t.ex. vagnslasttåg med slutna vagnar, kombitåg, timmervagnar lastade/olastade, tankvagnar etc.).

Då loket endast utvecklar effekt vid balansering av dragkrafter på dragkroken tas endast de positiva accelerationerna med i beräkningen. För lok med återmatning av el vid motorbromsning behöver dock hänsyn tas till de negativa accelerationerna, vilket gör att dagens version av ARTEMIS ej kan användas för beräkningar för lok med återmatande broms. Modellen skulle dock in en framtida utveckling även kunna hantera retardationer där återmatning av elenergi kan ske.

Tågets körprofil påverkas av såväl tågets vikt och dynamiska gångegenskaper, banans geometri, trafikledningens styrning av trafiken och förarens körsätt. För att anpassa kalkylprogrammet till svenska förhållanden har körprofilen för kombitåg uppmätts genom tidsupplöst GPS-mätning av tåg i verklig trafik.

GPS mätning av kombitåg

Inom projektet har två mätkampanjer på kombitåg genomförts. För att erhålla hög tidsupplösning på GPS spåret användes en GPS-logger, MX3³ från host mobility, med maximal samplingsfrekvens om 2,5 Hz. Enheten kopplades till en extern blyaccumulator för att säkra drift under en 14 dagarsperiod. MX-3 enheten var även konfigurerad så att loggning av GPS data endast genomfördes när rörelse detekterats. MX-3 är även försedd med en GSM enhet vilken används till att överföra data till extern server. Detta garanterar att minneskortet ej blir fullt samt att data blir tillgängligt kontinuerligt under mätkampanjen.

I den första mätkampanjen applicerades enheten på en semi-trailer vilken till största delen användes i kombitrafik mellan norra Sverige och Västkusten. Enheten transporterades med dåvarande Cargo Nets kombitåg mellan Göteborg (Gullbergsvass) och Umeå/Luleå. Tidvis drogs trailern även av dragbil på lastbil.

Med endast 0,4 sekunders mellanrum mellan mätpunkterna genererades sammanlagt ca 2 600 000 mätpunkter under tvåveckorsperioden. För att 'vaska' fram relevant information ur denna enorma datamängd, dvs. med relevant avses då enheten transporterats på en järnvägsvagn, konstruerades ett separat datorprogram, se beskrivning i bilaga 4. Ytterligare en datarutin skapades för att ur mätdata beräkna H-matrisen för körning på respektive bandel. Dessa matades därefter in i den uppdaterade versionen av ARTEMIS Excel-applikation.

I den andra kampanjen studerades hamnpendeln mellan Skandiahamnen och Vaggeryd. Till skillnad från Göteborg-Luleå mätningen användes såväl lok som vagnsset uteslutande till denna intermodaltrafik. Således kunde GPS enheten placeras i loket utan risk att registrera GPS data vid dragning av andra typer av tåg Detta underlättade analysen betydligt då all loggad data för linjedragning således hänför sig till kombitåg (dvs. till skillnad mot kampanj 1, ingen data för t.ex. vägkörning och terminalhantering att filtrera bort).

Beskrivning av programutveckling för att generera H—Matriser

För beskrivning av programutveckling för att hantera GPS data och generera H-matriser, se bilaga 4.

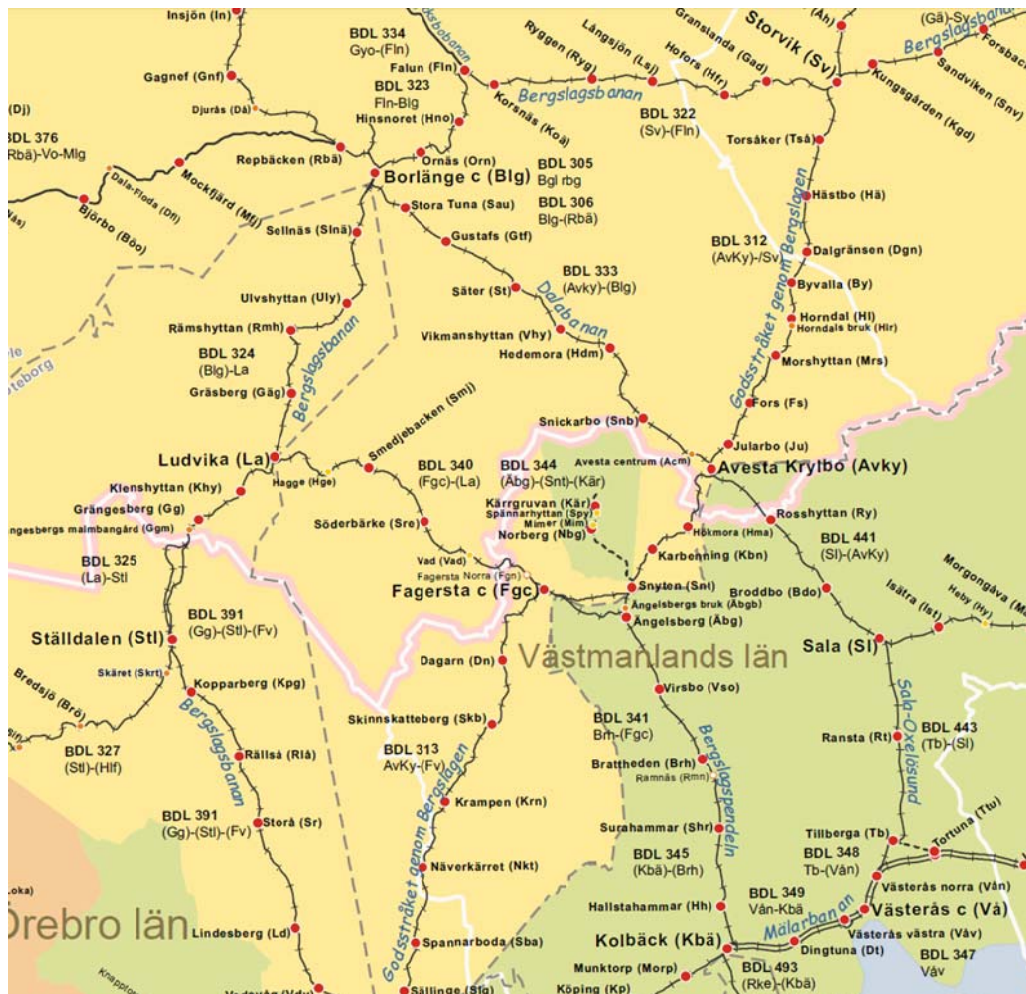
³ Se bilaga 3 för mer information om GPS enheten MX3

Resultat av mätningarna

Syftet med mätningarna var att skapa en genomsnittlig H-matris för ett kombitåg längs aktuell sträcka. Tyvärr kunde inte uppgifter om egenskaper som tågvikter, meteorologi och föraridentitet samlas in varför det ej går att analysera skillnader i H-matris mellan olika avgångar. Mätningarna gav dock möjlighet att skapa en genomsnittlig H-matris samt underöka hur värden i denna varierar mellan olika avgångar samt körriktning på de olika bandelarna.

Metodik

Sträckan Göteborg Luleå delades först upp i olika bandelar enligt den definition som Trafikverket använder. Dessa kan ses i linjeböcker och på den detaljerade järnvägskartan för svenska järnvägen, se nedan.



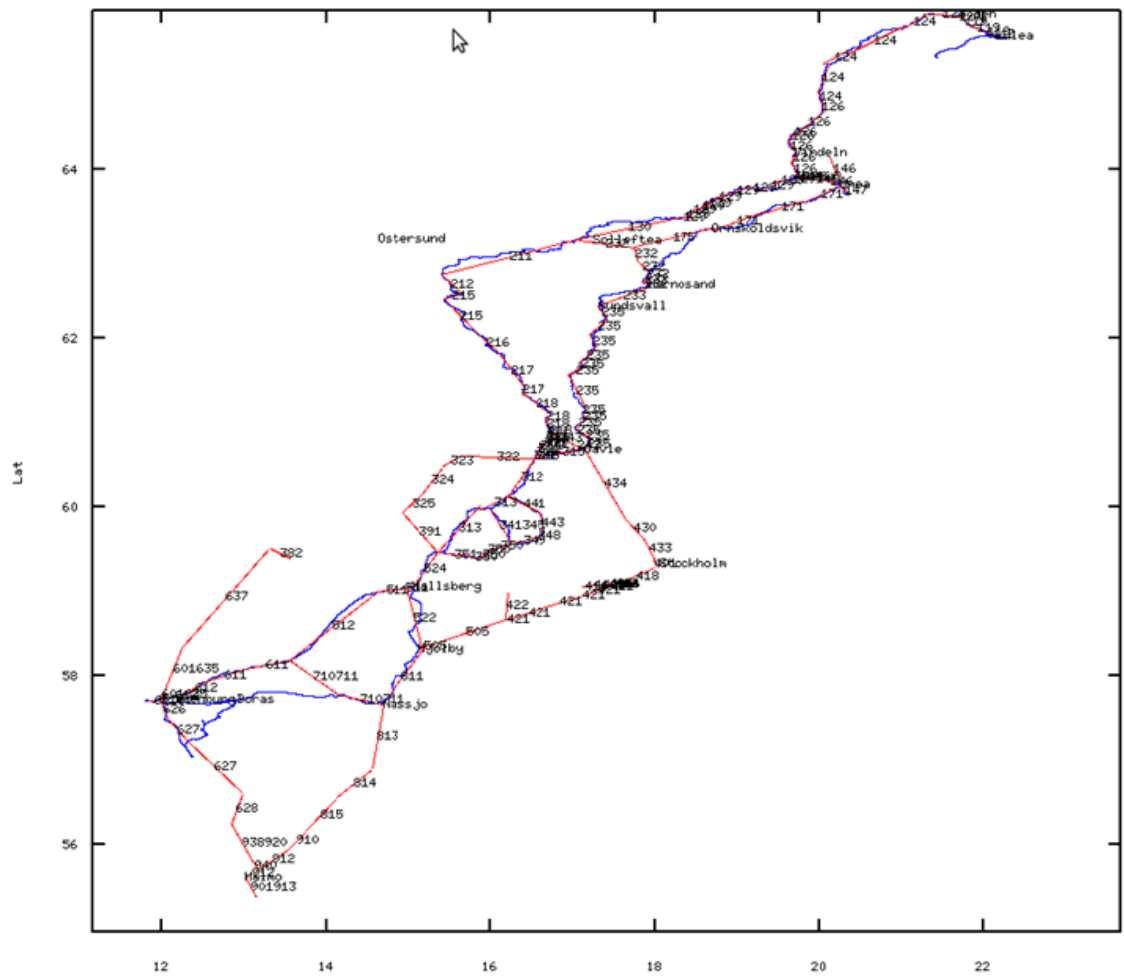
Figur 3. Exempel på bandelar kartlagda med GPS mätning. Utsnitt från detaljerade järnvägskartan (från www.trafikverket.se)

Följande bandelar har identifierats i en första omgång som intressanta för analys av intermodal trafik i Sverige

Section	Bandel	From	To	From	To	Note	km	altitude start	altitude end	slope
<u>Godsstråket Bergslagen</u>										
<i>Storvik-Mjölby</i>										
	312 Sv	Avky	Storvik	Avesta Krylbo			56	68,90	85,40	0,29
	313 Avky	Fv	Avesta Krylbo	Frövi			104	85,40	46,80	-0,37
	524 Fv	Hsa	Frövi	Hallsberg			53	46,80	66,20	0,37
	419 Hsa	skms	Hallsberg	Skymossen			9	66,20	113,10	5,21
	522 skms	My	Skymossen	Mjölby			85	113,10	119,60	0,08
<u>Västra stambanan</u>										
<i>västra</i>										
	612 G(P)	A	Göteborg	Alingsås			42	6,40	66,70	1,44
	611 A	F	Alingsås	Falköpings c			66,5	66,70	218,80	2,29
	512 F	Lå	Falköpings c	Laxå			115	218,80	97,00	-1,06
	511 Lå	Hpbg (Laxå	Hallsberg	(Östansjö)			22,5	97,00	66,20	-1,37
<i>östra</i>										
	416 Hpbg	K	Hallsberg	Katrineholms c			65	66,20	50,00	-0,25
	414 K	Jn	Katrineholms c	Järna			82	50,00	40,60	-0,11
	418 Jn	Ås	Järna	Älvsjö			28,8	40,60	30,10	-0,36
<u>Norra stambanan</u>										
<i>Storvik-Bräcke</i>										
	311 Sv	Ob	Storvik	Ockelbo			38,3	68,90	76,00	0,19
	218 Ob	Bn	Ockelbo	Bollnäs			26,7	76,00	56,00	-0,75
	217 Bn	Ls	Bollnäs	Ljusdal			64	56,00	130,10	1,16
	216 Ls	Rsö	Ljusdal	Ramsjö			46,9	130,10	233,60	2,21
	215 Rsö	Åg	Ramsjö	Ånge			51	233,60	173,30	-1,18
	212 Åg	Bä	Ånge	Bräcke			23,24	173,30	290,90	5,06
<u>Stambanan övre norrland</u>										
<i>Bräcke-Luleå</i>										
	211 Bä	Lsl	Bräcke	Långsele			129	290,90	98,30	-1,49
	130 Lsl	Msl	Långsele	Mellansel			95	98,30	67,30	-0,33
	129 Msl	Vns	Mellansel	Vännäs			117,5	67,30	89,50	0,19
	126 Vns	Bst	Vännäs	Bastuträsk			106,4	89,50	239,00	1,41
	124 Bst	Bds	Bastuträsk	Boden			170	239,00	11,00	-1,34
	119 Bdn	Le	Boden	Luleå			33,5	11,00	1,00	-0,30
<u>Södra stambanan</u>										
<i>Malmö-Älvsjö</i>										
	912 M	Hö	Malmö	Höör			53	2,00	78,70	1,45
	910 Hö	Hm	Höör	Hässleholm			29,5	78,70	54,90	-0,81
	815 Hm	Åh	Hässleholm	Älmhult			50,8	54,90	142,50	1,72
	814 Åh	Av	Älmhult	Alvesta			46,7	142,50	146,10	0,08
	813 Av	N	Alvesta	Nässjö			86	146,10	293,20	1,71
	811 N	My	Nässjö	Mjölby			86,6	293,20	117,30	-2,03
	505 My	Åby	Mjölby	Åby			84	117,30	23,00	-1,12
	422 Åby	K	Åby	Katrineholm			40	23,00	50,00	0,68
	421 Åby	Jn	Åby	Järna	delar sig		102,5	23,00	40,60	0,17
	418 Jn	Ås	Järna	Älvsjö	se ovan		30	40,60	30,10	-0,35
<u>Väst kustbanan</u>										
<i>Göteborg-Malmö</i>										
	912 M	Lu	Malmö	Lund			15	2,00	42,70	2,71
	940 Lu	Kä	Lund	Kävlinge			11	42,70	15,20	-2,50
	938920 Kä	Å	Kävlinge	Ängelholm			68	15,20	4,50	-0,16
	628 Å	Ed	Ängelholm	Edsberga			43	4,50	23,00	0,43
	627 Ed	Kb	Edsberga	Kungsbacka			131,2	23,00	4,00	-0,14
	626 Kb	G	Kungsbacka	Göteborg			27	4,00	2,30	-0,06
<u>lelar</u>										
<u>Section</u>										
<i>Malmö - Trelleborg</i>										
	901913 M	Trg	Malmö	Trelleborg			31	2,00	2,00	0,00
<i>Göteborg Sävenäs - Skane</i>										
	601603 Gsv	Gsh	Göteborg Sävenäs	Göteborg Skandiahammen			4	2,00	2,00	0,00
<u>Norge/Vänerbanan</u>										
<i>Göteborg-Kil (Karlstad)</i>										
	601635 Gbm	Öx	Göteborg Marieh	Öxnered			80	2,00	64,00	0,78
	637 Öx	Kil	Öxnered	Kil			148	64,00	102,00	0,26
	382 Kil	Kvä	Kil	Karlstad Välsviken			25,5	102,00	53,20	-1,91
<u>Bergslagsbanan</u>										
<i>Frövi - Storvik (-Gävle)</i>										
	391 Fv	Stl	Frövi	Ställdalen			78,2	46,80	183,00	1,74
	325 Stl	La	Ställdalen	Ludvika			36,9	183,00	161,00	-0,60
	324 La	Blg	Ludvika	Borlänge			48	161,00	130,00	-0,65
	323 Blg	Fln	Borlänge	Falun			25	130,00	110,00	-0,80
	322 Fln	Sv	Falun	Storvik			53,5	110,00	68,90	-0,77
	315 Sv	Gä	Storvik	Gävle			36,8	68,90	4,50	-1,75
<i>Frövi - Avesta Krylbo</i>										
	351 Fv	Jbk	Frövi	Jädersbruk			25	85,40	24,60	-2,43
	350 Jbk	Kbä	Jädersbruk	Kolbäck			37	24,60	19,60	-0,14
	349 Kbä	Vån	Kolbäck	Västerås norra			25,8	19,60	8,20	-0,44
	348 Vån	Tb	Västerås norra	Tillberga			8	8,20	42,40	4,28
	443 Tb	Sl	Tillberga	Sala			25,7	42,40	58,00	0,61
	441 Sl	AvKy	Sala	Avesta Krylbo			32,3	58,00	85,40	0,85
<i>Älvsjö - Ockelbo</i>										
	401 Ås	Udl	Älvsjö	Ulriksdal			20	30,00	16,70	-0,67
	433 Udl	Mr	Ulriksdal	Märsta			27,6	16,70	12,80	-0,14
	430 Mr	Udl	Märsta	Uppsala			29	12,80	13,80	0,03
	434 Udl	Gävle	Uppsala	Gävle			114	13,80	4,50	-0,08
	243 Gävle	Ob	Gävle	Ockelbo			34,9	4,50	76,00	2,05
<u>Kompletterade bandelar</u>										
	232 Lsl	Hsd	långsele	härnösand			106	92,00	5,00	-0,82
	147 Uågb	Hod	Umeå godsbangå	Holmsund			18	16,00	10,00	-0,33
	171 Ök	Gim	Örnsköldsvik	Gimonäs			110	20,00	5,00	-0,14
	175 Ök	Väy	Örnsköldsvik	Västeråspeby			75	20,00	8,00	-0,16
	146 Uågb	Vns	Umeå godsbangå	Vännäs			29	16,00	90,00	2,55
	710711 F	N	Falköpings c	Nässjö			113	219,00	294,00	0,66
	233 Suc	Hsd	Sundsvall	Härnösand			67	26,00	5,00	-0,31
	235 Suc	G	Sundsvall	Gävle			220	26,00	4,00	-0,10
	341345 Kbä	Åbg	Kolbäck	Ängelsberg			50	20,00	89,00	1,38
<u>GBG Skandiahammen - Vaggeryd kombiterminal</u>										
<i>Skandiahammen - Almedal</i>										
	603+601 Gsh	Am	Göteborg Skandia	Almedal			16	3	6	0,2
<i>Almedal - Borås</i>										
	641 Am	Bs	Almedal	Borås			67	6	137	2,0
<i>Borås - Värnamo</i>										
	721 Bs	V	Borås	Värnamo			100	137	160	0,2
<i>Värnamo - Bårnå</i>										
	732 V	Bmo	Värnamo	Bårnå			32	160	198	1,2

Mätkampanj 1 – Göteborg Luleå

I insamlad GPS-data identifierades körningar med tåg på de bandelar som visas markerade i blått i figur nedan.



Figur 4. Kartlagda bandelar (i rött) och uppmätta GPS spår (i blått). Notera att GPS-enheten varit monterad på en lastbilstrailer som tidvis kört på väg (se t.ex. Varberg-Borås-Jönköping)

Efter behandling av data genererades H-matriser för respektive bandel. Exempel på utseendet av H-matriser ses i tabell nedan.

Tabell 2. Exempel på beräknade H-matriser baserade på uppmätt GPS data på sträckan Göteborg – Luleå.

Time-dependent Hmatrices				GBL	VSbv	NSB	SÖN	811	626627	315	ÅDB	FAK	147	171	146	FNÖ	OKB	KÄB
[m/s]	[m/s]	[km/h]	[km/h]															
0,5	0,4	120	105															
0,4	0,3	120	105															
0,3	0,2	120	105															
0,2	0,1	120	105															
0,1	0	120	105	0,02	0,04	0,04	0,03	0,01		0,02								
0,5	0,4	105	90															
0,4	0,3	105	90															
0,3	0,2	105	90								0,01							
0,2	0,1	105	90	0,02	0,01	0,02	0,03		0,03	0,02	0,03	0,02		0,03				
0,1	0	105	90	0,23	0,29	0,29	0,14	0,23	0,08	0,29	0,05	0,27		0,07	0,02		0,17	0,01
0,5	0,4	90	75															
0,4	0,3	90	75															
0,3	0,2	90	75								0,02			0,01		0,02		
0,2	0,1	90	75	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02		0,03	0,03		0,03		0,04	0,01	0,01
0,1	0	90	75	0,06	0,04	0,05	0,09	0,04	0,32	0,09	0,13	0,04	0,03	0,28	0,03	0,27	0,08	0,15
0,5	0,4	75	60															
0,4	0,3	75	60															
0,3	0,2	75	60								0,03							
0,2	0,1	75	60	0,01	0,01			0,01			0,03	0,02				0,01	0,01	0,02
0,1	0	75	60	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02			0,05	0,04	0,02	0,01		0,03	0,06	0,07
0,5	0,4	60	45															
0,4	0,3	60	45															
0,3	0,2	60	45															
0,2	0,1	60	45	0,01				0,01			0,02	0,01				0,02		0,01
0,1	0	60	45	0,02	0,03	0,01		0,02			0,04	0,01				0,02	0,05	0,07
0,5	0,4	45	30															
0,4	0,3	45	30															
0,3	0,2	45	30															
0,2	0,1	45	30	0,01			0,01	0,01								0,01		0,01
0,1	0	45	30	0,04	0,03	0,03	0,04	0,07			0,04			0,02	0,04	0,05	0,10	
0,5	0,4	30	15															
0,4	0,3	30	15															
0,3	0,2	30	15															
0,2	0,1	30	15	0,01				0,01										0,01
0,1	0	30	15	0,02	0,01	0,01	0,02	0,06		0,05	0,02		0,41		0,01		0,05	0,03
0,5	0,4	15	0															
0,4	0,3	15	0															
0,3	0,2	15	0															
0,2	0,1	15	0					0,01							0,01			0,01
0,1	0	15	0	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03			0,03	0,02	0,02		0,04		0,02	0,02

I ovanstående sammanställning anges andelen av tiden för passage av hela bandelen som tåget befinner sig inom angivet hastighets och accelerationsintervall. T.ex. kan vi se att tågen på flera bandelar befinner sig inom hastighetsintervallet 75-90 km/h och 90-105 km/h, och oftast då med låg acceleration, 0-0,1 m/s².

H-matriser för samtliga bandelar beräknades, och för de bandelar på vilka flera passager noterats beräknades medelvärde för uppmätta passager. Dessa H-matriser har därefter införts i kalkylverktyget Artemis och gjorts valbara i menyn där val sker av den bandel som man vill göra en kalkyl för. Möjligheten att kombinera flera bandelar till ett helt stråk finns även för analys av hela terminal-terminal-tågdragningar.

Mätkampanj 2 – Göteborg – Värnamo

Den andra mätkampanjen i projektet genomfördes under slutet av maj 2013. Enheten placerades i det diesellok (T66) som opereras av CLF Cargo Sverige AB. Loket har som enda arbetsuppgift att dra det intermodala tåget mellan Skandiahavnen i Göteborg och kombiterminalen i Vaggeryd, dock endast till Värnamo där byte sker till TMZ lok med radiosyrning. T66 loket står parkerat i Göteborg respektive Värnamo under den tid som vagnarna rangeras och lastas och lossas.

Data för tågdragningar uppmättes för totalt 16 avgångar (tåg nummer 49240, 49302, 49305 samt 49381), se tabell nedan.

Tågen bestod vid samtliga avgångar av 22 vagnar enligt följande:

Sggrs, tara	24,5 ton
Antal vagnar	18 st
Sggmrs, tara	29 ton
Antal vagnar	4 st
Total tara	557 ton

För följande avgångar har GPS spåren dokumenterats:

Tågviikt GBG-VGD	[ton]	Tågviikt till VGD-GBG	[ton]
2013-05-21	962	2013-05-22	1372
2013-05-22	830	2013-05-23	1400
2013-05-23	735	2013-05-24	807
2013-05-25	824	2013-05-26	1049
2013-05-26	760	2013-05-27	920
2013-05-28	1002	2013-05-28	1479
2013-05-28	1122	2013-05-29	907
2013-05-29	1035	2013-05-30	933
Medel	909		1108
Std avvikelse	132		248

Pga. tekniska problem med GSM kommunikationen mellan MX-3 enheten och databasen kunde inga GPS data läsas ut före färdigställandet av denna rapport. Resultaten blir istället presenterade i ett kommande supplement under ridig höst 2013. Även för dessa körningar kommer H-matriser genereras och införlivas i ARTEMIS applikationen.

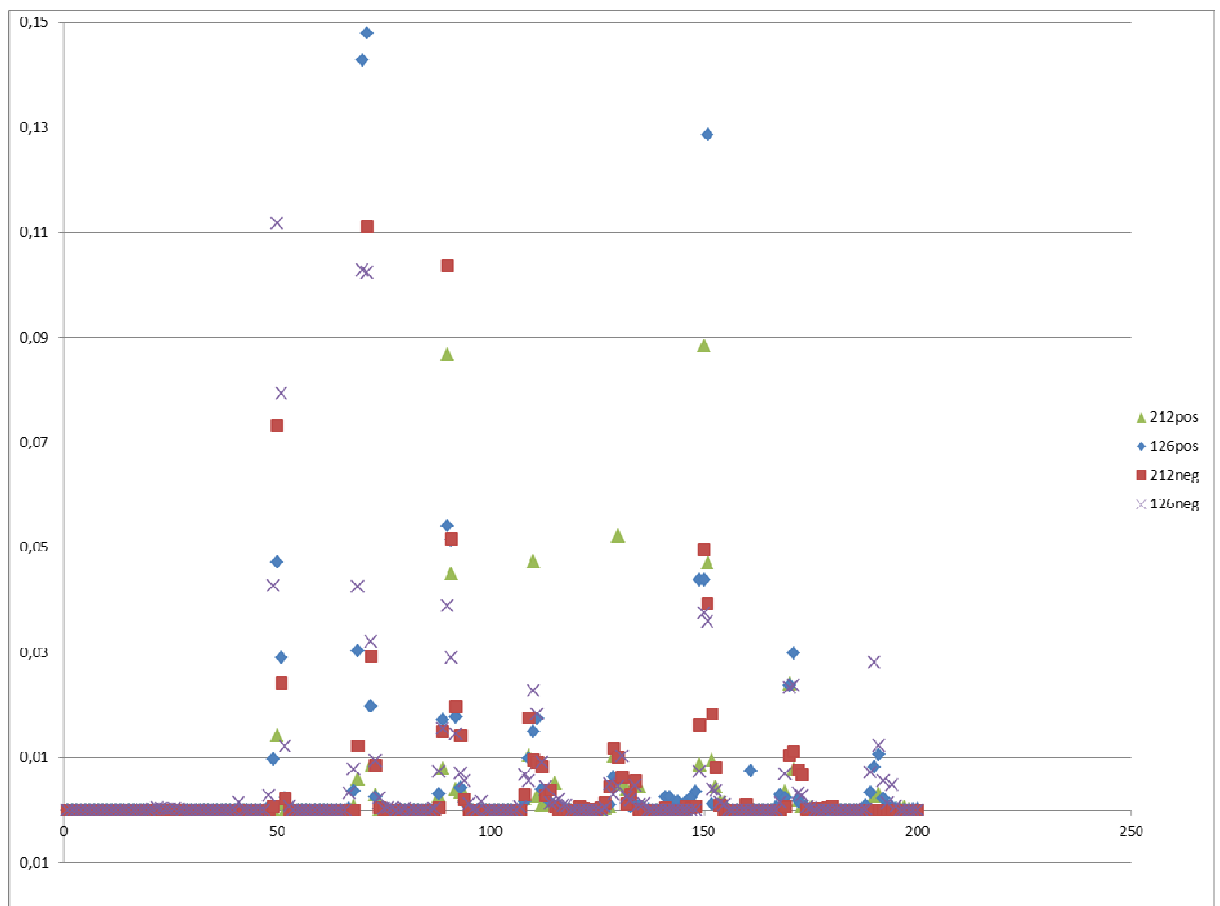
Körriktningens betydelse för H-matrisens utseende för specifik bandel.

Förutom skillnader i lutningar kan flera effekter påverka tågens körprofiler längs de olika körriktningarna för en bansträcka. För att undersöka hur stor effekt skillnad i körriktningen har, på ett urval av bandelar, de uppmätta och framräknade H-matrisen analyserades översiktligt. Totalt undersöktes 30 bandelar, varav 2 stycken mer noggrant.

Det framkom att det är skillnad i tågens körprofil i olika riktningar. På bandelar med större lutningar och längder kan det avvika 10 %-enheter i tidsfrekvenser i H-matrisen.

När man plottar fördelningen för 2 bandelar kan man se att medelvärdet av hastighet för alla mätningar är något högre i den ena mätriktningen jämfört med den andra, se Figur 5 nedan. Acceleration tycks dock i detta fallet inte påverkas så mycket.

I figuren avser '126' och '212' de bandelar som analyserats och positiv och negativ betecknar den riktning för vilken värdet avser. Notera även att skalan på x-axeln är y-värdets position i H-matrisen, där t.ex. position 50 avser intervallet [hastighet=120-105 km/h och acceleration=0-0,1 m/s²], position 70 avser [v=105-90 km/h : a=0-0,1] osv.



Figur 5. Skillnader i värden i H-matrisen mellan positiv/negativ riktning. Presenterad som % av sträckan som funktion av hastighet.

Figur 5 visar SKILLNADEN i H-matriser för olika riktning på två bandelar (126 och 212). Bandel 212 och 126 visar större standardavvikels i skillnaden mellan mätriktning än t.ex. bandelar 218 och 524. Det har med lutningen att göra, där bandel 212 och 126 har större lutningar.

I genomsnitt är skillnaden dock 0 varför det inte bedöms innebära oacceptabla fel i slutresultatet om skillnader i körprofil längs med de olika riktningarna beaktas. Denna effekt bör dock ytterligare kartläggas i framtida arbeten.

Beräkningsexempel med Artemis Rail

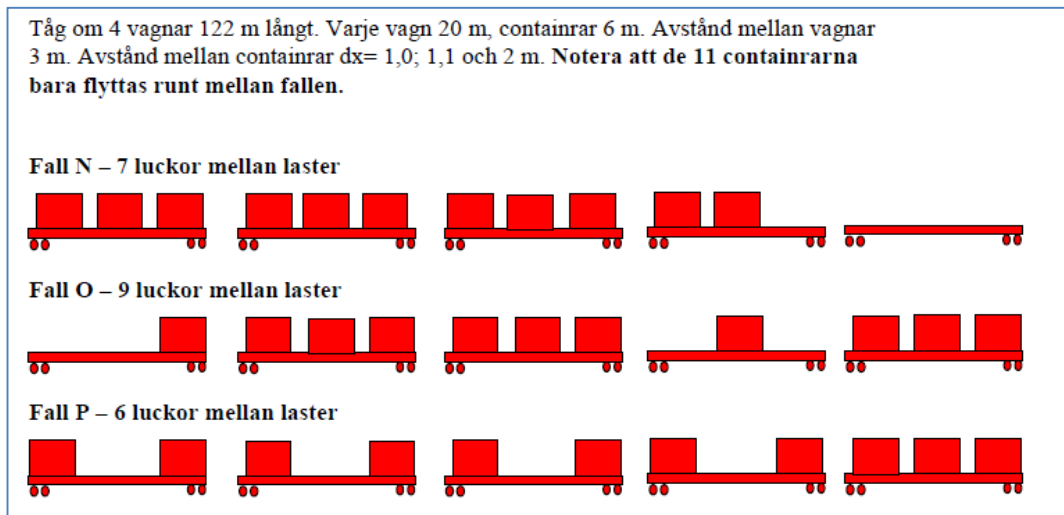
Inledning

Med körmonster för svenska kombitåg dokumenterade i form av H-matriser i kalkylverktyget KTH Artemis Rail är det nu möjligt att analysera olika lastkonfigurationer med avseende på luftmotstånd. Då syftet med verktyget är att bistå lastplaneringsprocessen med ett verktyg för att beräkna energibesparingspotentialer testades möjligheten att mata in tågets lastgeometri och studera effekten av att placera godsensheterna på olika sätt.

Inom ramen för projekttiden kom endast ett fåtal kalkyler att kunna utföras med det färdiga systemet, dock med intressanta potentialer som resultat. En stor mängd försöksberäkningar genomfördes dock under utvecklingsperioden, vilket redovisas i bilaga 1 och bilaga 2. I dessa bilagor presenteras även en nomenklatur för att antal varianter på kombinationer av vagnar och lastbärare.

Exempel tåg

Med syfte att illustrera effekten av olika lastningsmönster studerades ett förenklat tåg om 122 meter fördelat på 5 vagnar a 22 meter med 3 meters mellanrum, totallängd 122 meter, se figur nedan.



Figur 6. Illustrativt tåg om 5 vagnar (Obs: fel antal vagnar angivet inne i bilden).

Vidare antas 80 t lok, 5 vagnar tara a' 20 t, medellast containrar 2+20 t = 422 ton totalt varav 242 ton last.

Beräkning av tågets totala energianvändning genomfördes för en av de längre bandelarna uppmätt med GPS-mätningen.

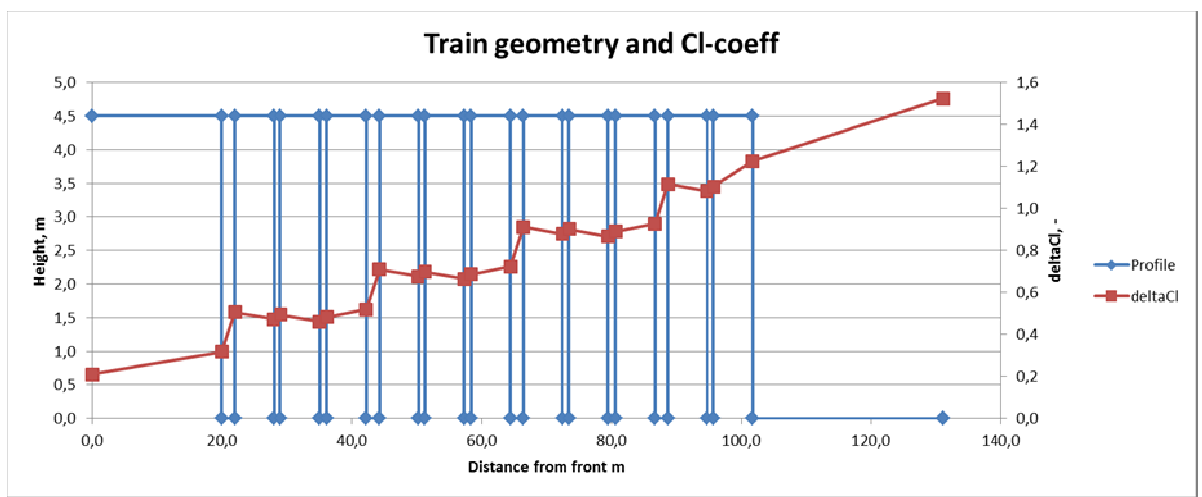
Start City	End City	Distance [km]
Storvik	Bräcke	250

På denna sträcka är medellutningen (skillnad mellan startpunkt och målpunkt) 0,89 promille.

Med syfte att analysera hur positioneringen av 11 containers på vagnarna varierades deras position (enligt figur) samt deras inbördes mellanrum vilka varierades mellan 1, 1,1 och 2 meter.

Resultat

Kalkylen för fall N med lok visar att mellanrummen mellan vagnarna ger ett bidrag till uppbyggnaden av luftmotståndskoefficienten (Cl), röd linje i figur nedan.

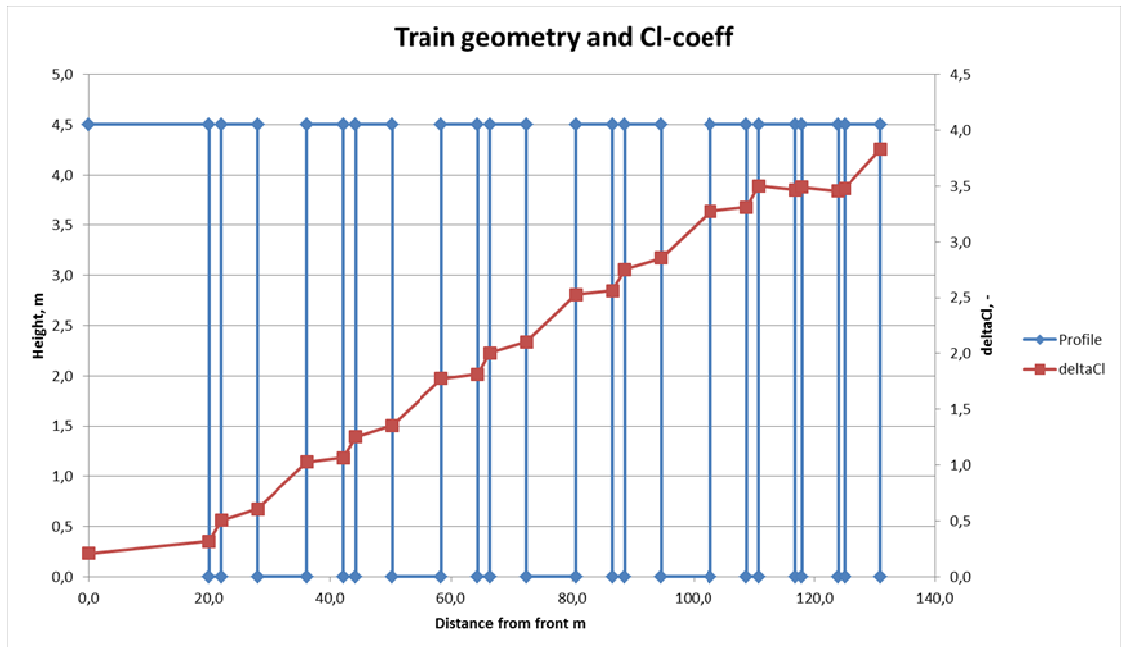


Figur 7. Luftmotståndsfaktor CI för fall N (med ett lok), relativa bidrag längs med tågets längd.

Mellanrummen mellan enheterna i exemplet är 1,1 meter, vilket är ett realistiskt mått på verkliga mellanrum, även om dessa varierar mellan 2 ner till 0,5 meter, ibland ännu tätare. Ur grafen kan vi även se att mellanrummen mellan enheterna (1,1 m.) ger ett betydligt mindre bidrag än det mellan vagnarna (3 m).

Den totala luftmotståndskoefficienten, CI, summeras till 1,5. Denna uppgift används av ARTEMIS Rail, tillsammans med tågets vikt, loktyp, och körprofilvid beräkningen av tågets energianvändning vid körning på aktuell järnvägssträcka.

Motsvarande kalkyl genomförs för lastkonfigurationen i fall P, vilket är ett försök att finna en extrem lastkonfiguration. Motsvarande uppbyggnad av CI längs med tåget redovisas i figuren nedan.



Figur 8. Luftmotståndsfaktor CI för fall P (med ett lok), relativa bidrag längs med tågets längd. Lastens höjdprofil i blått

Det framgår tydligt i Figur 8 att de stora tomma luckorna mellan enheterna ger stora bidrag till tågets luftmotstånd. Vid exekvering av energikalkylen i Artemis för den aktuella sträckan framkommer att en omfördelning av lasten från fall N (tätt lastat med tom vagn längst bak i tåget) till fall P (heterogen lastning med maximalt antal

tomma luckor mellan enheterna) medför en ökning energianvändningen med ca 1/3. Även om detta exempel pekade på de extrema skillnader som kan uppstå finns det all anledning att beakta dessa effekter.

Diskussion

Med utgångspunkt från kalkylexemplet i föregående avsnitt är det rimligt att anta att effektiviseringar av kombitågs energiförbrukning finns att hämta hem genom en lastplanering som minimerar luckor och avstånd mellan enheterna. Om vi, mycket försiktigt) antar att vi kan realisera en energieffektivisering om 5% på genomsnittståget så skulle det för den aktuella sträckan motsvara en energibesparing om drygt 150 kWh per tur. Detta motsvarar en besparing om ca 0,6 kWh/tåg*km.

Lastningsprocessen vid kombiterminal

Inledning

Ansvar för att realisera en energioptimerad lastning av kombitågen ligger i slutänden på terminaloperatören. I nuvarande planeringsprocess på terminalerna ingår inte frågan om tågens gångmotstånd och aerodynamisk utformning som ett kriterium att beakta. Syftet med denna delstudie är att underöka hur terminalens processer skulle påverkas av att komplettera nuvarande målbild med en ambition att placera lastenheterna så att lyftmotståndet under linjedragning av tåget reduceras

Beskrivning av terminalprocessen

I dagsläget är lastningsprocessen av kombitåg på terminalerna en relativt enkelt planerad och genomförd process. Utifrån den information om vilka enheter som bokats för att medfölja en specifik tågvagn genereras en plan för vilken vagn respektive enhet skall placeras på. Denna planering görs med kunskap om enhetens krav på vagnens kapacitet och utrustning för lastsäkring (längd, plats för hjulaxlar/king-pin, fästen för containers etc.). I tåget har samtliga vagnar en förutbestämd destination och om hela eller delar av tåget har samma slutdestination finns det flexibilitet vad avser vilken vagn som en viss enhet placeras på. Således kan truck-/kranföraren vid lastningen frångå den tidigare planeringen så länge samtliga enheter hamnar på vagnar med rätt destination. Själva lastningen genomförs således utefter planen med ändringar där den operativa terminalpersonalen finner möjligheter till hanteringsmässiga och/eller tidsmässiga effektiviseringsvinster. Det finns idag inga instruktioner eller rutiner som styr personalen att lasta tågen så att tåget får en så kompakt struktur som möjligt. Kunskapen om nyttan med att inte lämna tomma luckor inne i tåget finns bland personalen, men då inget krav kring detta framställts till terminaloperatören kring detta (från tågoperatör eller speditör) utgör det ingen styrande parameter. Det finns ingen sammanställd dokumentation på hur intermodala tåg är lastade varför det ej är möjligt att analysera i vilken utsträckning det finns en förbättringspotential. Att olastade positioner och helt olastade vagnar förekommer i svenska intermodala tåg är dock ett faktum. Detta kan ha flera orsaker, såsom:

- Viktsbegränsningar – ex. vid mycket tunga 20-fotscontainers kan man inte fylla vagnens alla positioner på vagnen utan att överskrida vagnskonstruktionens lastbegränsningar eller axellaster.
- Förbokad lastenhet anlände inte till terminalen i tid för avgång

- Tåget kommer att delas under färden och antalet enheter till de olika destinationerna stämmer inte överens med antalet tillgängliga lastpositioner/vagnar till de olika destinationerna.

Sammanfattning amerikanska studier

Frågan om hur terminalernas produktionsprocesser skulle påverkas av en energioptimerad lastning av kombitåg berörs i de amerikanska studierna (se: **Error! Reference source not found. Error! Reference source not found.**), dock endast översiktligt utan någon separat studie. I referens Lai et al. (2008) påstår författaren i diskussionen att *"integration of our proposed model into the (terminal operations planning-, förf. anm.) software currently being used would not require significant institutional or process change. It also should have little if any impact on operating cost because the general process remains the same; the only difference would be terminal managers' decisions about which load should be assigned to which slot to maximize fuel efficiency"*.

Det är inte troligt att lastning med ökat antal randvillkor skulle innebära någon större förändring på svenska kombiterminaler. Dock kommer troligen en viss mängd extrakörning med maskinparken (reach stacker-truckar, tug-masters och portalkranar) att förekomma, t.ex. om en enhet i tågets bakre del strax före avgång behöver flyttas för att fylla en lucka längre fram i tåget.

Det är viktigt att notera följande skillnader mellan svenska och amerikanska förutsättningar, vilka gör det svårt att bedöma hur väl de besparingssiffror som redovisats kan överföras till Sverige:

- De amerikanska studierna genomfördes på terminaler från vilka det avgick mer än ett tåg per dag till samma destination, något som ökade på urvalet av enheter man kunde disponera för att optimera lastningen av tågen.
- Amerikanska godståg är längre än svenska och har ofta 2 containers lastade ovanpå varandra
- Amerikanska godståg har lägre genomsnittlig hastighet under linjedragning
- Huvudsaklig loktyp är diesellok

Undersökning på Nässjö kombiterminal

För att få ett underlag för en diskussion om effekterna på terminalerna genomfördes en mätning av terminalfordonens körsträckor kopplat till lastningen av ett kombitåg. Syftet med mätningen är att undersöka vilket merarbete det innebär för en terminaloperatör att genomföra lastning av ett kombitåg så att luftmotståndet minimeras.

Mätningen genomfördes under ett arbetspass då endast ett tåg lastades, detta för att kunna säkerställa att alla rörelser med terminalmaskinerna var kopplade till lastningen av ett tåg. Vid tillfällen då flera tåg hanteras samtidigt kommer terminalfordonen att minimera sina körtider genom att lasta och lossa samtliga tåg samtidigt. I fallet med ett tåg förekom viss ompositionering av enheter i depå, ett normalt förehavande för att förbereda lastenheter och genomföra arbetsuppgifter. Ompositionering i depån sker i första hand av enheter som ej hunnits med att placeras rätt under perioder av hög ankomst- och avgångsfrekvens av lastbilar.

Tåget bestod av 22 vagnar av typen Sdgms vilka har en lastyta om 16,45 meter och nedsänkta fack i vilka lastbiltrailers hjulaxlar får plats, se bild.



Figur 9. Vagn littera Sdgms (bildkälla: Green Cargo)

För dessa vagnar anges maximal lastlängd till 16,45 m. och längd över buffertar 18,34 m. Detta ger en teoretisk minimal lucka om 1,89 m mellan lastenheterna på två kopplade vagnar. I verkligheten utgörs godset av 40 eller 45 fots containers (12,2 eller 13,7 meter) eller semitrailers (13,6 meter). Detta gör att den lucka som uppstår mellan två lastenheter på olika vagnar varierar mellan 3,3 till 5,4 meter. Vid lastning av två mindre enheter kan även ett mindre mellanrum (< 1m) uppstå mellan enheterna⁴.

Lastningen utförs av två reachstacker-truckar och en tug-master. Vid mätningens start var tåget helt olastat. De enheter som skulle medfölja tåget inkom med lastbil under arbetspasset och lastbilarna dirigerades till den vagn i tåget som enheterna skulle lastas på genom att trucken körde fram och positionerade sig framför aktuell vagn. I normalfallet körde lastbilen fram och stannade parallellt med järnvägsvagnen. Efter att reach-stackern lyft lastbäraren körde fordonet undan varefter reachstackern körde fram och sänkte ner lasten på vagnen. Truckens körsträcka med last på kranoket var således mycket kort. Större delen av den körsträcka som uppmättes skedde således utan last. Några enstaka enheter hämtades i depå för lastning på tåget, varvid trucken framfördes över terminalplattan med last. I tåget medföljde semi-trailers, växelflak och containers.

Lastningsprocessen dokumenterades enligt nedanstående noteringar (under lastningen uppdagades att en enhet placerats på fel vagn varför en av truckarna flyttade enheten från vagn 11 till vagn 22).

⁴ Då man vill skydda de mindre enheterna (20 fots containers och Vxflak) från inbrott brukar man placera dessa med dörrarna emot varandra så tätt som det är praktiskt möjligt.

Vagn	Destinatio	Lastsch				a			
		position 1 på vagn				position 2 på vagn			
		Typ	ID	Lastat av	Tid	Typ	ID	Lastat av	Tid
22	Luleå	40'/Semi	DMF402	GRÖN	19:46				
21	Luleå	20'/Vxl	20174	RÖD	21:37	20'/Vxl	SCH362	RÖD	?
20	Luleå	20'/Vxl	11474	RÖD	20:42	20'/Vxl	MR7457	RÖD	21:13
19	Luleå	40'/Semi	DHL14784	GRÖN	20:35				
18	Luleå	40'/Semi	DHL14489	GRÖN	20:27				
17	Luleå	40'/Semi	SCH3804	RÖD	21:32				
16	Luleå	20'/Vxl	S532	RÖD	20:37	20'/Vxl	S262	RÖD	20:40
15	Luleå	20'/Vxl	S517	RÖD	20:25	20'/Vxl	S263	RÖD	20:27
14	Luleå	40'/Semi	12500	GRÖN	21:16				
13	Luleå	UTAN LAST							
12	Luleå	20'/Vxl	S504	RÖD	20:19	20'/Vxl	S541	RÖD	20:21
11	Luleå	40'/Semi	DMF402	GRÖN	19:14	40'/Semi	XPC550	GRÖN	20:08
10	Luleå	20'/Vxl	S571	GRÖN	19:52	20'/Vxl	12774	GRÖN	19:19
9	Luleå	40'/Semi	S469	RÖD	19:38				
8	Umeå	40'/Semi	CHU572	RÖD	19:32				
7	Umeå	40'/Semi	DFL670	RÖD	21:09				
6	Umeå	40'/Semi	DHL14330	GRÖN	20:03				
5	Umeå	40'/Semi	XCT419	RÖD	21:24				
4	Umeå	20'/Vxl	S516	GRÖN	20:17	20'/Vxl	S507	GRÖN	20:20
3	Umeå	40'/Semi	SCH2601	GRÖN	21:22				
2	Umeå	20'/Vxl	S289	RÖD	19:42	20'/Vxl	SCH712	RÖD	21:22
1	Umeå	40'/Semi	S144	RÖD	19:47				

Alla tre fordonen försågs med enkla GPS-loggers (

Bilagor för mer information om GPS enheterna) vilka sparade en positionsavläsning varannan sekund. GPS enheterna aktiverades vid början av arbetspasset och registrerade alla fordonsrörelser fram tills de parkerades vid arbetspassets slut. Den totala körsträckan erhöles som den ackumulerade körsträckan under arbetspasset. Maskinerna arbetade endast med lastningen av det studerade tåget, med undantag för någon enstaka om flyttning i depån i samband med att enheter hämtades ut från densamma. Följande uppgifter registrerades för de tre arbetsmaskiner som deltog i lastningsarbetet, se tabell nedan.

Tabell 3. Verksamhetsdata för arbetsmaskiner vid lastning av ett tåg, Nässjö kombiterminal 2012-12-07 kl. 19.30 – 23.00.

	Driftstid		Sträcka	Hastighet	
	Total	varav i rörelse		Total	Genomsnitt
Fordon	[hh:mm]	[hh:mm]	[km]	[km/h]	[km/h]
Röd truck	03:27	00:34	5,9	10	20
Grön truck	03:21	00:32	5,4	10	19
Tug-master	03:34	00:07	3,2	27	36
TOTALT	10:22	01:13	14,5		

Den genomsnittliga insatsen per lastad enhet beräknas från ovanstående data till följande:

Antal lastade enheter				29
Sträcka per enhet, genomsnitt				0,5 km
Körtid per enhet, genomsnitt				2,5 minuter

Dessa uppgifter baseras dock på den totala aktiviteten för truckarna under arbetspasset. Utöver rena lastnings och lossningsuppgifter genomfördes även förflyttningar av enheter inne i depån. Förflyttningar över terminalområdet förekom även i samband med raster och väntetider mellan lastbilars ankomster. När körsträckorna mellan lastningarna beräknades ur uppmätt GPS data erhöles följande tabell för den gröna trucken.

Grön truck						
Uppdrag	Tid	Vagn	Aktivitet	Last framkörd av	Enhet ID	Sträcka sedan senaste [m]
1	19:14	11	Lastar	Lbil	DMF402	285
2	19:19	10	Lastar	Lbil	12774	49
3	19:45	11	Hämtar	-	DMF402	576
4	19:46	22	Lastar	Hämtat själv	DMF402	209
5	19:52	10	Lastar	Lbil	S571	247
6	20:03	6	Lastar	TM	DHL14330	455
7	20:08	11	Lastar	TM	XPC550	145
8	20:17	4	Lastar	Lbil	S516	243
9	20:20	4	Lastar	Lbil	S507	38
10	20:27	18	Lastar	TM	DHL14489	348
11	20:35	19	Lastar	TM	DHL14784	56
12	21:16	14	Lastar	Lbil	12500	793
13	21:22	3	Lastar	Lbil	SCH2601	339
14	22:16	Parkering				1 603
					TOTAL STRÄCKA	5 386

Mätvärdena ovan visar att medelkörsträckan mellan lastningarna är 290 meter (med en stor spridning, standardavvikelse om 230 m).

Som vi såg i fallet med detta tåg lastades en enhet fel, varvid trucken fick köra ca 200 meter extra för att placera den rätt (vagn 11 lastades först (uppdrag 1) med en enhet vilken sedan flyttades till vagn 22 (uppdrag 4)).

Diskussion

Den genomförda studien gjordes för lastningen av endast ett tåg och visar därmed troligen ett fall där truckarna kör något längre i genomsnitt än på terminaler där flera tåg hanteras samtidigt. Detta beror på att man vid parallell lastning av flera tåg kan planera samtida lastningar och lossningar utmed tågets längd, detta för att minska truckens körsträcka längs med tåget. Den uppmätta genomsnittliga körsträckan om ca 300 meter visar dock tydligt att det inte är förknippat med stora kostnader att utnyttja ledig tid före tågets avgång till att flytta om enstaka enheter med syfte att minska tågets luftmotstånd.

Som visas i lastschemat avgår tåget med vagn 13 helt utan last enligt den plan som lades innan lastningen började. Det fanns ingen praktisk orsak till varför denna vagn valdes som tom vagn, således kunde t.ex. enheten från vagn 9 planerats till, eller senare flyttats fram till, vagn 13. Givet att tåget framfördes med vagn nr 22 längst fram skulle det ha inneburit att den tomma luckan flyttats från vagn 10 till vagn 14, vilket är fördelaktigt med avseende på luftmotståndet, (se tabell 1 i Lai et al (2008)). Om denna förändring skett redan i planeringsstadiet skulle ingen extra truck tid/sträcka krävs. Om den tomma vagnen uppstått efter lastplaneringen, t.ex. pga. att planerad lastenhet inte ankom terminalen som planerat, skulle omflyttningen krävt ca 200 meter extra körning med en truck (givet att trucken redan finns ute vid tåget efter sista lastningen).

Sista enheten lastades upp på tåget klockan 21:32, 28 minuter före tågets avgång. Således fanns det i detta fall såväl tid och utrustning tillgängligt för att genomföra förflyttningen mellan vagnarna. Den ökade körsträckan hade varit i storleksordningen <4% av truckens totala körsträcka för lastningen av tåget.

Slutsatser av terminalstudien

Studien visar att det inte torde vara förknippat med stora kostnader eller resurser att på terminaler lasta tågen så att luftmotståndet minimeras. De regler som då bör följas är:

- ev. tomma luckor i tåget bör placeras så långt bak i tåget som möjligt.
- i främre delen av tåget bör man försöka placera enheter som fyller ut vagnens lastyta på längden i så stor utsträckning som möjligt, detta då luckor mellan enheterna här ger störst bidrag till motståndet. Bidraget ökar med luckans längd.

Kompletterande möjligheter

Under arbetet med studien av terminalens lastningsprocesser framkom att flera andra aktörer i transportkedjan har viktiga roller att spela vad gäller möjligheterna att realisera ett minskat gångmotstånd. Dessa aspekter har ej studerats vidare, vare sig vad gäller potential till reduktion eller praktisk genomförbarhet. De förslag till förändringar som framförts av olika aktörer i kedjan är följande:

1. Terminaloperatören behöver få mer information om enhetens geometri (höjd, längd) i god tid före lastningen påbörjas.
2. Godsägaren eller speditören kan vid nyinskaffning och utbyte välja lastbärare som bättre fyller upp lastytan på de vagnar som används. Intermodala vagnar är i många fall konstruerade för att kunna lasta de längsta lastbärarna, även om dessa lastbärare inte är vanligt förekommande. Detta skapar onödigt stora luckor mellan enheterna. En möjlighet är att längre enheter väljs när så är möjligt, t.ex. två växelplak om 7,15 meter istället för två stycken 20-fots containers vid inrikes trafik. Detta kan dock vålla problem med fordonslängder för de lastbilskipage som transporterar enheterna till och från terminalen. Möjligheterna till specialtillstånd bör undersökas. Utöver en reducerad energianvändning för tågtransporten erhåller varuägaren/speditören en ökad lastkapacitet.
3. Lastbärare med släta väggar och tak är att föredra framför de korrugerade strukturer som är vanliga på t.ex. sjöcontainers.
4. Tank containers görs med släta väggar istället för 'öppna' konstruktioner, se bilder nedan.



Figur 10 Exempel på tank-containers med ofördelaktig struktur vad avser aerodynamisk prestanda. (bilder från olika hemsidor)

5. Ökad trafik med fler avgångar till samma destination ger terminaloperatören fler möjligheter att fördela enheterna så att luftmotståndet reduceras.

Sammanfattning av resultat

Ambitionen med detta projekt har varit att utveckla såväl den metodik, dataunderlaget och ett kalkylverktyg för enkel energikalkyl av linjedragning av svenska kombitåg.

Arbetet har bestått av följande delmoment:

- Utveckling av teoretiskt ramverk för att beräkna ett tågs luftmotstånd vid linjedrift
- Utveckling av det befintliga kalkylverktyget Artemis Rail till att omfatta en funktion för att beräkna ett tågs aerodynamiska gångmotstånd utifrån information om tågets höjdprofil
- Utveckling av det befintliga kalkylverktyget Artemis Rail till att omfatta kombitåg i trafik på svenska banor (i urval)
- Kartläggning av kombitågs körmonster för att bilda statistiskt underbyggda H-matriser för relevanta bandelar
- Utveckling av programvara för analys och beräkning av stora mängder GPS data till H-matriser för de bandelar som trafikerats under datainsamling
- Två studier av lastnings och lossningsprocessen som sker på kombiterminaler

Projektets resultat är följande:

1. Projektet har levererat en vidareutvecklad version av Artemis Rail med avseende på
 - möjlighet att beräkna ett tågs CI utifrån dess lastgeometri
 - energiberäkning av trafik med specificerat kombitåg på svenska bandelar.
2. Utveckling av metod för att mäta tågs gångprofil med GPS –logger och generera H-matriser på bandelnivå. (mätning och loggning av högfrekvent GPS-data, datoriserad analys av insamlad data)
3. Karakterisering av bandelar med avseende på kombitågs normala körprofil på respektive sträcka. (H-matriser)

Fortsatta studier

Arbetet i projektet kom att omprioriteras med anledning av en rad svårigheter som framför allt handlade om komplicerade ekvationssamband mellan struktur och CI. Inom denna område finns det en rad olika utmaningar såväl inom verifiering, utveckling av modeller och benchmark med andra och mer komplexa modeller

Verifiering av energikalkyl baserad på H-matris mot mätning av faktisk elanvändning för specifika tåg.

Hantering av retardation med återmatande broms så denna del tas med i energikalkylen

Ytterligare utredning av hur skillnader i körprofil mellan olika riktningar på samma bandel kan påverka resultatet bör genomföras.

Inom ramen för projektet fortsätter mätkampanjen med GPS sår för trafiken mellan Göteborg och Värnamo, nu dock med ett Ma ellok. Ev skillnader mellan diesel och ellok kan därmed undersökas.

Referenser

- Lai et al. (2007) Lai, Y-C, Barkan C P L, Drapa J, Ahuja N , Hart J M , Narayanan P J, Jawahar C V , Kumar A, Milhon L R , Stehly M P, Machine vision analysis of the energy efficiency of intermodal freight trains, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, May 1, 2007; vol. 221, 3: pp. 353-364.
- Lai et al. (2008) Lai Y-C, Ouyang Y, Barkan C P L, 'A Rolling Horizon Model to Optimize Aerodynamic Efficiency of Intermodal Freight Trains with Uncertainty', Transport Science, Vol. 42, No. 4, November 2008, pp. 466-477, ISSN 0041-1655
- Felipe Padilla Prado Train air resistance with special application to intermodal freight, Examensarbete inom civilingenjörsutbildning, Rapport TRITA AVE 2012:15, Avd. Spårfordon, KTH, Stockholm, 2012.
- Johan Öberg Vidareutveckling av programvaran Artemis m h t intermodala tågs luftmotstånd, MiW Konsult, 2012
- Johan Öberg Förenklad analys av tågsammansättningens inverkan på det beräknade luftmotståndet med tilläggfunktionen till Artemis (v1.0), MiW Konsult, 2013.
- Johan Öberg Kompletterande beräkningar av luftmotstånd i Artemis, MiW Konsult, 2013.
- Artemis Rail SE, version 2.0, 2013. Kommer att finnas tillgänglig under detta namn på internet (via någon av de deltagande organisationernas hemsidor)

Bilagor

Bilaga 1. Underlagsrapport:

Förenklad analys av tågsammansättningens inverkan på det beräknade luftmotståndet med tilläggfunktionen till Artemis (v 1.0)

Sammanfattning

Beräkningsverktyget Artemis kan användas för att generellt jämföra olika tåg och bansträckor avseende energiförbrukning. Tidigare har programmet fått ett tillägg för att beräkna det aerodynamiska luftmotståndet utifrån tågets höjdprofil och avstånd mellan vagnarna, med syfte att användas för intermodala godståg.

För att illustrera principerna har ett antal fall av tågsammansättningar studerats och jämförts. Särskilt vagnarnas höjd, längd, avstånd mellan varandra, antal och placering har jämförts. Även tågens körriktning har varierats. Syftet är att bedöma om beräkningarna ger rimliga resultat (relativt sett) och om skillnaderna är stora nog att motivera en möjlig lastningsoptimering utifrån luftmotstånd och energianvändning för godståg. Arbete är en del av uppdrag MiW 12115 (steg 1).

Slutsatserna är att det finns tydliga skillnader mellan hur ett godståg utformas och lastas för det beräknade luftmotståndet. Särskilt viktigt är placeringen av tomvagnar och containrar på lastflak.

Stockholm 2013-01-24

Johan Öberg

Huvudförfattare, medförfattare Johan Öberg	Granskad av	Godkänd av	Dokumentbeteckning 12114-1	Dokumentdatum 2013-01-24
Kund KTH, Mats Berg		Antal sidor 120	Antal bilagor 1	Antal bilagesidor 6
Sekretess Distribution				
Får endast spridas till kund och inom MiW		Mats Berg, KTH, Sebastian Bäckström, IVL		
Anmärkning				
Arbetsrapport				

INNEHÅLL

1.	Versionshantering	32
2.	Bakgrund, problem och syfte	33
3.	Teori	33
4.	Analys, metodbeskrivning	34
4.1	Principer för analysen	34
4.2	Beräkningsfall	34
5.	Resultat	36
6.	Slutsatser	40
7.	Rekommendationer	41
8.	Bilaga – Skärmdumpar med resultatberäkningar	42
8.1	Fall A	42
8.2	Fall B	42
8.3	Fall C	43
8.4	Fall D	43
8.5	Fall D ”åt andra hållet”	43
8.6	Fall E	44
8.7	Fall E ”åt andra hållet”	44
8.8	Fall F	45
8.9	Fall G	45
8.10	Fall H ”åt andra hållet”	46
8.11	Fall I	46
8.12	Fall J	46
8.13	Fall K	47
8.14	Fall L	47
8.15	Fall L ”åt andra hållet”	48
8.16	Fall M	48

1. Versionshantering

Ver.	Status	Datum	Författare	Ändrade avsn.	Orsak till ändringen
1.0	Fram- tagen	2013-01-24	JÖ	-	-

2. Bakgrund, problem och syfte

Sedan tidigare har Artemis fått en tilläggsfunktion som beräknar det aerodynamiska gångmotståndet utifrån tågets höjdprofil och avstånd mellan vagnar (aug 2012). Denna utveckling har gjorts av MiW Konsult AB (uppdrag 11113) på uppdrag av KTH.

Tillägget beräknar den enhetslösa lutmotståndskoefficienten C_l som en funktion av tågets höjdprofil längs tåget. Koefficienten uttrycks som ett polynom som tar hänsyn till förändringarna i höjd och avstånd mellan höjdförändringarna i tåget. Detta polynom är framtaget av KTH som en anpassning till grundfall av CFD-simulering. Se vidare avsnittet om teori.

Ytterligare ett par test med olika tågsammansättningar har gjorts i Artemis (S. Bäckström, IVL) och slutsatsen är att det inte alltid är intuitivt tydligt hur resultaten beror på sammansättningen. Bl.a. kan ett högre C_l fås med lastbärare i ett tåg istället för ett tomrum. Det är ju lite besvärligt då vi tidigare antagit att det inte är bra att lämna luckor i form av tomma vagnar inne i tåget. Eventuellt kan det bero på att med last på den tidigare tomma vagnen introduceras ytterligare ett mellanrum som kan ge ett bidrag. Dessutom ökar friktionsmotståndet.

Denna fallstudie ska därför svara på:

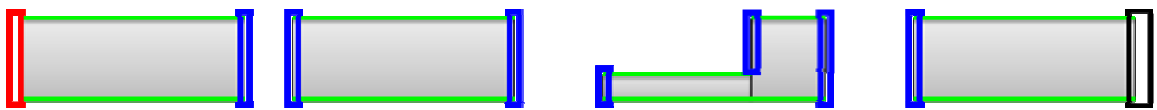
- Kontrollera att det inte finns ett rent beräkningsfel i Artemis 1.0 tilläggsmodul.
- Kontrollera skillnad i beräkningen om lucka i tåget kommer i början av tåget eller längre bak.
- Kan man införa en kompensation för att hantera situationen med fylld vagn som ger mer motstånd, till skillnad från att lämna ett tomrum i tåget?

För att svara på dessa frågor och ytterligare illustrera principerna har ett antal fall av tågsammansättningar (höjdprofiler) studerats och jämförts. Notera att detta arbete är en del av uppdrag MiW 12115 (steg 1), som ska resultera i principer för en lastningsoptimering utifrån luftmotstånd och energianvändning.

3. Teori

Luftmotståndet byggs upp av tryck och sug längs tågets ytor som är riktade vinkelrätt mot färdriktningen. Därtill adderas sedan friktionsmotstånd och ett bidrag från tågets front/akter. Principerna är generella men avgränsningen är här (intermodala) godståg.

I figuren nedan illustreras de tryck-/sugytor (blått), front-/akterbidrag (röd och svart) samt friktionsmotstånd (grönt).



Polynomet för C_l som har anpassats till CFD-simuleringarna ser ut som nedan, där nyckelparametern är Δh . Notera att Δh generellt inte är densamma i de olika termerna utan beror på upp-/nedriktningen i tåget. Dessa bestäms utifrån tågets körriktning.

$$\Sigma \left(a_1 \cdot (\Delta h) + a_2 \cdot (\Delta h)^2 + a_3 \cdot (\Delta h)^3 + b_1 \cdot \left(\frac{\Delta h}{\Delta x_{up}} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{\Delta h}{\Delta x_{up}} \right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{\Delta h}{\Delta x_{up}} \right)^3 + c_1 \cdot \left(\frac{\Delta h}{\Delta x_{down}} \right) + c_2 \cdot \left(\frac{\Delta h}{\Delta x_{down}} \right)^2 \right)$$

Koefficienterna a_x , b_x , c_x är alla i storleksordningen 0,0x och 0,00x. a_3 , b_1 , b_2 , c_1 och c_2 är negativa.

Ett ”tåg” som kan beskrivas som ett rätblock ($B \cdot H \cdot L$) utan mellanrum och höjdskillnader, kommer att få ett bidrag till C_l som endast utgörs av:

- front-/akterbidrag,
- friktion från ytorna (mantelytan $L \cdot (2H + 2B)$), samt

- ett bidrag från förhållandet mellan tågets höjd och längd.

För generella ”tåg” kommer dock både mellanrum och höjdskillnader påverka C_l . Beroende på hur tågets vagnar och laster sätts ihop kan inverkan från olika delar av polynomet ovan få olika stort inflytande, särskilt som det också finns negativa termer inblandade.

Tågets aerodynamiska gångmotstånd bestäms i huvudsak av hastigheten (i kvadrat) och C_l .

Kommentar: För små mellanrum ($< 1m$) har en speciell beräkningsrutin implementerats i Artemis utifrån resultaten från CFD. Den involverar samma polynom, men använder en slags medelvärdesbildning.

4. Analys, metodbeskrivning

4.1 Principer för analysen

Grundfallet består av ett tåg med fyra vagnar i varierande längd. Två av vagnarna är lastflak för containrar. Med fyra vagnar kan såväl ordningens betydelse som placering och utformning av lasten studeras. Mellanrummens betydelse och höjdprofilens utformning har jämförts.

Tåget i grundfallet har sedan varierats i ett antal varianter, se nedan illustrationer. Samtliga fall har definierats genom (x,h)-tabeller i Artemis och beräkning av C_l har därefter gjorts. Särskild uppmärksamhet har ägnats de olika bidragen från termerna i polynomet och hur inverkan av friktion påverkar resultaten.

Samtliga resultat är sammanställda i nästa kapitel. Underlag i form av skärmdumpar finns i bilagan.

4.2 Beräkningsfall

Grundfall

Vagn 1 (till vänster först i körriktningen) och sista vagn 4 är 20 m långa. Vagn 2 är 15 m och vagn 3 är 18 m. Mellanrummet mellan vagnarnas laster är 3 m (1,5 m per koppelsida). Höjd till lastflak/tom vagn är 1,2 m. Normalhöjden från rälsöverkant är 5,7 m (fall A-K). I utgångsläget har höjd=0 inte använts mellan vagnarna.

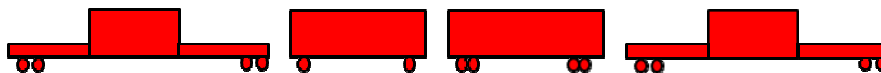
Detta ger en total tåglängd av 82 m för fall A-J. I fall K har två vagnar kopplats bort och tåglängd är då 43 m.

Extra fall

Främst enligt Bäckströms bifogade Excelfil: ”130109 KTH_Artemis_0 9 1.xls”. Dessutom har försök gjorts med $h=0$ mellan vagnar och minskat grundmellanrum till 1 m

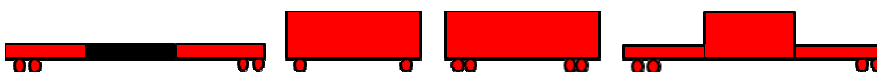
Fall A - jämförelsefallet

Vagn 1 och 4 har containrar av längd 9 m och höjd 4,5 m placerade 5 m från vänster.



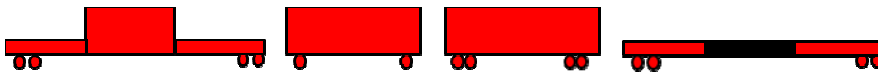
Fall B

Vagn 1 är tom. I övrigt enligt fall A.



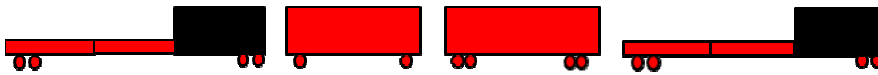
Fall C

Vagn 4 är tom. I övrigt enligt fall A.



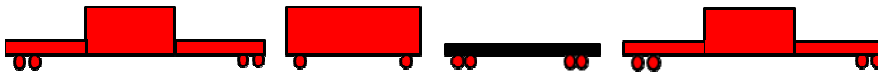
Fall D

Containrarna på vagnar 1 och 4 har förskjutits till ”höger” så att mellanrummen minskar/ökar till närliggande vagnar. I övrigt enligt fall A.



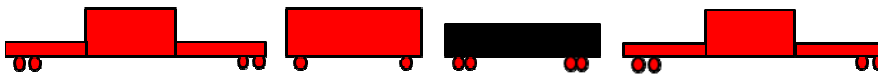
Fall E

Vagn 3 är tom. I övrigt enligt fall A. Detta ger svar på betydelsen av luckor inne i tåget. Detta fall har även körts ”åt andra hållet”, dvs med vagn 3 som vagn 2 och luckan tidigare i tåget.



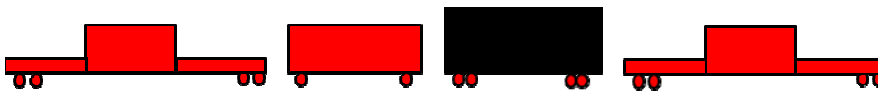
Fall F

Vagn 3 har 80 % av höjden. I övrigt enligt fall A.



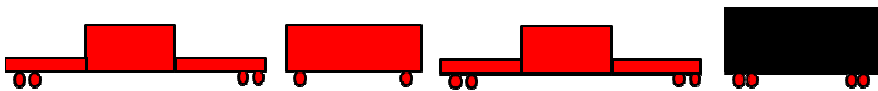
Fall G

Vagn 3 har 120 % av höjden. I övrigt enligt fall A.



Fall H

Vagn 3 har 120 % av höjden och placerad sist. I övrigt enligt fall G.



Fall I

Vagn 2 är tom. I övrigt enligt fall A. Motsvarar fall E åt andra hållet.

Fall J

Vagn 2 och 3 är tomma. I övrigt enligt fall A.



Fall K

Vagn 2 och 3 kopplas bort! I övrigt enligt fall A.



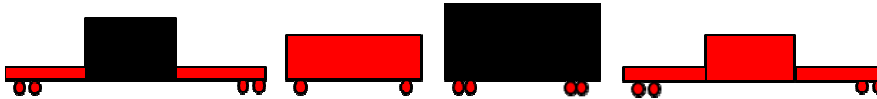
Fall L

Vagn 2-4 får ökad höjd, 5 % ökning per vagn. I övrigt enligt fall A.



Fall M

Vagn 2 och 3 får minskad/ökad höjd med 5 % mot fall A. Detta ger en indikation om betydelsen av varierande höjder.









5. Resultat

Resultaten sammanställs i tabellen nedan. Särskild uppmärksamhet har ägnats bidragen från friktion och höjd/mellanrum (dh/dx). Notera att skärmdumpar finns i bilagan.

Svart markerar förändringen mot det röda grundfallet A.

Tåg	Fall	Cl-värde (i parentes exkl. friktionsbidrag)	Friktionsbidrag	dh/dx	Kommentar
	A	2,1 (1,8)	Vagn 3 störst area	Stort (1,5) mellan vagn 2 och 3	
	B	1,7 (1,4)	Litet bidrag mellan vagn 2 och 3...	==	
	C	1,6 (1,4)	Vagn 3 störst area	==	Kontrollerat att detta motsvarar köra fall B åt andra hållet. Bättre än fall B.
	D	2,0 (1,7)	==	==	
	Drev	1,3 (1,1)	Vagnar 2,3	==	Väsentlig förbättring mot fall D.
	E	1,8 (1,5)	==	Litet	Sämre än fall B och C även exkl. friktion. Detta är rimligt.
	Erev E åt andra hållet	1,8 (1,5)	Vagn "2" (vagn 3 i fall E)	Litet	Sämre än fall B och C även exkl. friktion. Detta är rimligt. Ingen märkbar skillnad från fall E.
	F	1,9 (1,6)	Vagn 3 har störst bidrag.	Större (1,1) mellan vagn 2 och 3	Areal av vagn 3 är 0,8*h*18 och för vagn 2 h*15 > vagn 3. Bör undersökas varför inte vagn 2 ger störst bidrag.
	G	2,3 (2,0)	Vagn 3 störst area	Stort (1,9) mellan vagn 2 och 3	
	H	2,4 (2,1)	Vagn 4 störst area	Litet	Sämre än fall G även exkl. friktion. Störst höjd bör alltså inte placeras sist.

<i>Tåg</i>	<i>Fall</i>	<i>CI-värde (i parentes exkl. friktionsbidrag)</i>	<i>Friktionsbidrag</i>	<i>dh/dx</i>	<i>Kommentar</i>
	Hrev H åt andra hållet	2,1 (1,8)	Vagn 1 störst area	Litet	Bättre än fall G även exkl. friktion. Störst höjd bör alltså placeras först.
	I	Se Fall E			
	J	1,4 (1,1)	Högst på vagn 4.	Litet	Näst lägsta CI av samtliga fall A-M. Lägst av alla fall med 4 vagnar.
	K	1,3 (1,1)	Lågt	Litet	Lägre än fall K, dock bara 2 vagnar.
	L	2,4 (2,1)	Vagn 3 störst area	Stort (1,7) mellan vagn 2 och 3	Detta fall ger samma resultat "åt andra hållet".
	M	2,2 (1,9)	Vagn 3 störst area	Stort (1,7) mellan vagn 2 och 3	

Bäckströms fall ("130109 KTH_Artemis_0 9 1.xls") tåg med 22 vagnar 394 m långt.

<i>Fall</i>	<i>Cl-värde (i parentes exkl, friktionsbidrag)</i>	<i>Kommentar</i>
Ingen lucka	8,3 (6,5)	
Lucka sist	7,9 (6,2)	
Lucka vagn 10	8,1 (6,4)	
Lucka vagn 14	8,2 (6,4)	Eventuellt sämre med luckor längre bak i tåget?
Lucka vagn 14 åt andra hållet	7,9 (6,1)	Vagn 14 är nu vagn 8 och närmare loket. Detta fall är bättre än en lucka i vagn 10 (längre bakåt).
Lucka sist åt andra hållet	8,0	Luckan först i tåget är sämre än sist. Lucka sist eventuellt bäst.

6. Slutsatser

Ha gärna sammanställningen av provade elementarfall A-M när slutsatserna läses. En kortare sammanställning ges i avsnitt 7.

Generellt

Beräkningsfallen är förenklade men illustrerar ändå ett antal väsentliga beroenden i den modell som finns implementerad i Artemis 1.0.

Slutsatserna är att det finns tydliga skillnader mellan hur ett godståg utformas och lastas för det beräknade luftmotståndet. Särskilt viktigt är placeringen av tomvagnar och containrar på lastflak.

Ytterligare slutsatser:

- friktionsbidraget är generellt lågt, både relativt och i absoluta tal. Det är tryck-/sugbidragen och akter/front som bidrar mest till C_1 .
- Det är viktigt att vara försiktig med jämförelser av lastat och olastat (tomrum eller inte) avseende luftmotståndet, på samma sätt som man inte ska jämföra olika tåglängders betydelse. *Det är utifrån en given uppsättning vagnar och last som modellen kan ge en fördelaktig kombination av dessa.* Ett kort tåg eller ett tåg med många tomma vagnar ger lägre luftmotstånd än motsatsen.
- Beroende på lastens utbredning kan friktionsbidraget påverka utfallet av lägst motståndskoefficient och därför kan finnas fall där det är bättre med tomrum längre fram i tåget etc.
- Test med $h = 0$ mellan vagnar har utförts. Att använda $h = 0$ istället för $h=1,2$ kan ge ändringar av C_1 både uppåt och nedåt. Det är antagligen rimligt att använda $h > 0$ eftersom den yta som verkar mot luftflödet mellan vagnarna är starkt begränsad i verkligheten. Notera att friktionsmotståndet beror på mantelarean (höjd, längd och bredd) och alltså ger ett bidrag från vagnarnas mellanrum där $h=1,2$ (dock litet).

Ordningen av vagnar

- Från fallen E och Erev är det ej tydligt att den tomma vagnens placering i tåget påverkar C_1 alls. Antagligen för att det är för få vagnar i tågsättet (4 st).
- Däremot visar test med Bäckströms fall och långa tåg (22 vagnar) att det är bättre med luckor längre fram i tåget, *men inte* längst fram.
- Luckan sist i tåget är bättre än i någon annan del av tåget (Bäckströms fall samt fallen B, C respektive J och test med två tomma vagnar sist). Alltså undvik hålrum, men bättre med tomma vagnar sist eller alternativt närmare loket i färdriktningen.

Mellanrummens storlek

- Då mellanrummet minskar ökar beloppet av dh/dx och kan bidra till att minska C_1 (negativa koefficienter i polynomet). Det betyder att det är bättre med näraliggande vertikala ytor. Detta är t.ex. anledningen till varför fallen A-D, F, G, L, M uppvisar större värden på dh/dx . Dessa fall har gemensamt att vagnarna är placerade "nära varandra" jämfört med de andra fallen.
- En minskning av avståndet mellan vagnarna (lasterna) från 3 m till 2 m minskar C_1 med 10 % för fall A, 6 % för fall B, 20 % för fall C och 10 % för fall D. Det är till och med så att fallet L (som är samma som grundfall A men med ökande höjd för varje vagn) blir likvärdigt med fall A om mellanrummet minskas till 2 m (C_1 minskar med 15 %).

Höjdvariationens påverkan

- Av fallen A-D, F, G, L, M är fall L det sämsta (högsta fordon sist). Dessa fall har gemensamt att vagnarna är placerade "nära varandra" jämfört med de andra fallen.

- Fall M ger ett lägre C_l än fall L. Det är alltså bättre att blanda höga/låga vagnar än att ha dem i ökande/minskande sortering. Av de enkla exemplen ger fall M samma resultat åt ”andra hållet”, dvs. fordonen sorterade i fallande respektive ökande höjd. Det finns en teoretisk skillnad på 0,5 % i resultaten som talar för att det är bättre att ha de högre vagnarna först, men hela 6 % bättre att blanda varannan vagn (fall M).
- Enstaka vagnar med större höjd bör placeras långt fram i tåget (fall G, H, Hrev där Hrev är det bästa fallet – högst fordon först). Näst bäst alternativ är att placera vagnen i tåget. Sämst är det att placera den höga vagnen sist. ”Högst sist” ger bland de allra högsta C_l av samtliga fall.

Hålrums/tomma vagnar

- Bortsett från fallen med ändrade höjd, är fallet A ”sämre” än både B och C (tåg med tomma vagnar); E är sämre än B och C (alltså sämre med tomrum inuti tåget än i början /slut). Fallen J och K är klart ”bättre än de övriga” fallen, men då jämför man lastat och olastat tåg. Enligt modellen kan det alltså vara bättre med tomrum än inga tomrum alls sett till luftmotståndskoefficienten. Tomrum ska undvikas inuti tåget.
- Fallet J med de två mittersta vagnarna tomma ger ett C_l på 1,4. Om istället vagn 3 och 4 är tomma (de sista vagnarna) blir C_l 1,2. Återigen bättre med tomrum sist i tåget jämfört med inuti tåget.
- Fallet D är något bättre än fall A, dvs. bättre att koncentrera ”hålrummen” först/sist i tåget. Om tåget körs åt andra hållet (Drev) blir det en kraftig förbättring mot fall D. C_l sjunker med 30 % ! Det är alltså bättre med hålrummen sist (men inte först). Detta stärker slutsatserna av tidigare fall.
- Desto fler tomrum/tomma vagnar desto lägre C_l eftersom friktionen minskar, men framförallt därför att avstånden mellan de vertikala ytorna ökar. Eventuellt skulle detta kunna hanteras med ett ytterligare akter/front-bidrag om avståndet mellan de vertikala ytorna är större än säg 8 m. Detta kommer däremot inte att kunna kompensera för tomma vagnar så att det alltid blir sämre att köra med tomma vagnar än lastade (baserat på det front-/akterbidraget idag som inte ger mer än 0,2 enheter till C_l).

7. Rekommendationer

Modellen och beräkningarna av luftmotståndskoefficienten C_l i Artemis ger följande tumregler för att minimera luftmotståndet:

- Undvik tomma vagnar inuti tåget; placera dem sist eller långt fram i tåget (färdriktningen), *dock ej först*. Det är bättre att koncentrera hålrummen till ett ställe i tåget än att sprida ut dem.
- Sträva efter att placera vertikala ytor nära varandra, alltså små mellanrum mellan vagnar/laster.
- Om tåget består av många höjdskillnader är det bättre att blanda vagnarna än att ha dem i ökande/minskande sortering. Enstaka vagnar med högre höjd bör placeras långt fram i tåget. Sämst är det att placera enstaka höga vagnar sist. ”Högst sist” ger bland de allra högsta C_l av samtliga provade fall.
- Ett möjligt modelltillägg är ett ytterligare akter/front-bidrag om avståndet mellan de vertikala ytorna är större än ett vist värde (säg 8 m), eventuellt linjärt avtagande. Detta kan inte fullt kompensera för tomma vagnar, men minskar skillnaden mellan lastad/tom vagn något.

8. Bilaga – Skärmdumpar med resultatberäkningar

8.1 Fall A

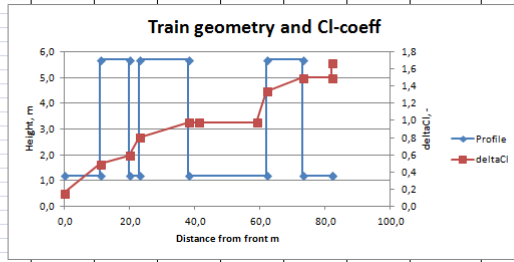
JO fall A		Output	Detailed Output									For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhdxdup	dhdxdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2	
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0		5,0	5,7	
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7	
23,0	5,7	0,9	0,5	9,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		14,0	1,2	
38,0	1,2	1,1	-0,3	15,0	1,5	-4,5	4,5	-4,5	0,1		23,0	1,2	
41,0	5,7	1,3	1,5	3,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		23,0	5,7	
59,0	1,2	1,4	-0,3	18,0	0,6	-4,5	4,5	-4,5	0,1		38,0	5,7	
62,0	1,2	1,4									38,0	1,2	
67,0	5,7	1,8	0,6	8,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,0		41,0	1,2	
76,0	1,2	1,9	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		41,0	5,7	
82,0	1,2	2,1								0,2	59,0	5,7	
		2,1									59,0	1,2	
											67,0	1,2	
											67,0	5,7	
											76,0	5,7	
											76,0	1,2	
											82,0	1,2	
											82,0	1,2	

8.2 Fall B

JO fall B		Output	Detailed Output									For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhdxdup	dhdxdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
5,0	1,2	0,2									23,0	1,2	
14,0	1,2	0,2									23,0	5,7	
20,0	1,2	0,2									38,0	5,7	
23,0	5,7	0,5	-0,1	23,0	-0,3	-1,2	-4,5	4,5	0,1		38,0	1,2	
38,0	1,2	0,7	-0,3	15,0	1,5	-4,5	4,5	-4,5	0,1		41,0	1,2	
41,0	5,7	0,9	1,5	3,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		41,0	5,7	
59,0	1,2	1,0	-0,3	18,0	0,6	-4,5	4,5	-4,5	0,1		59,0	5,7	
62,0	1,2	1,0									59,0	1,2	
67,0	5,7	1,4	0,6	8,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,0		67,0	1,2	
76,0	1,2	1,5	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		67,0	5,7	
82,0	1,2	1,7								0,2	76,0	5,7	
		1,7									76,0	1,2	
											82,0	1,2	
											82,0	1,2	

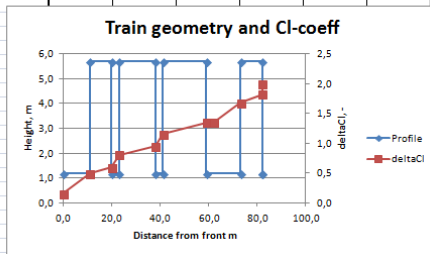
8.3 Fall C

JÖ fall C		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
11,0	5,7	0,5	-0,1	11,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		11,0	1,2
20,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	1,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0		11,0	5,7
20,0	1,2	0,6									20,0	5,7
23,0	5,7	0,8	1,5	3,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		20,0	1,2
38,0	1,2	1,0	-0,3	15,0	0,2	-4,5	4,5	-4,5	0,1		23,0	1,2
41,0	1,2	1,0									23,0	5,7
59,0	1,2	1,0									38,0	5,7
62,0	5,7	1,3	0,2	24,0	-0,4	4,5	-4,5	4,5	0,1		38,0	1,2
73,0	1,2	1,5	-0,4	11,0	-0,1	-4,5	-1,2	-4,5	0,1		62,0	1,2
82,0	1,2	1,5									62,0	5,7
82,0	1,2	1,7								0,2	73,0	5,7
											73,0	1,2
		1,7									82,0	1,2
											82,0	1,2



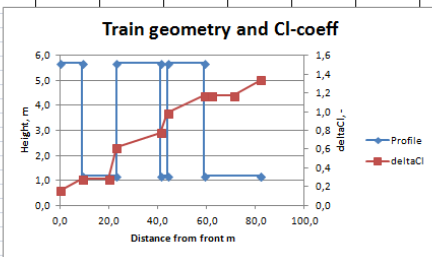
8.4 Fall D

JÖ fall D		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
11,0	5,7	0,5	-0,1	11,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		11,0	1,2
20,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	1,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0		11,0	5,7
20,0	1,2	0,6									20,0	5,7
23,0	5,7	0,8	1,5	3,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		20,0	1,2
38,0	1,2	0,9	-0,3	15,0	1,5	-4,5	4,5	-4,5	0,1		23,0	1,2
41,0	5,7	1,2	1,5	3,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		23,0	5,7
59,0	1,2	1,3	-0,3	18,0	0,3	-4,5	4,5	-4,5	0,1		38,0	5,7
62,0	1,2	1,3									38,0	1,2
73,0	5,7	1,7	0,3	14,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,0		41,0	1,2
82,0	1,2	1,8	-0,5	9,0	0,0	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		41,0	5,7
82,0	1,2	2,0								0,2	59,0	5,7
											59,0	1,2
		2,0									73,0	1,2
											73,0	5,7
		1,7									82,0	5,7
											82,0	1,2
											82,0	1,2
											82,0	1,2



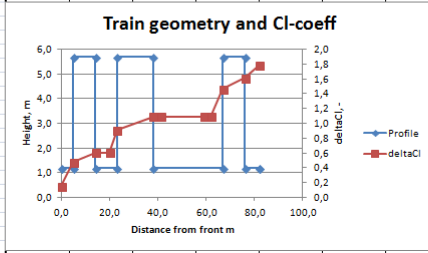
8.5 Fall D "ät andra hållet"

JÖ fall Drev		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	5,7	0,2								0,2	0,0	5,7
9,0	1,2	0,3	-0,6	9,0	0,3	-5,7	4,5	-4,5	0,0		9,0	5,7
9,0	1,2	0,3									9,0	1,2
20,0	1,2	0,3									23,0	1,2
23,0	5,7	0,6	-0,1	14,0	-0,3	-1,2	-4,5	4,5	0,0		23,0	5,7
41,0	1,2	0,8	-0,3	18,0	1,5	-4,5	4,5	-4,5	0,1		41,0	5,7
44,0	5,7	1,0	1,5	3,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		41,0	1,2
59,0	1,2	1,2	-0,3	15,0	-0,1	-4,5	-1,2	-4,5	0,1		44,0	1,2
62,0	1,2	1,2									44,0	5,7
62,0	1,2	1,2									59,0	5,7
71,0	1,2	1,2									59,0	1,2
82,0	1,2	1,3								0,2	82,0	1,2
											82,0	1,2
		1,3										
		1,1										



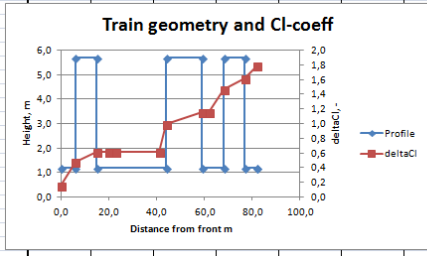
8.6 Fall E

JÖ fall E		Output	Detailed Output									For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2	
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0		5,0	5,7	
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7	
23,0	5,7	0,9	0,5	9,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		14,0	1,2	
38,0	1,2	1,1	-0,3	15,0	0,2	-4,5	4,5	-4,5	0,1		23,0	1,2	
41,0	1,2	1,1									23,0	5,7	
59,0	1,2	1,1									38,0	5,7	
62,0	1,2	1,1									38,0	1,2	
67,0	5,7	1,5	0,2	29,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,1		67,0	1,2	
76,0	1,2	1,6	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		67,0	5,7	
82,0	1,2	1,8		6,0						0,2	76,0	5,7	
		1,8									76,0	1,2	
		1,5									82,0	1,2	
											82,0	1,2	



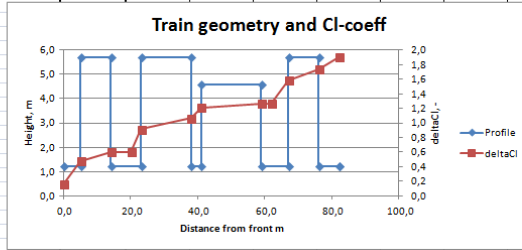
8.7 Fall E "åt andra hållet"

JÖ fall E reversed		Output	Detailed Output									For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
6,0	5,7	0,5	-0,2	6,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		6,0	1,2	
15,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,2	-4,5	4,5	-4,5	0,0		6,0	5,7	
20,0	1,2	0,6									15,0	5,7	
23,0	1,2	0,6									15,0	1,2	
41,0	1,2	0,6									44,0	1,2	
44,0	5,7	1,0	0,2	29,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,1		44,0	5,7	
59,0	1,2	1,2	-0,3	15,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,1		59,0	5,7	
62,0	1,2	1,2									59,0	1,2	
68,0	5,7	1,5	0,5	9,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,0		68,0	1,2	
77,0	1,2	1,6	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		68,0	5,7	
82,0	1,2	1,8								0,2	77,0	5,7	
		1,8									77,0	1,2	
		1,5									82,0	1,2	
											82,0	1,2	



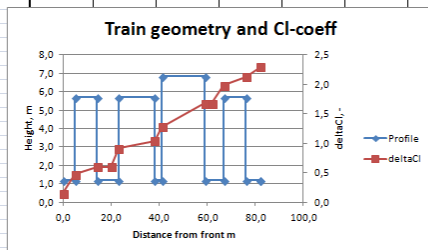
8.8 Fall F

JØ fall F		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaC(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0		5,0	5,7
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7
23,0	5,7	0,9	0,5	9,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		14,0	1,2
38,0	1,2	1,1	-0,3	15,0	1,1	-4,5	3,4	-4,5	0,1		23,0	1,2
41,0	4,6	1,2	1,5	3,0	-0,2	4,5	-3,4	3,4	0,0		23,0	5,7
59,0	1,2	1,3	-0,2	18,0	0,6	-3,4	4,5	-3,4	0,1		38,0	5,7
62,0	1,2	1,3									38,0	1,2
67,0	5,7	1,6									41,0	1,2
76,0	1,2	1,7	0,4	8,0	-0,5	3,4	-4,5	4,5	0,0		41,0	4,6
82,0	1,2	1,9	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		41,0	4,6
										0,2	59,0	4,6
											59,0	1,2
		1,9									67,0	1,2
											67,0	5,7
		1,6									76,0	5,7
											76,0	1,2
											82,0	1,2
											82,0	1,2



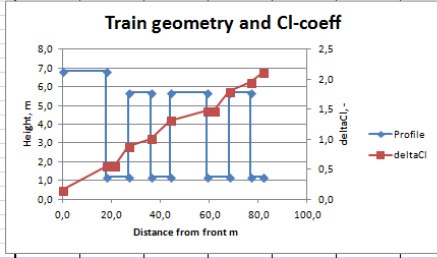
8.9 Fall G

JØ fall G		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaC(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0		5,0	5,7
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7
23,0	5,7	0,9	0,5	9,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		14,0	1,2
38,0	1,2	1,0	-0,3	15,0	1,9	-4,5	5,6	-4,5	0,1		23,0	1,2
41,0	6,8	1,3	1,5	3,0	-0,3	4,5	-5,6	5,6	0,0		23,0	5,7
59,0	1,2	1,7	-0,3	18,0	0,6	-5,6	4,5	-5,6	0,1		38,0	5,7
62,0	1,2	1,7									38,0	1,2
67,0	5,7	2,0	0,7	8,0	-0,5	5,6	-4,5	4,5	0,0		41,0	1,2
76,0	1,2	2,1	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		41,0	6,8
82,0	1,2	2,3								0,2	59,0	6,8
											59,0	1,2
		2,3									67,0	1,2
											67,0	5,7
											76,0	5,7
											76,0	1,2
											82,0	1,2
											82,0	1,2



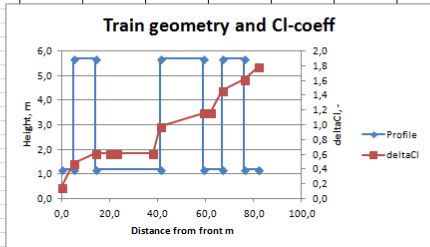
8.10 Fall H "åt andra hållet"

JÖ fall H		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaC(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	6,8	0,2								0,2	0,0	6,8
18,0	1,2	0,6	-0,4	18,0	0,5	-6,8	4,5	-5,6	0,1		18,0	6,8
21,0	1,2	0,6									18,0	1,2
27,0	5,7	0,9	-0,1	9,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		27,0	1,2
36,0	1,2	1,0	-0,5	9,0	0,6	-4,5	4,5	-4,5	0,0		27,0	5,7
44,0	5,7	1,3	0,6	8,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,0		36,0	5,7
59,0	1,2	1,5	-0,3	15,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,1		36,0	1,2
62,0	1,2	1,5									44,0	1,2
68,0	5,7	1,8	0,5	9,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,0		44,0	5,7
77,0	1,2	1,9	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		59,0	5,7
82,0	1,2	2,1								0,2	59,0	1,2
		2,1									68,0	1,2
		1,8									68,0	5,7
											77,0	5,7
											77,0	1,2
											82,0	1,2
											82,0	1,2



8.11 Fall I

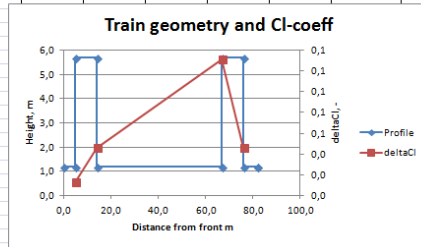
JÖ fall I		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaC(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,2	-4,5	4,5	-4,5	0,0		5,0	5,7
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7
23,0	1,2	0,6									14,0	1,2
38,0	1,2	0,6									41,0	1,2
41,0	5,7	1,0	0,2	27,0	-0,3	4,5	-4,5	4,5	0,1		41,0	5,7
59,0	1,2	1,2	-0,3	18,0	0,6	-4,5	4,5	-4,5	0,1		59,0	5,7
62,0	1,2	1,2									59,0	1,2
67,0	5,7	1,5	0,6	8,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,0		67,0	1,2
76,0	1,2	1,6	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		67,0	5,7
82,0	1,2	1,8								0,2	76,0	5,7
		1,8									76,0	1,2
		1,5									82,0	1,2
											82,0	1,2



8.12 Fall J

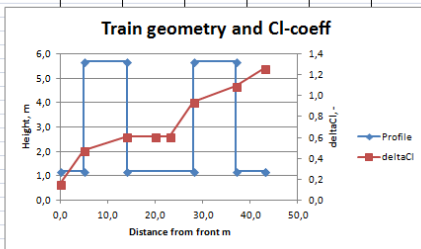
Den röda kurvan visar i detta fall skin friction och inte Cl som det står!

JO fall J		Output	Detailed Output									For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2	
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0		5,0	5,7	
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7	
23,0	1,2	0,6									14,0	1,2	
38,0	1,2	0,6									67,0	1,2	
41,0	1,2	0,6									67,0	5,7	
59,0	1,2	0,6									76,0	5,7	
62,0	1,2	0,6									76,0	1,2	
67,0	5,7	1,1	0,1	53,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,1		82,0	1,2	
76,0	1,2	1,2	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		82,0	1,2	
82,0	1,2	1,4								0,2			
		1,4											
		1,1											



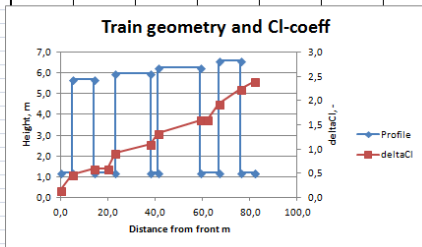
8.13 Fall K

JO fall K		Output	Detailed Output									For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2	
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0		5,0	5,7	
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7	
23,0	1,2	0,6									14,0	1,2	
28,0	5,7	0,9	0,3	14,0	-0,5	4,5	-4,5	4,5	0,0		28,0	1,2	
37,0	1,2	1,1	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		28,0	5,7	
43,0	1,2	1,3								0,2	37,0	5,7	
		1,3									37,0	1,2	
		1,1									43,0	1,2	
											43,0	1,2	



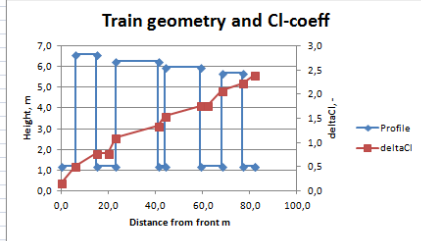
8.14 Fall L

JO fall L		Output	Detailed Output									For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
5,0	5,7	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,5	4,5	0,0		5,0	1,2	
14,0	1,2	0,6	-0,5	9,0	0,5	-4,5	4,8	-4,5	0,0		5,0	5,7	
20,0	1,2	0,6									14,0	5,7	
23,0	6,0	0,9	0,5	9,0	-0,3	4,5	-4,8	4,8	0,0		14,0	1,2	
38,0	1,2	1,1	-0,3	15,0	-1,7	-4,8	5,1	-4,8	0,1		23,0	1,2	
41,0	6,3	1,3	1,6	3,0	-0,3	4,8	-5,1	5,1	0,0		23,0	6,0	
59,0	1,2	1,6	-0,3	18,0	0,7	-5,1	5,4	-5,1	0,1		38,0	6,0	
62,0	1,2	1,6									38,0	1,2	
67,0	6,6	1,9	0,6	8,0	-0,6	5,1	-5,4	5,4	0,0		41,0	1,2	
76,0	1,2	2,2	-0,6	9,0	-0,2	-5,4	-1,2	-5,4	0,1		41,0	6,3	
82,0	1,2	2,4								0,2	59,0	6,3	
		2,4									59,0	1,2	
											67,0	1,2	
											67,0	6,6	
											76,0	6,6	
											76,0	1,2	
											82,0	1,2	
											82,0	1,2	



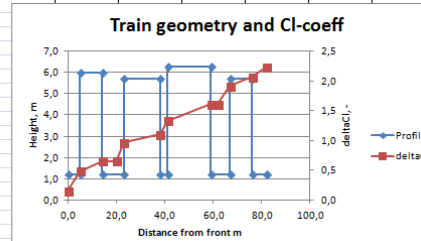
8.15 Fall L "åt andra hållet"

JÖ fall L		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdup	dx	dhdxdn	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
6,0	6,6	0,5	-0,2	6,0	-0,6	-1,2	-5,4	5,4	0,0		6,0	1,2
15,0	1,2	0,8	-0,6	9,0	0,6	-5,4	5,1	-5,4	0,1		6,0	6,6
20,0	1,2	0,8									15,0	6,6
23,0	6,3	1,1	0,7	8,0	-0,3	5,4	-5,1	5,1	0,0		15,0	1,2
41,0	1,2	1,3	-0,3	18,0	1,6	-5,1	4,8	-5,1	0,1		23,0	1,2
44,0	6,0	1,6	1,7	3,0	-0,3	5,1	-4,8	4,8	0,0		23,0	6,3
59,0	1,2	1,8	-0,3	15,0	0,5	-4,8	4,5	-4,8	0,1		41,0	6,3
62,0	1,2	1,8									41,0	1,2
68,0	5,7	2,1	0,5	9,0	-0,5	4,8	-4,5	4,5	0,0		44,0	1,2
77,0	1,2	2,2	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		44,0	6,0
82,0	1,2	2,4								0,2	59,0	6,0
		2,4									59,0	1,2
		2,1									68,0	1,2
											68,0	5,7
											77,0	5,7
											77,0	1,2
											82,0	1,2
											82,0	1,2



8.16 Fall M

JÖ fall M		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdup	dx	dhdxdn	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
5,0	6,0	0,5	-0,2	5,0	-0,5	-1,2	-4,8	4,8	0,0		5,0	1,2
14,0	1,2	0,7	-0,5	9,0	0,5	-4,8	4,5	-4,8	0,0		5,0	6,0
20,0	1,2	0,7									14,0	6,0
23,0	5,7	1,0	0,5	9,0	-0,3	4,8	-4,5	4,5	0,0		14,0	1,2
38,0	1,2	1,1	-0,3	15,0	1,7	-4,5	5,1	-4,5	0,1		23,0	1,2
41,0	6,3	1,3	1,5	3,0	-0,3	4,5	-5,1	5,1	0,0		23,0	5,7
59,0	1,2	1,6	-0,3	18,0	0,6	-5,1	4,5	-5,1	0,1		38,0	5,7
62,0	1,2	1,6									38,0	1,2
67,0	5,7	1,9	0,6	8,0	-0,5	5,1	-4,5	4,5	0,0		41,0	1,2
76,0	1,2	2,1	-0,5	9,0	-0,2	-4,5	-1,2	-4,5	0,0		41,0	6,3
82,0	1,2	2,2								0,2	59,0	6,3
		2,2									59,0	1,2
		1,9									67,0	1,2
											67,0	5,7
											76,0	5,7
											76,0	1,2
											82,0	1,2
											82,0	1,2



Bilaga 2. Underlagsrapport: 2013 03 22

Kompletterande beräkningar av luftmotstånd i Artemis

Sammanfattning

Kompletterande analys avseende ”luckor” i tåg. Ska läsas med rapport ”*Förenklad analys av tågsammansättningens inverkan på det beräknade luftmotståndet med tilläggsfunktionen till Artemis (v 1.0)*” 2013-01-24.

I denna kompletterande rapport jämförs antalet luckor mer specifikt. Det visar sig vara sämre med luckor i tåget, än antalet luckor i sig.

Stockholm 2013-03-22

Johan Öberg

Huvudförfattare, medförfattare Johan Öberg	Granskad av	Godkänd av	Dokumentbeteckning 12114-2	Dokumentdatum 2013-03-22
Kund KTH, Mats Berg		Antal sidor 120	Antal bilagor 1	Antal bilagesidor 9
Sekretess Får endast spridas till kund och inom MiW		Distribution Mats Berg, KTH, Sebastian Bäckström, IVL		
Anmärkning Komplettering arbetsrapport				

INNEHÅLL

1.	Versionshantering	50
2.	Ytterligare fall av CL-beräkning Artemis	51
2.1	Motiv	51
2.2	Några svar	51
3.	Tågkonfigurationer	51
4.	Resultat	52
4.1	Höjd över rök till container = 4,5 m (lägre än i tidigare beräkningar).	52
4.2	Höjd över rök till container = 5,2 m (som i tidigare beräkningar).	53
5.	Slutsatser	55
6.	Rekommendationer	55
7.	Bilagor – Skärmdumpar med resultatberäkningar för containrar h=4,5 m	56
7.1	Fall N dx=2m	56
7.2	Fall N dx=1,1m	57
7.3	Fall N dx=1,0m	58
7.4	Fall O dx=2m	59
7.5	Fall O dx=1,1 m	60
7.6	Fall O dx=1,0 m	61
7.7	Fall P dx=2,0 m	62
7.8	Fall P dx=1,1 m	63
7.9	Fall P dx=1,0 m	64

9. Versionshantering

Ver.	Status	Datum	Författare	Ändrade avsn.	Orsak till ändringen
0.1	Initial	2013-03-22	JÖ	-	-

10. Ytterligare fall av CL-beräkning Artemis

10.1 Motiv

Se nedan från epost Sebastian Bäckström 2013-03-19 med koppling till rapport 12114-1.

Jag har läst Johans rapport daterad 13-01-24, bra arbete! Jag har dock en fundering kopplat till dina slutsatser. Jag ser inte riktigt hur du hanterat frågan om antal mellanrum i tågen, vi hade väl en kommunikation om att mina resultat i det långa tåget kunde bero på att en extra last bidrar med ett extra mellanrum, dvs man ersätter ett långt med två kortare mellanrum, men just det där nya mellanrummet slår igenom i beräkningen.

Om man då räknar antal mellanrum i de vagns/last-kombinationer som du listar (A-M), Så får jag fram att det är fall Drev som har 1 mellanrum, och skillnaden emot D, som har två, är ju mycket stor. På samma sätt kanske skillnaden mellan H och Hrev inte bara lastas 'högst sist' utan även skillnaden i antal luckor (H har 4, Hrev har 3). Om man tittat i skärmdumpen så ser man ju för fall G (samma form på första vagnen som H) att vi får ett Cl bidrag från första luckan (före lasten på vagn 1 som vi inte får i Hrev [...]).

Frågan är då vad som är klokast att göra i detta läget.? Jag skulle ju gärna se att Artemis inte lämnar ett högre Cl värde när man fyller en lucka inne i ett tåg (som i mitt kalkylexempel, sid 9 i Johans rapport) [...].

10.2 Några svar

Se rapport 12114-1:

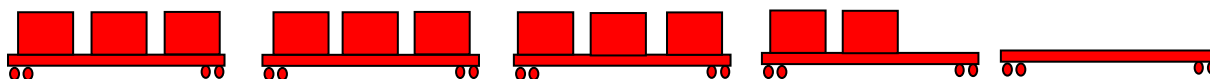
- Luckor i tåg ÄR dåligt, se fall E som är något sämre än fall B.
- Luckor i tåg för att man tagit bort last är bättre än att omfördela den, se fall J och K, eller J och E.
- Fall E och F kan jämföras avseende ytterligare friktion för en extra last i fall F.
- Bäckströms fall visar också att luckor inne i tåg är sämre än början/slutet.

I denna kompletterande rapport jämförs antalet luckor mer specifikt. Det visar sig vara sämre med luckor i tåget, än antalet luckor i sig.

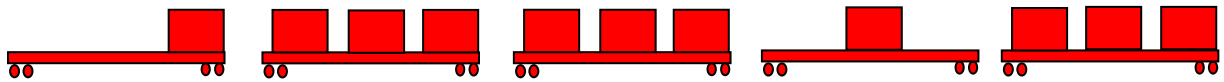
11. Tågkonfigurationer

Tåg om 4 vagnar 122 m långt. Varje vagn 20 m, containrar 6 m. Avstånd mellan vagnar 3 m. Avstånd mellan containrar $dx = 1,0; 1,1$ och 2 m. **Notera att de 11 containrarna bara flyttas runt mellan fallen.**

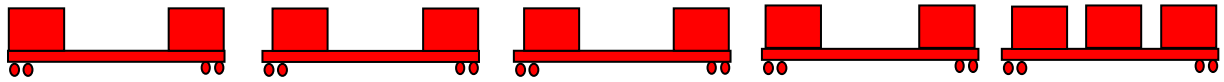
Fall N – 7 luckor mellan laster



Fall O – 9 luckor mellan laster



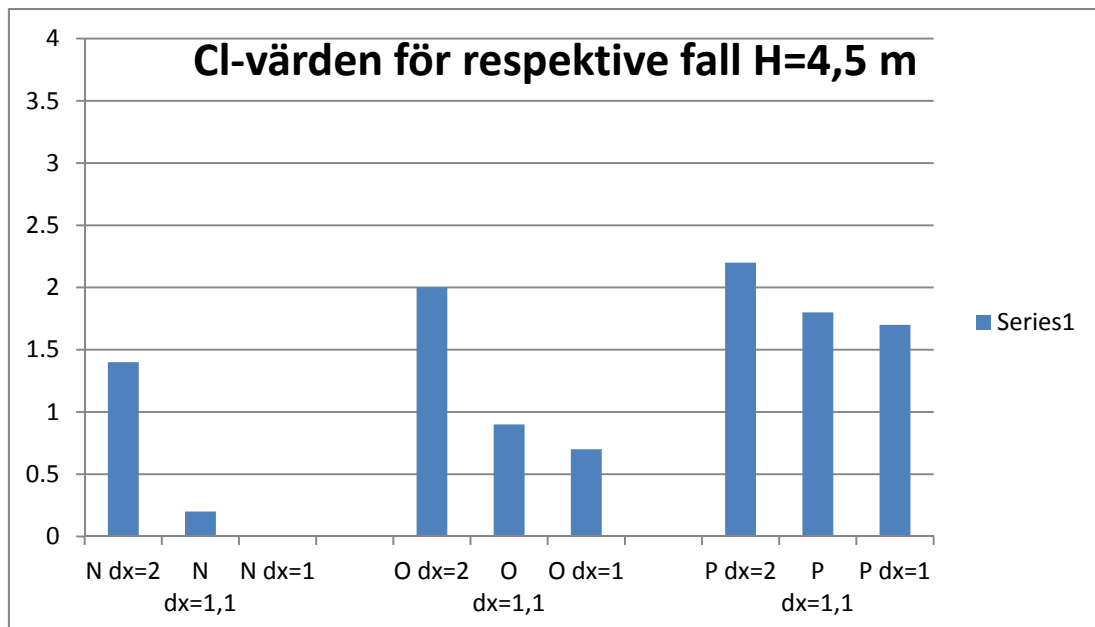
Fall P – 6 luckor mellan laster



12. Resultat

12.1 Höjd över rök till container = 4,5 m (lägre än i tidigare beräkningar).

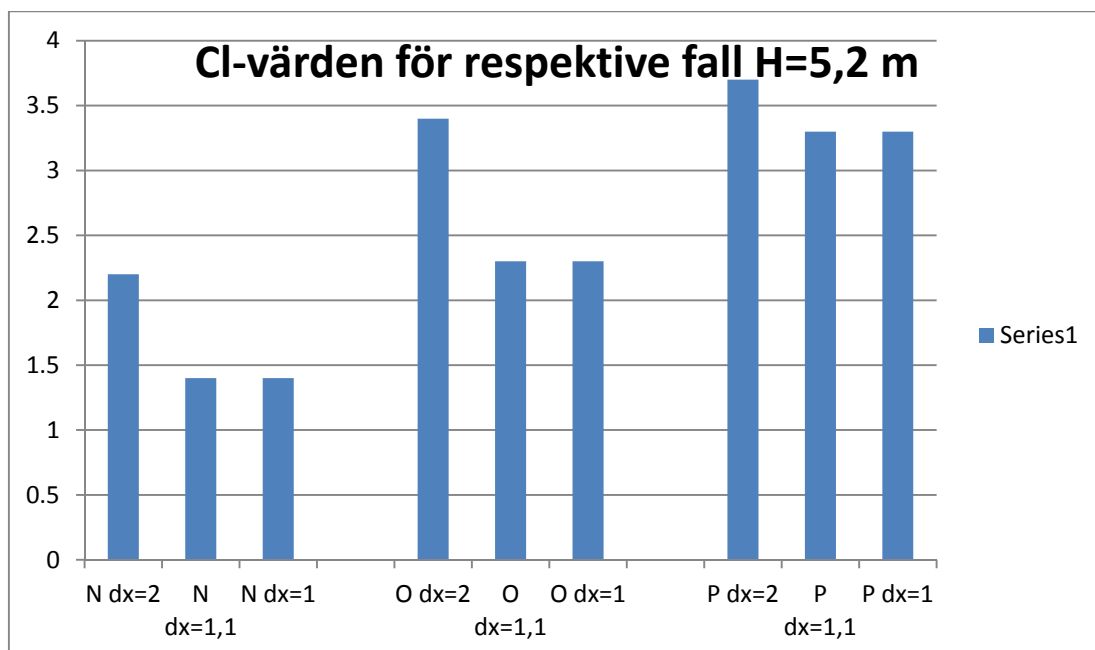
Avstånd mellan containrar $dx=1,0; 1,1$ och 2 m.



Tåg	Fall	Cl-värde	Friktionsbidrag	dh/dx	Kommentar
Se kap. 11	N dx=2	1,4	~0		
Se kap. 11	N dx=1,1	0,2	~0		
Se kap. 11	N dx=1	0!	~0		
Se kap. 11	Nrev dx=1	0,3	~0		N åt andra hållet
Se kap. 11	O dx=2	2,0	~0		
Se kap. 11	O dx=1,1	0,9	~0		
Se kap. 11	O dx=1	0,7	~0		
Se kap. 11	P dx=2	2,2	~0		
Se kap. 11	P dx=1,1	1,8	~0		
Se kap. 11	P dx=1	1,7	~0		Samma åt båda håll

12.2 Höjd över rök till container = 5,2 m (som i tidigare beräkningar).

Avstånd mellan containrar dx= 1,0; 1,1 och 2 m.



<i>Tåg</i>	<i>Fall</i>	<i>Cl-värde</i>	<i>Friktionsbidrag</i>	<i>dh/dx</i>	<i>Kommentar</i>
Se kap. 11	N dx=2	2,2	~0		
Se kap. 11	N dx=1,1	1,4	~0		
Se kap. 11	N dx=1	1,4	~0		
Se kap. 11	O dx=2	3,4	~0		
Se kap. 11	O dx=1,1	2,3	~0		
Se kap. 11	O dx=1	2,3	~0		
Se kap. 11	P dx=2	3,7	~0		
Se kap. 11	P dx=1,1	3,3	~0		
Se kap. 11	P dx=1	3,3	~0		Samma åt båda håll

13. **Slutsatser**

- Det är i tur och ordning bäst med små mellanrum, och förtäta lasten framåt i tåget (minska utspridda mellanrum) enligt fall "N". Sämre är det med flera luckor i tåget (fall "O"), men sämst är det att sprida ut luckor (fall "P").
- Det behöver alltså inte vara sämre med flera luckor jämfört med mellanrum inne i tåget.
- Notera att fall "N" med litet avstånd mellan last i princip inte ger något luftmotstånd för låga containrar!
- Viktigt att komma ihåg att färre vagnar/laster ger mindre motstånd. Den fråga som belyses i denna komplettering avser lika många vagnar och laster men olika antal mellanrum.

14. **Rekommendationer**

-

15. Bilagor – Skärmdumpar med resultatberäkningar för containrar h=4,5 m

15.1 Fall N dx=2m

Train reference and geometry		Detailed Output										For plotting	
JG rail N		Output	Detailed Output								For plotting		
x	h	deltaCl(a)	dhdzup	dz	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	4,5	0,2								0,2	0,0	4,5	
6,0	1,2	0,1	-0,8	6,0	1,7	-4,5	3,3	-3,3	0,0		6,0	4,5	
8,0	4,5	0,2	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		6,0	1,2	
14,0	1,2	0,2	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		8,0	1,2	
16,0	4,5	0,3	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		8,0	4,5	
22,0	1,2	0,3	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		14,0	4,5	
25,0	4,5	0,5	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		14,0	1,2	
31,0	1,2	0,4	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		16,0	1,2	
33,0	4,5	0,6	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		16,0	4,5	
39,0	1,2	0,5	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		22,0	4,5	
41,0	4,5	0,7	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		22,0	1,2	
47,0	1,2	0,6	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		25,0	1,2	
50,0	4,5	0,8	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		25,0	4,5	
56,0	1,2	0,8	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		31,0	4,5	
58,0	4,5	0,9	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		31,0	1,2	
64,0	1,2	0,9	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		33,0	1,2	
66,0	4,5	1,0	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		33,0	4,5	
72,0	1,2	1,0	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		39,0	4,5	
75,0	4,5	1,2	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		39,0	1,2	
81,0	1,2	1,1	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		41,0	1,2	
83,0	4,5	1,3	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		41,0	4,5	
89,0	1,2	1,3	-0,6	6,0	0,0	-3,3	-1,2	-3,3	0,0		47,0	4,5	
91,0	1,2	1,3									47,0	1,2	
97,0	1,2	1,3									60,0	1,2	
100,0	1,2	1,3											
106,0	1,2	1,3											
108,0	1,2	1,3											
114,0	1,2	1,3											
116,0	1,2	1,3											
122,0	1,2	1,4											

Cl (or equally Cd) is calculated by Artemis or when the User clicks the button "Calculate" that the details of the calculation results are printed when the calculation is executed from sheet. Also a chart will be created. The total given by a bold value.

The train geometry may be modified before Cl, and possibly exported back into the Gm selectin the button "Export train geometry".

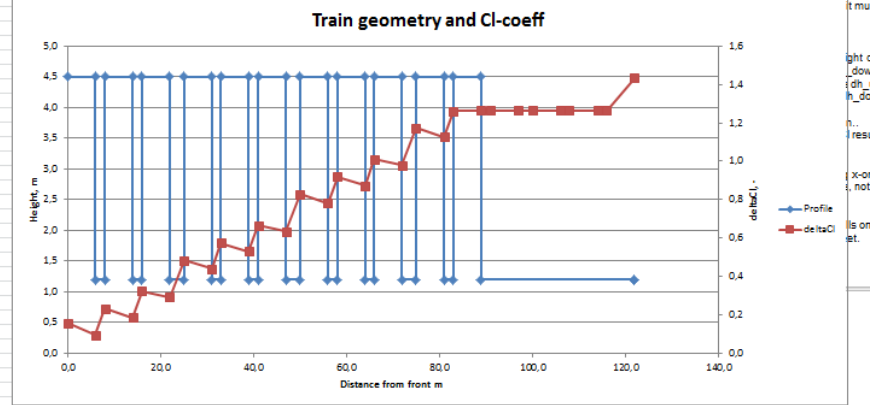
The final button "copy and move data" copies geometry and the calculated Cl, and pastes area on the sheet selected by the User, NB to select an area outside the result table to overwriting the existing data.

Description of data on this sheet

Train reference is the reference name of the "Train A".

x, h are the longitudinal position and the height value of the train. x=0 is implicitly the starting point of the train, from the driving direction.

The train definition may be reversed when Artemis (or by importing train geometry) to deltaCl are the output from calculation and to the suction and pressure contribution from



15.2 Fall N dx=1,1m

Train reference and geometry												
JO fall N		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdzup	dx	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/end contr	x	h
0,0	4,5	0,2								0,2	0,0	4,5
6,0	1,2	0,1	-0,8	6,0	3,0	-4,5	3,3	-3,3	0,0		6,0	4,5
7,1	4,5	0,1	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		6,0	1,2
13,1	1,2	0,0	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		7,1	1,2
14,2	4,5	0,0	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		7,1	4,5
20,2	1,2	-0,1	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		13,1	4,5
23,2	4,5	0,1	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		13,1	1,2
29,2	1,2	0,0	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		14,2	1,2
30,3	4,5	0,0	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		14,2	4,5
36,3	1,2	0,0	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		20,2	4,5
37,4	4,5	-0,1	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		20,2	1,2
43,4	1,2	-0,1	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		23,2	1,2
46,4	4,5	0,1	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		23,2	4,5
52,4	1,2	0,0	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		29,2	4,5
53,5	4,5	0,0	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		29,2	1,2
59,5	1,2	-0,1	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		30,3	1,2
60,6	4,5	-0,1	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		30,3	4,5
66,6	1,2	-0,1	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		36,3	4,5
69,6	4,5	0,1	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		36,3	1,2
75,6	1,2	0,0	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		37,4	1,2
76,7	4,5	0,0	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		37,4	4,5
82,7	1,2	0,0	-0,6	6,0	0,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		43,4	4,5
83,8	1,2	0,0									43,4	1,2
89,8	1,2	0,0										
92,8	1,2	0,0										
98,8	1,2	0,0										
99,9	1,2	0,0										
105,9	1,2	0,0										
107,0	1,2	0,0										
113,0	1,2	0,2										
		0,2										

or when the User clicks the button that the details of the calculation printed when the calculation is sheet. Also a chart will be created given by a bold value.

The train geometry may be redefined, and possibly exported back to the sheet by clicking the button "Export train geometry".

The final button "copy and paste" will copy the train geometry and the calculated area on the sheet selected by the user to select an area outside the sheet by overwriting the existing data.

Description of data on this sheet

Train reference is the reference "Train A".

x, h are the longitudinal position and height value of the train. x=0 is the starting point of the train, from the left.

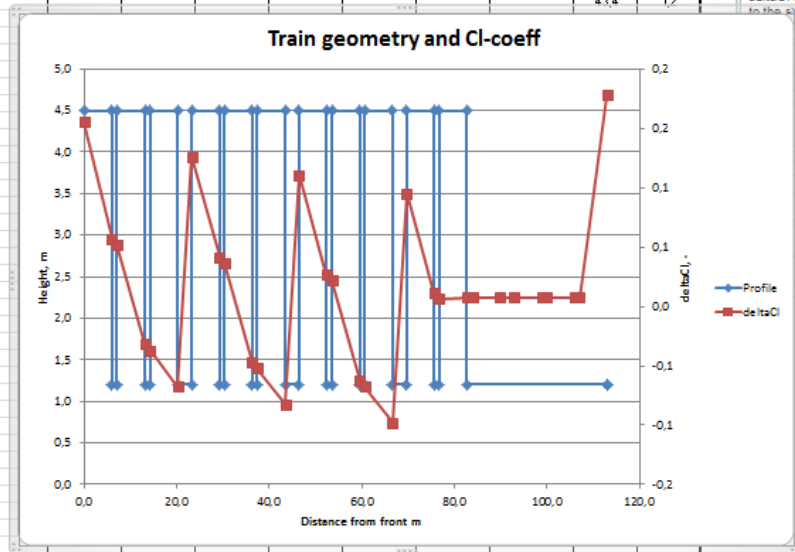
The train definition may be redefined by clicking the button "Train definition" or by importing train data from a file.

deltaCl are the output from the calculation and pressure coefficient. If it says "NA" in the table, it means that the data is not available.

dh/dz is the slope of dh/dz, dh/dzup is the slope of dh/dz, dh/dzdown is the slope of dh/dz, dhdiff is the next height difference, skin friction is the skin friction coefficient, start/end contr is the addition and end of the train.

The data will be sorted in the order of input data checks. If something is wrong, the data will be sorted in the order of input data checks.

The data may be directly entered into the table here from the graph.



15.3 Fall N dx=1,0m

0,7

Input Data		Output										
Train reference and geometry		Detailed Output										
J0	fall N	For plotting										
z	h	deltaCl(z)	dhdzup	dx	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	z	h
0,0	4,5	0,2								0,2	0,0	4,5
6,0	1,2	0,0	-0,8	6,0	3,3	-4,5	3,3	-3,3	0,0		6,0	4,5
7,0	4,5	0,0	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		6,0	1,2
13,0	1,2	-0,1	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		7,0	1,2
14,0	4,5	-0,1	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		7,0	4,5
20,0	1,2	-0,1	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		13,0	4,5
23,0	4,5	0,1	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		13,0	1,2
29,0	1,2	0,0	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		14,0	1,2
30,0	4,5	-0,1	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		14,0	4,5
36,0	1,2	-0,1	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		20,0	4,5
37,0	4,5	-0,2	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		20,0	1,2
43,0	1,2	-0,2	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		23,0	1,2
46,0	4,5	0,0	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		23,0	4,5
52,0	1,2	-0,1	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		29,0	4,5
53,0	4,5	-0,1	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		29,0	1,2
59,0	1,2	-0,2	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		30,0	1,2
60,0	4,5	-0,3	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		30,0	4,5
66,0	1,2	-0,3	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		36,0	4,5
69,0	4,5	-0,1	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		36,0	1,2
75,0	1,2	-0,2	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		37,0	1,2
76,0	4,5	-0,2	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		37,0	4,5
82,0	1,2	-0,2	-0,6	6,0	0,0	-3,3	-1,2	-3,3	0,0		43,0	4,5
83,0	1,2	-0,2									43,0	1,2
89,0	1,2	-0,2										
92,0	1,2	-0,2										
98,0	1,2	-0,2										
99,0	1,2	-0,2										
105,0	1,2	-0,2										
106,0	1,2	-0,2										
112,0	1,2	0,0										
		0,0										

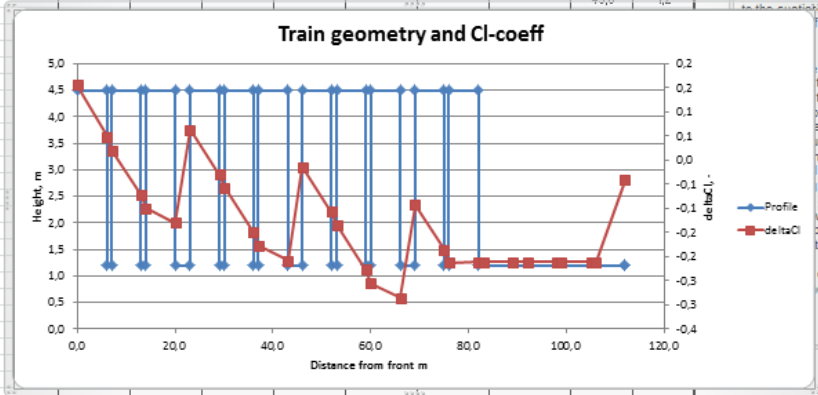
Cl (or equally Cd) is or when the User click that the details of the printed when the call sheet. Also a chart is given by a bold value

The train geometry / Cl, and possibly export select in the button '1' geometry and the Cl area on the sheet so to select an area or overwriting the exist

Description of data

Train reference is the 'Train A'.
x, h are the longitudinal height value of the starting point of the
The train definition : Artemis (or by imposit)
deltaCl are the output (to the question) and p
It say

slope
th inch
the sk
previous
s next
rent h
the skin
contri
and e
will be :
out dat
thing is
directly
ere fric



15.4 Fall O dx=2m

Train reference and geometry		Detailed Output										For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdzup	dz	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
6,0	1,2	0,2									16,0	1,2	
8,0	1,2	0,2									16,0	4,5	
14,0	1,2	0,2									22,0	4,5	
16,0	4,5	0,4	-0,1	16,0	-0,6	-1,2	-3,3	3,3	0,0		22,0	1,2	
22,0	1,2	0,4	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		25,0	1,2	
25,0	4,5	0,6	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		25,0	4,5	
31,0	1,2	0,6	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		31,0	4,5	
33,0	4,5	0,7	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		31,0	1,2	
33,0	1,2	0,6	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		33,0	1,2	
41,0	4,5	0,8	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		33,0	4,5	
47,0	1,2	0,8	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		39,0	4,5	
50,0	4,5	0,9	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		39,0	1,2	
56,0	1,2	0,9	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		41,0	1,2	
58,0	4,5	1,0	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		41,0	4,5	
64,0	1,2	1,0	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		47,0	4,5	
66,0	4,5	1,1	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		47,0	1,2	
72,0	1,2	1,1	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		50,0	1,2	
75,0	1,2	1,1									50,0	4,5	
81,0	1,2	1,1									56,0	4,5	
83,0	4,5	1,4	0,3	11,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		56,0	1,2	
83,0	1,2	1,4	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		58,0	1,2	
91,0	1,2	1,4									58,0	4,5	
97,0	1,2	1,4									64,0	4,5	
100,0	4,5	1,6	0,3	11,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		64,0	1,2	
106,0	1,2	1,6	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		66,0	1,2	
108,0	4,5	1,7	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		66,0	4,5	
114,0	1,2	1,7	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		72,0	4,5	
116,0	4,5	1,8	1,7	2,0	-0,8	3,3	-4,5	3,3	0,0		72,0	1,2	
122,0	1,2	2,0	-0,6	6,0	0,0	-3,3	-1,2	-3,3	0,0	0,2	83,0	1,2	
											83,0	4,5	
											83,0	4,5	

or when the User clicks the button "Cl" that the details of the calculation result printed when the calculation is executed sheet. Also a chart will be created. The given by a bold value.

The train geometry may be modified t Cl, and possibly exported back into th selectin the button "Export train geom

The final button "copy and move data" geometry and the calculated Cl, and ; area on the sheet selected by the Use to select an area outside the result tal overwriting the existing data.

Description of data on this sheet

Train reference is the reference name "Train A".

x, h are the longitudinal position and t height value of the train, x=0 is implic starting point of the train, from the dir

The train definition may be reversed v Artemis (or by importing train geomet

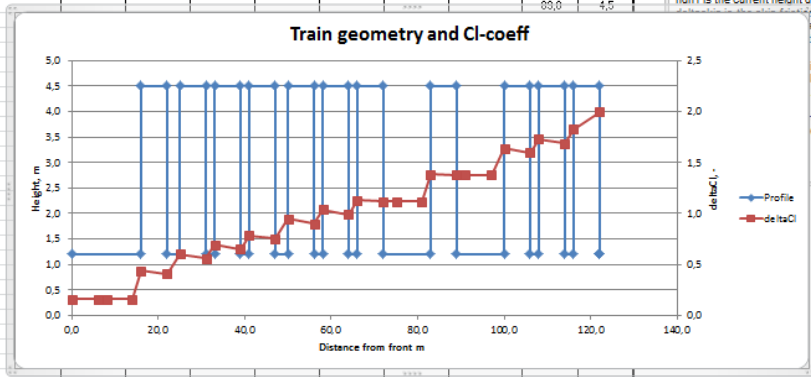
deltaCl are the output from calculatio to the suction and pressure contributi in the train. If it says "NA" in the cells, recalculated.

dhdzup is the slope of dh_up/dx
dx is the length increment between the
dhdzdown is the slope of dh_down/d
dhup is the previous height difference
dhdown is the next height difference
hdiff is the current height difference

contributi addition to (the train.

in ascendin this are mad

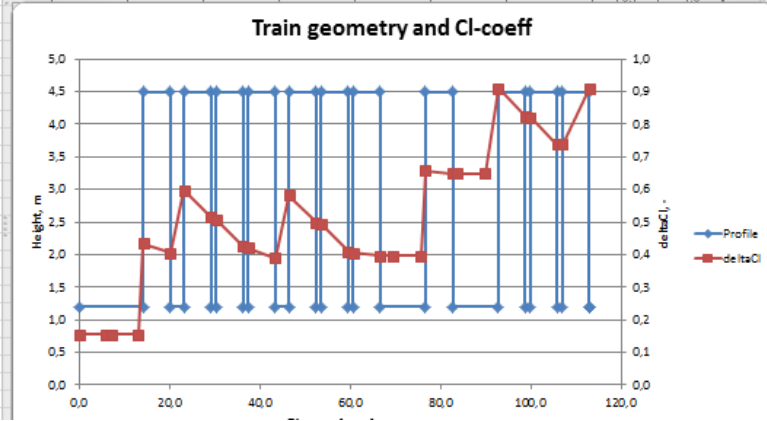
ted in the or (matrix sh



15.5 Fall O dx=1,1 m

Train reference and geometry		Output	Detailed Output								For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdzsup	dz	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2
6,0	1,2	0,2									14,2	1,2
7,1	1,2	0,2									14,2	4,5
13,1	1,2	0,2									20,2	4,5
14,2	4,5	0,4	-0,1	14,2	-0,6	-1,2	-3,3	3,3	0,0		20,2	1,2
20,2	1,2	0,4	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		23,2	1,2
23,2	4,5	0,6	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		23,2	4,5
29,2	1,2	0,5	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		29,2	4,5
30,3	4,5	0,5	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		29,2	1,2
36,3	1,2	0,4	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		30,3	1,2
37,4	4,5	0,4	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		30,3	4,5
43,4	1,2	0,4	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		36,3	4,5
46,4	4,5	0,6	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		36,3	1,2
52,4	1,2	0,5	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		37,4	1,2
53,5	4,5	0,5	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		37,4	4,5
59,5	1,2	0,4	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		43,4	4,5
60,6	4,5	0,4	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		43,4	1,2
66,6	1,2	0,4	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		46,4	1,2
69,6	1,2	0,4									46,4	4,5
75,6	1,2	0,4									52,4	4,5
76,7	4,5	0,7	0,3	10,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		52,4	1,2
82,7	1,2	0,6	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		53,5	1,2
83,8	1,2	0,6									53,5	4,5
89,8	1,2	0,6									59,5	4,5
92,8	4,5	0,9	0,3	10,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		59,5	1,2
98,8	1,2	0,8	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		60,6	1,2
99,9	4,5	0,8	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		60,6	4,5
105,9	1,2	0,7	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0		66,6	4,5
107,0	4,5	0,7	3,0	1,1	-0,8	3,3	-4,5	3,3	0,0		66,6	1,2
113,0	1,2	0,9	-0,6	6,0	0,0	-3,3	-1,2	-3,3	0,0	0,2	76,7	1,2
											76,7	4,5

0,9



or when use that the del printed whe sheet. Also given by a

The train g Cl, and pos selectin the

The final b geometry a area on the to select an overwriting

Descriptic

Train refer "Train A".

x, h are th height valu starting poi

The train d Artemis (or

deltaCl are to the suct in the train. recalculate

dhdzsup is t dx is the le dhdzdown dhup is the dhdown is: hdiff is the helta skin is and start/e he beginni

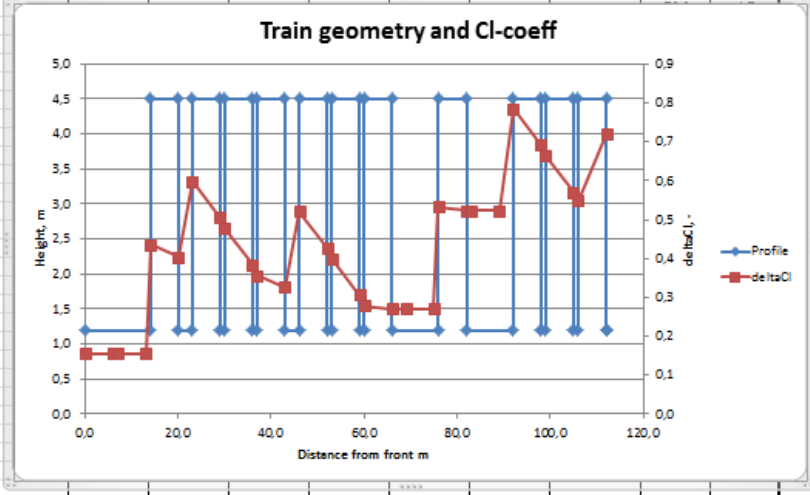
NOTE Dat: number of User if son

Data may l or exportec

15.6 Fall O dx=1,0 m

geometrg		Output											
JÖ fall O		Detailed Output										For plotting	
x	h	deltaCl(x)	dhdzup	dz	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	x	h	
0,0	1,2	0,2								0,2	0,0	1,2	
6,0	1,2	0,2									14,0	1,2	
7,0	1,2	0,2									14,0	4,5	
13,0	1,2	0,2									20,0	4,5	
14,0	4,5	0,4	-0,1	14,0	-0,6	-1,2	-3,3	3,3	0,0		20,0	1,2	
20,0	1,2	0,4	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		23,0	1,2	
23,0	4,5	0,6	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		23,0	4,5	
29,0	1,2	0,5	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		29,0	4,5	
30,0	4,5	0,5	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		29,0	1,2	
36,0	1,2	0,4	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		30,0	1,2	
37,0	4,5	0,4	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		30,0	4,5	
43,0	1,2	0,3	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		36,0	4,5	
46,0	4,5	0,5	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		36,0	1,2	
52,0	1,2	0,4	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		37,0	1,2	
53,0	4,5	0,4	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		37,0	4,5	
59,0	1,2	0,3	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		43,0	4,5	
60,0	4,5	0,3	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		43,0	1,2	
66,0	1,2	0,3	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		46,0	1,2	
69,0	1,2	0,3									46,0	4,5	
75,0	1,2	0,3									52,0	4,5	
76,0	4,5	0,5	0,3	10,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		52,0	1,2	
82,0	1,2	0,5	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		53,0	1,2	
83,0	1,2	0,5									53,0	4,5	
89,0	1,2	0,5									59,0	4,5	
92,0	4,5	0,8	0,3	10,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		59,0	1,2	
98,0	1,2	0,7	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		60,0	1,2	
99,0	4,5	0,7	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		60,0	4,5	
105,0	1,2	0,6	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		66,0	4,5	
106,0	4,5	0,5	3,3	1,0	-0,8	3,3	-4,5	3,3	0,0		66,0	1,2	
112,0	1,2	0,7	-0,6	6,0	0,0	-3,3	-1,2	-3,3	0,0	0,2	76,0	1,2	

0.7



that the data printed when sheet. Also given by a

The train geometry and possible selection of the final geometry area on the sheet to select an area for overwriting it

Descriptor

Train refer to 'Train A'.

x, h are the height value starting point

The train deltaCl are the suction in the train. I recalculated

dhdzup is the dx is the length dhdzdown is dhup is the dhdown is the hdiff is the c deltaCl is the start/end the beginning

NOTE Data number of in User if some

Data may be or exported

15.7 Fall P dx=2,0 m

Train geometry		Detailed Output										For plotting	
J0 Fall P		Output											
x	h	deltaCl(x)	dhdzup	dz	dhdzdown	dhdzup	dhdzdown	hdiff	rkin friction	rstartf and center	x	h	
0,0	4,5	0,2								0,2	0,0	4,5	
5,0	1,2	0,1	-0,8	6,0	0,3	-4,5	3,3	-3,3	0,0		6,0	4,5	
8,0	1,2	0,1									6,0	1,2	
14,0	1,2	0,1									16,0	1,2	
16,0	4,5	0,4	-0,1	10,0	-0,6	-1,2	-3,3	3,3	0,0		16,0	4,5	
22,0	1,2	0,4	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		22,0	4,5	
25,0	4,5	0,6	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		22,0	1,2	
31,0	1,2	0,6	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		25,0	1,2	
33,0	1,2	0,6									25,0	4,5	
39,0	1,2	0,6									31,0	4,5	
41,0	4,5	0,8	0,3	10,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		31,0	1,2	
47,0	1,2	0,8	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		41,0	1,2	
50,0	4,5	1,0	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		41,0	4,5	
56,0	1,2	1,0	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		47,0	4,5	
58,0	1,2	1,0									47,0	1,2	
64,0	1,2	1,0									50,0	1,2	
66,0	4,5	1,2	0,3	10,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		50,0	4,5	
72,0	1,2	1,2	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		56,0	4,5	
75,0	4,5	1,4	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		56,0	1,2	
81,0	1,2	1,4	-0,6	6,0	0,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		66,0	1,2	
83,0	1,2	1,4									66,0	4,5	
89,0	1,2	1,4									72,0	4,5	
91,0	4,5	1,6	0,3	10,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		72,0	1,2	
97,0	1,2	1,6	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		75,0	1,2	
100,0	4,5	1,8	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		75,0	4,5	
106,0	1,2	1,8	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		81,0	4,5	
108,0	4,5	1,9	1,7	2,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		81,0	1,2	
114,0	1,2	1,9	-0,6	6,0	1,7	-3,3	3,3	-3,3	0,0		91,0	1,2	
116,0	4,5	2,0	1,7	2,0	-0,8	3,3	-4,5	3,3	0,0		91,0	4,5	
122,0	1,2	2,2	-0,6	6,0	0,0	-3,3	-1,2	-3,3	0,0	0,2	97,0	4,5	
		2,2									97,0	1,2	
											100,0	1,2	
											100,0	4,5	

"Calculate Cl". Note that the results may only be printed if executed from within this sheet created. The total sum of Cl!

The train geometry may be in Cl, and possibly exported, by selecting the button "Export"!

The final button "copy and im geometry" and the calculated area on the sheet selected by to select an area outside the overwriting the existing data.

Description of data on this

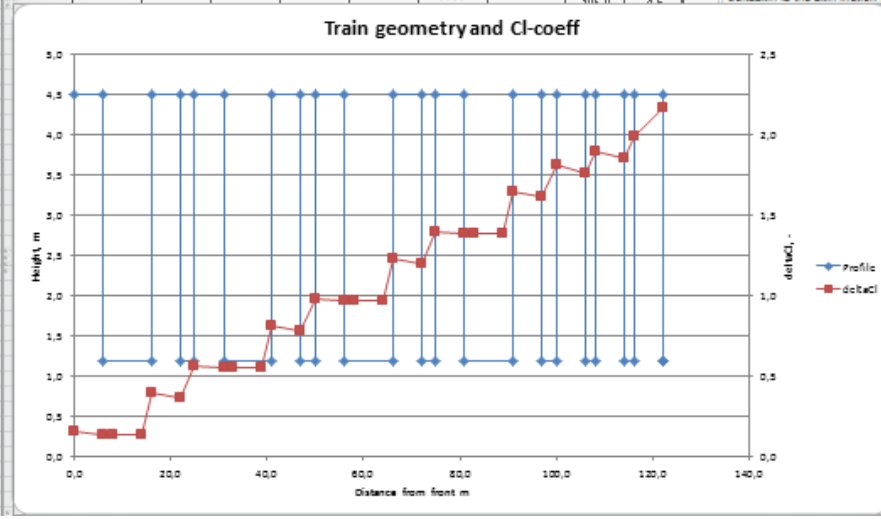
Train reference is the referer "Train A".

x, h are the longitudinal pos height value of the train. x=0 starting point of the train, for

The train definition may be re Artemis (or by importing train

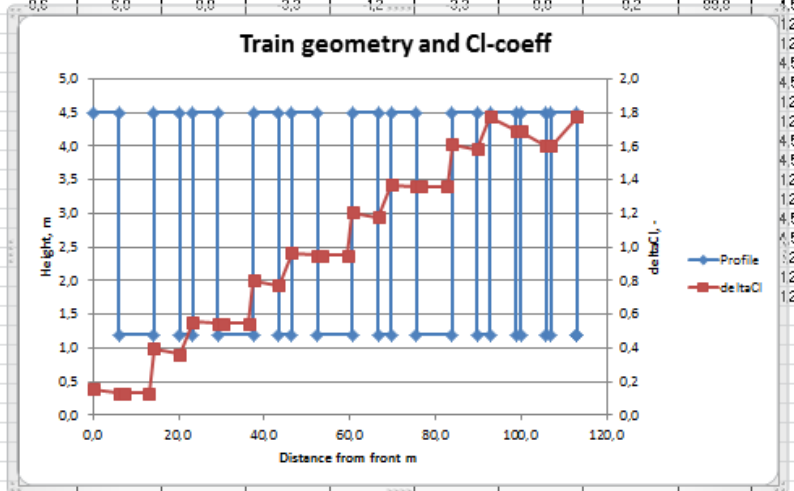
deltaCl are the output from c to the suction and pressure c in the train. If it says "NA" in recalculated.

dhdzup is the slope of dh_Lup dx is the length increment be dhdzdown is the slope of dh down is the next height; dh hdiff is the current height diff



15.8 Fall P dx=1,1 m

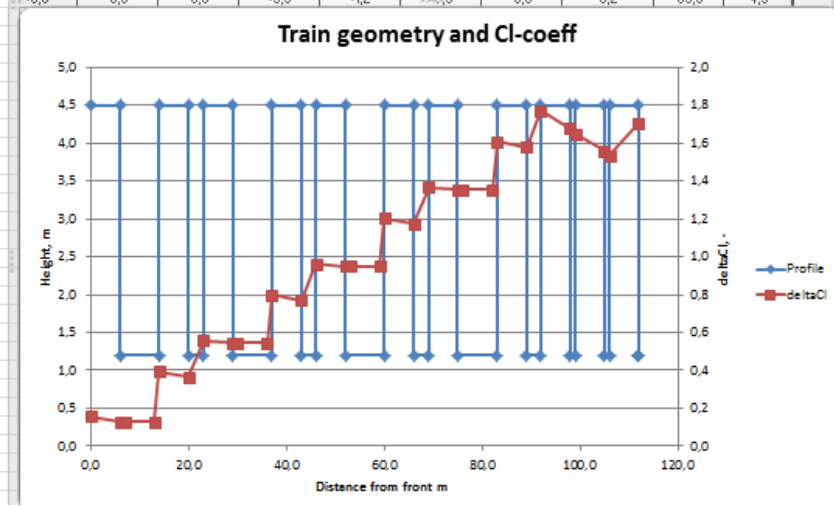
Train reference and geometry		Detailed Output										For plotting	
Ref.	JÖ fall P	Output	dhdzup	dz	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr	z	h	
		0,0	0,2							0,2	0,0	4,5	
.00424		6,0	0,1	-0,8	6,0	0,4	-4,5	3,3	-3,3	0,0	6,0	4,5	
#####		7,1	0,1								6,0	1,2	
#####		13,1	0,1								14,2	1,2	
32259		14,2	0,4	-0,1	8,2	-0,6	-1,2	-3,3	3,3	0,0	14,2	4,5	
.00509		20,2	0,4	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0	20,2	4,5	
64452		23,2	0,6	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	20,2	1,2	
.00185		29,2	0,5	-0,6	6,0	0,4	-3,3	3,3	-3,3	0,0	23,2	1,2	
#####		30,3	0,5								23,2	4,5	
#####		36,3	0,5								29,2	4,5	
30997		37,4	0,8	0,4	8,2	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	29,2	1,2	
.00509		43,4	0,8	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0	37,4	1,2	
		46,4	1,0	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	37,4	4,5	
		52,4	1,0	-0,6	6,0	0,4	-3,3	3,3	-3,3	0,0	43,4	4,5	
		53,5	1,0								43,4	1,2	
		59,5	1,0								46,4	1,2	
		60,6	1,2	0,4	8,2	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	46,4	4,5	
		66,6	1,2	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0	52,4	4,5	
		69,6	1,4	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	52,4	1,2	
		75,6	1,4	-0,6	6,0	0,4	-3,3	3,3	-3,3	0,0	60,6	1,2	
		76,7	1,4								60,6	4,5	
		82,7	1,4								66,6	4,5	
		83,8	1,6	0,4	8,2	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	66,6	1,2	
		89,8	1,6	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0	69,6	1,2	
		92,8	1,8	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	69,6	4,5	
		98,8	1,7	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0	75,6	4,5	
		99,9	1,7	3,0	1,1	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0	75,6	1,2	
		105,9	1,6	-0,6	6,0	3,0	-3,3	3,3	-3,3	0,0	83,8	1,2	
		107,0	1,6	3,0	1,1	-0,8	3,3	-4,5	3,3	0,0	83,8	4,5	
		113,0	1,8	0,6	6,0	0,0	-3,3	1,2	-3,3	0,0	89,8	4,5	
			1,8										



15.9 Fall P dx=1,0 m

Train reference and geometry		Detailed Output										For plotting	
JÜ fall P		Output									start/ end contr	x	h
x	h	deltaCl(x)	dhdzup	dz	dhdzdown	dhup	dhdown	hdiff	skin friction				
0,0	4,5	0,2								0,2	0,0	4,5	
6,0	1,2	0,1	-0,8	6,0	0,4	-4,5	3,3	-3,3	0,0		6,0	4,5	
7,0	1,2	0,1									6,0	1,2	
13,0	1,2	0,1									14,0	1,2	
14,0	4,5	0,4	-0,2	8,0	-0,6	-1,2	-3,3	3,3	0,0		14,0	4,5	
20,0	1,2	0,4	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		20,0	4,5	
23,0	4,5	0,6	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		20,0	1,2	
29,0	1,2	0,5	-0,6	6,0	0,4	-3,3	3,3	-3,3	0,0		23,0	1,2	
30,0	1,2	0,5									23,0	4,5	
36,0	1,2	0,5									29,0	4,5	
37,0	4,5	0,8	0,4	8,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		29,0	1,2	
43,0	1,2	0,8	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		37,0	1,2	
46,0	4,5	1,0	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		37,0	4,5	
52,0	1,2	1,0	-0,6	6,0	0,4	-3,3	3,3	-3,3	0,0		43,0	4,5	
53,0	1,2	1,0									43,0	1,2	
59,0	1,2	1,0									46,0	1,2	
60,0	4,5	1,2	0,4	8,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		46,0	4,5	
66,0	1,2	1,2	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		52,0	4,5	
69,0	4,5	1,4	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		52,0	1,2	
75,0	1,2	1,4	-0,6	6,0	0,4	-3,3	3,3	-3,3	0,0		60,0	1,2	
76,0	1,2	1,4									60,0	4,5	
82,0	1,2	1,4									66,0	4,5	
83,0	4,5	1,6	0,4	8,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		66,0	1,2	
89,0	1,2	1,6	-0,6	6,0	1,1	-3,3	3,3	-3,3	0,0		69,0	1,2	
92,0	4,5	1,8	1,1	3,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		69,0	4,5	
98,0	1,2	1,7	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		75,0	4,5	
99,0	4,5	1,7	3,3	1,0	-0,6	3,3	-3,3	3,3	0,0		75,0	1,2	
105,0	1,2	1,6	-0,6	6,0	3,3	-3,3	3,3	-3,3	0,0		83,0	1,2	
106,0	4,5	1,5	3,3	1,0	-0,8	3,3	-4,5	3,3	0,0		83,0	4,5	
112,0	1,2	1,7	-0,6	6,0	0,0	-0,6	-3,3	-3,3	0,0	0,2	83,0	4,5	

1.7



Bilaga 3. Underlagsrapport 2013 06 14

Kompletterande beräkningar av luftmotstånd i Artemis

Sammanfattning

Kompletterande analys avseende "luckor" i tåg.

Stockholm 2013-06-14

Johan Öberg

Innehåll

1.	Versionshantering	66
2.	Fall	67
3.	Resultat	67
3.1	Fall N med lok	67
3.2	Fall P med lok	69
4.	Slutsatser	70
5.	Referenser	70

16. Versionshantering

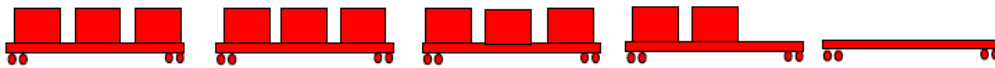
Ver.	Status	Datum	Författare	Ändrade avsn.	Orsak till ändringen
0.1	Initial	2012-03-13	JÖ	-	-
0.2	rev	2012-03-14	JÖ	Kap 3.	Felippe

Fall

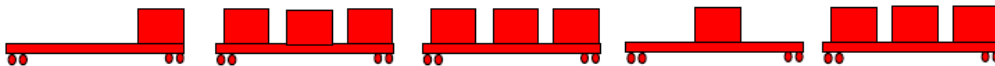
Grundfall N och P enligt rapport MiW 12114-2. Ett lok om 20 m har adderats längst till vänster. Total tåglängd är nu 131 m. Avståndet är satt till 1,1 mellan containrar och 2 m mellan vagnar/lok.

Tåg om 4 vagnar 122 m långt. Varje vagn 20 m, containrar 6 m. Avstånd mellan vagnar 3 m. Avstånd mellan containrar $dx = 1,0; 1,1$ och 2 m. Notera att de 11 containrarna bara flyttas runt mellan fallen.

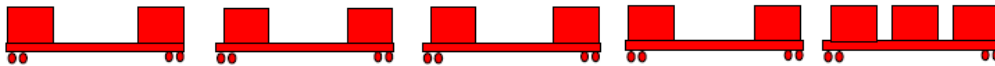
Fall N – 7 luckor mellan laster



Fall O – 9 luckor mellan laster



Fall P – 6 luckor mellan laster



Vidare antas 80 t lok, 5 vagnar tara a' 20 t, medellast containrar 2+20 t = 422 ton totalt varav 242 ton last.

Följande relation:

Start City	End City	Distance [km]
Storvik	Bräcke	250

Medellutning 0,89 promille

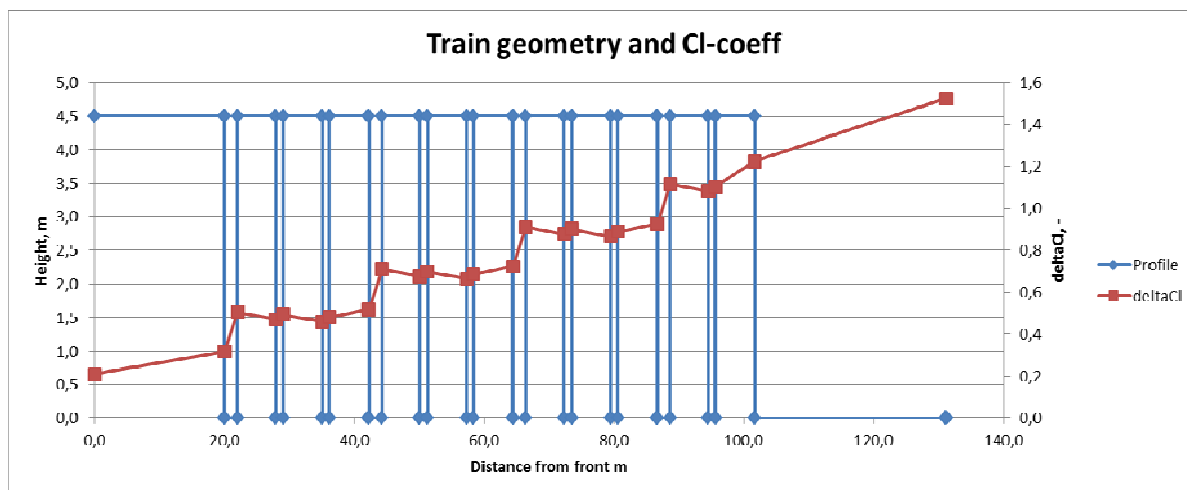
Har använts. För den är Hmatriis "NSB" beräknad med utgångspunkt i flera GPS-mätningar.

OBS! Höjd har satts till 0 m mellan vagnar.

Areareduktion 10 och 13,5 m² presenteras.

Resultat

Fall N med lok



JÖ fall N med Lok mod		Detailed Output								
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdown	dhup	dhdn	hdiff	skin friction	start/ end contr
0,0	4,5	0,2								0,2
20,0	0,0	0,3	-0,2	20,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
22,0	4,5	0,5	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
28,0	0,0	0,5	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
29,1	4,5	0,5	4,1	1,1	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
35,1	0,0	0,5	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
36,2	4,5	0,5	4,1	1,1	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
42,2	0,0	0,5	-0,8	6,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
44,2	4,5	0,7	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
50,2	0,0	0,7	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
51,3	4,5	0,7	4,1	1,1	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
57,3	0,0	0,7	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
58,4	4,5	0,7	4,1	1,1	-0,7	4,5	-4,5	4,5	0,0	
64,4	0,0	0,7	-0,7	6,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
66,4	4,5	0,9	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
72,4	0,0	0,9	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
73,5	4,5	0,9	4,1	1,1	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
79,5	0,0	0,9	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
80,6	4,5	0,9	4,1	1,1	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
86,6	0,0	0,9	-0,8	6,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
88,6	4,5	1,1	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
94,6	0,0	1,1	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
95,7	4,5	1,1	4,1	1,1	-0,7	4,5	-4,5	4,5	0,0	
101,7	0,0	1,2	-0,8	6,0	0,0	-4,5	0,0	-4,5	0,0	
131,0	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,2

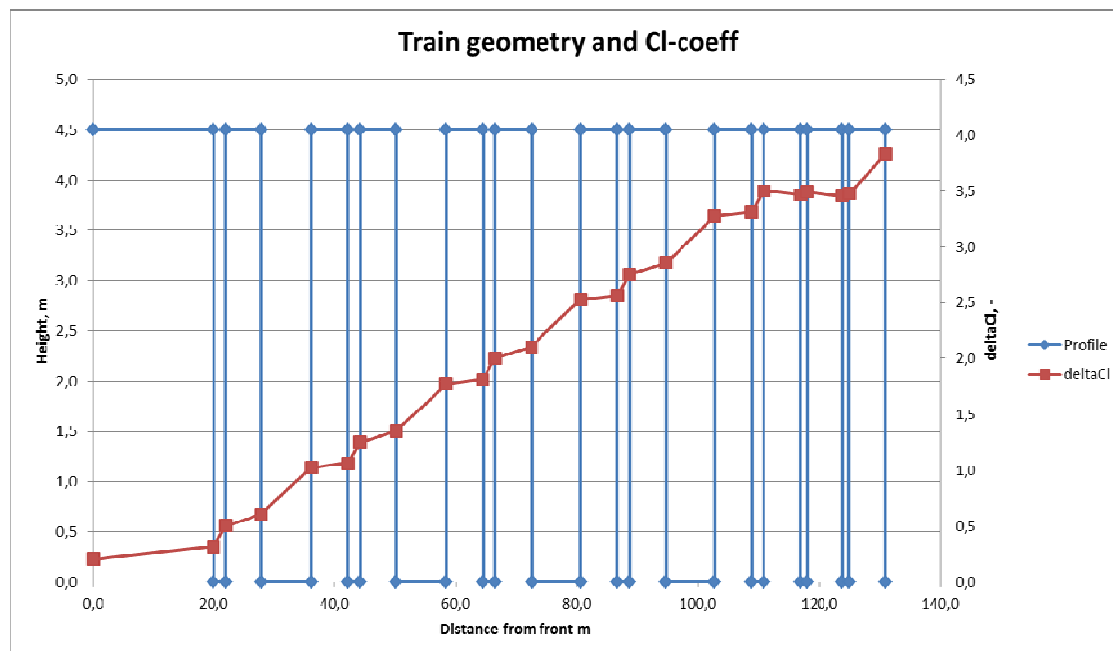
SKALNING TILL TVÄRSNITTSAREA 13,5 m² ger

- CL beräknas till 1,5.
- Energiåtgång 29 kWh (103 699 kJ)

SKALNING TILL TVÄRSNITTSAREA 10 m² ger

- CL beräknas till 1,13.
- Energiåtgång 28 kWh (100 004 kJ)

Fall P med lok



JÖ fall P med lok mod		Output	Detailed Output							
x	h	deltaCl(x)	dhdxdup	dx	dhdxdn	dhup	dhdown	hdiff	skin friction	start/ end contr
0,0	4,5	0,2								0,2
20,0	0,0	0,3	-0,2	20,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
22,0	4,5	0,5	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
28,0	0,0	0,6	-0,8	6,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
36,2	4,5	1,0	0,5	8,2	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
42,2	0,0	1,1	-0,8	6,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
44,2	4,5	1,3	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
50,2	0,0	1,4	-0,8	6,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
58,4	4,5	1,8	0,5	8,2	-0,7	4,5	-4,5	4,5	0,0	
64,4	0,0	1,8	-0,7	6,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
66,4	4,5	2,0	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
72,4	0,0	2,1	-0,8	6,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
80,6	4,5	2,5	0,5	8,2	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
86,6	0,0	2,6	-0,8	6,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
88,6	4,5	2,8	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
94,6	0,0	2,9	-0,8	6,0	0,5	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
102,8	4,5	3,3	0,5	8,2	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
108,8	0,0	3,3	-0,8	6,0	2,3	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
110,8	4,5	3,5	2,3	2,0	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
116,8	0,0	3,5	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
117,9	4,5	3,5	4,1	1,1	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
123,9	0,0	3,5	-0,8	6,0	4,1	-4,5	4,5	-4,5	0,0	
125,0	4,5	3,5	4,1	1,1	-0,8	4,5	-4,5	4,5	0,0	
131,0	0,0	3,8	-0,8	0,0	0,0	-4,5	0,0	-4,5	0,0	0,2

SKALNING TILL TVÄRSNITTSAREA 13,5 m² ger

- CL beräknas till 3,8.
- Energiåtgång 38 kWh (137 487 kJ)

SKALNING TILL TVÄRSNITTSAREA 10 m² ger

- **CL beräknas till 2,8.**
- **Energiåtgång 34 kWh (121 369kJ)**

Slutsatser

- **Skillnad är 32 % ökning då mellanrum sprids ut! Tvärsnitt 13,5 m²**
- **Skillnad är 21 % ökning då mellanrum sprids ut! Tvärsnitt 10 m²**

Referenser

MiW 12114-2, "Kompletterande beräkningar av luftmotstånd i Artemis", 2013-03-22.

Bilaga 3. Beskrivning av GPS enheter.



Enhet använd vid mätning på kombitåg

Host Mobility MX-3

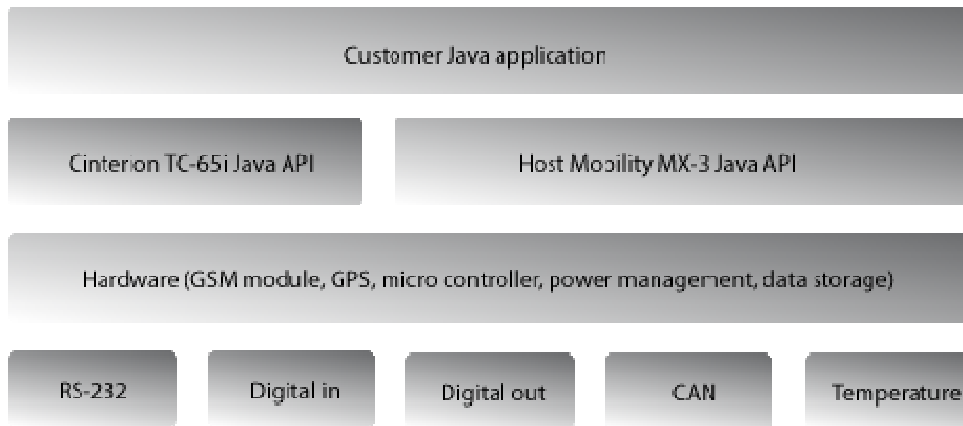
The MX-3 is a telematics computer with integrated GSM/GPRS, GPS, CAN 2.0B, serial port, temperature measurement, user I/O and application environment designed for advanced fleet management applications. As an option the MX-3 is equipped with a mass storage FLASH card accessible from the customer application for data logging.



Branding

The MX-3 can be branded with your own company logo and product name. On the picture you see the AutoPosition branded version.

System concept



Integrated GSM/GPRS modem and application environment

- Cinterion TC-65i (former Siemens) quad band GSM/GPRS modem with integrated Java MIDP customer application environment.
- Supports over the air application upgrade.

Integrated GPS

- SiRF III based GPS module combined with a 3.3 V power source for active GPS antennas.
- Tracking Sensitivity: -159 dBm.
- Channels: 20.
- Output messages available for the customer application: NMEA 0183 GGA, GSA, GSV, RMC, VTG, GLL.

CAN

- CAN 2.0B (ISO 11898).

Connectors

- GPS antenna: SMA.
- GSM/GPRS antenna: SMA.
- Power / CAN: RJ-11.
- IO / temperature: RJ-45.
- Serial port: RJ-11.



Pinning power and CAN

Pin	Function	Information
1	CAN-L	CAN low data signal
2	CAN-H	CAN high data signal
3	ACC	Digital input (intended for vehicle ACC signal, but it can also be used as a general purpose digital input)
4	Pb battery	12 V Pb battery (long time backup)
5	0 V	0 V
6	Input power	8-32 V DC

Pinning serial communication

Pin	Function	Information
1	TXD0	Data going into the MX-3
2	RXD0	Data going out of the MX-3
3	RTS	Data going into the MX-3
4	CTS	Data going out of the MX-3
5	0 V	0 V
6	Power	Customer application controllable power output to supply serial communication devices like RS-232 to Bluetooth converters.

Pinning I/O and temperature

Pin	Function	Information
-----	----------	-------------

1	Digital out 1	Customer application controllable digital output
2	Digital out 2	Customer application controllable digital output
3	Digital input 1	Customer application readable digital input.
4	Digital input 2	Customer application readable digital input.
5	Digital input 3	Customer application readable digital input. Alternative function: Temperature sensor 1 data input.
6	Digital input 4	Customer application readable digital input. Alternative function: Temperature sensor 2 data input.
7	0 V	
8	Temperature power	Customer application controllable power output to supply the temperature sensors.

Power consumption

- ON: TBD
- Sleep mode (lowest form of sleep mode): ~1 mA @ 24 V.

Power management

Inside the MX-3 there is an optional 3,7 V Li-Polymer battery. This battery is intended for powering the MX-3 in critical applications where you don't want to rely on the external power supply for proper operation. The internal battery can keep the application running for "days".

The MX-3 also includes power management logic for using external 12 V Pb batteries for backup and operation. When the MX-3 has normal 12-32 V input power the unit charges the 12 V Pb battery. Using an external Pb battery you can keep the application running for "weeks".

System safety

The MX-3 is designed with a dual processor watch dog that takes care of situations where the embedded application might hang or the embedded environment for other reasons stop. This could be for instance over temperature shut downs or customer application failures. Without integrated system safety, applications based on GSM modules with integrated application environments might die and never come back to life unless you cycle the power.

Digital user input and output

The MX-3 includes 4+1 digital user inputs and 2 digital user outputs. The function of these pins are controlled by the customer application. The outputs can drive maximum 250 mA per pin at 24 V (input voltage).

The default state for the outputs are 0 V.

The inputs are pulled down with 10 kohm and over voltage protected up to 40 V.

Serial communication

The serial port is directly to the customer application inside the GSM module. With no customer application running, you can access the GSM module with AT commands. With the customer application running, the function of the serial port is completely controlled by the customer application. The baud rate is default set to 115 200 bit/s.

Temperature measurements

The MX-3 is designed to interface with digital temperature sensors from Smartec. Complete temperature sensor measurement cable assemblies are available from Host Mobility (sensor with additional components, cable and connector).

Enclosure

- Dimensions: 107x71x19 mm.
- Weight: 150 g.
- Material: Aluminium with plastic side covers.

Mounting

MX-3 is designed for in door mounting.

Options

- Internal battery.
- Internal FLASH disk (memory card).

Antennas

Host Mobility can supply you with suitable antennas for the MX-3. We recommend a combination GSM/GPS antenna for roof mounting, but there are also options for antennas with other mounting techniques (roof, magnet etc.)



Accessories

- Antennas
- Power cable (simple)
- Power cable (car lighter connector)
- Temperature sensors
- Power cable with CAN

Enhet använd vid mätning på truckar.



G.730 VENTUS GPS-logger

- Acquire and track 65 satellites simultaneously
- SKYTRAQ low power chipset
- Signal detection better than -160dBm
- Reacquisition sensitivity -155dBm
- Cold start < 30 seconds at -147dBm
- Hot start < 1sec under open sky
- 5m CEP accuracy
- SBAS (WAAS, EGNOS) support
- 2M Bytes flash memory for data logging, with 16 bytes binary data per record that stores up to 256K data records
- Log data can be exported to mapping software such as Google Earth and TrackMaker
- Logging data interval programmable: by time or distance
- More than 12 hours of operation
- Including software on CD

Bilaga 4. Underlagsrapport: Utveckling av ARTEMIS kalkylsystem - beskrivning

Tillägg och ändringar i beräkningsprogram KTH Artemis Rail v 2.0

Additions and modifications to calculation tool KTH ArtemisRail
v 2.0.

Summary

ArtemisRail is an open-source Excel based tool for calculation of train energy consumption. The Royal Institute of Technology (KTH) has previously added functionality to this software (version 1.0).

The current document is a short description of added functionality and modified formulas in KTH ArtemisRail, released as version 2.0. The document summarizes the most important added features and also revised issues.

Part of the document is written in Swedish.

Stockholm 2013-05-23

Johan Öberg

Huvudförfattare, medförfattare	Granskad av	Godkänd av	Dokumentbeteckning	Dokumentdatum
Johan Öberg			12114-3	2013-05-23
Kund		Antal sidor	Antal bilagor	Antal bilagesidor
KTH, Mats Berg		120	3	10
Sekretess		Distribution		
Får endast spridas till kund och inom MiW		KTH, Mats Berg; IVL Sebastian Bäckström		
Anmärkning				
Parts of the document are in English.				

INNEHÅLL

1.	Versionshantering	80
2.	Inledning och bakgrund	80
3.	Programöversikt/(program overview)	80
4.	Tillagd funktionalitet/(added functionality)	82
4.1	Möjlighet till negativ acceleration /(negative acceleration)	82
4.2	Ett tåg- flera rutter/(single train on multiple routes)	82
4.3	Ruttbaserad Hmatris/(route-based Hmatrix)	83
4.4	Stråkhantering/(sequential routes)	84
5.	Genomförda mindre förbättringar/(minor improvements)	85
6.	Synpunkter på och rättelser av kod	85
6.1	Luftmotståndskoefficient/(air resistance coefficient)	85
6.2	General	85
7.	Utvecklingsmöjligheter Artemis	86
8.	Beräkningsformler/(calculation formulas)	87
8.1	Dragkraft och acceleration/(drag force and acceleration)	87
8.2	Tågvikter och last/(train loads and cargo)	87
8.3	Energi/(energy)	88
9.	Skapa Hmatriser/(generate Hmatrices)	88
9.1	Overview	88
9.2	Pre-processing	88
9.2.1	General	88
9.2.2	About track section divisions	89
9.3	Analysing data for the Hmatrices	93
9.3.1	Program package overview	93
9.3.2	Main routines and calculation steps	94
9.3.3	Error handling	98
9.4	Post-processing	99
10.	Fortsatt arbete/(future work)	99
11.	Arbetslogg programmering	99
12.	Bilaga 1 Kartvyer uppmätta exempelsträckor	100
12.1	Göteborg till Lerum, banlängd ca 18 km	100
12.2	Stockholm till Katrineholm, banlängd ca 131 km. Förenklad loggning med samplingsfrekvens 1 Hz	101
13.	Bilaga 2 – exempelfigurer från analys av GPS-mätningar	103
14.	Bilaga 3 – Variables created when running the main code ('Hmatris' and 'kalman')	106

17. Versionshantering

Ver.	Status	Datum	Författare	Ändrade avsn.	Orsak till ändringen
0.1	Initial	2013-05-23	JÖ	-	-
0.5	Released	2013-05-29	JÖ		
1.0					

18. Inledning och bakgrund

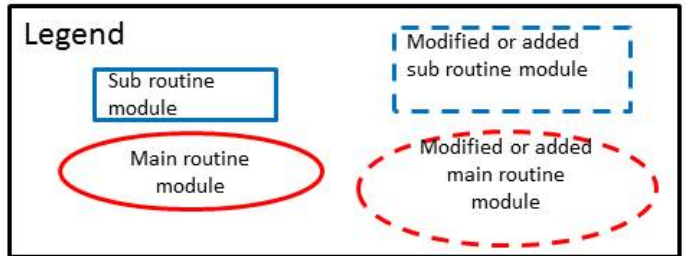
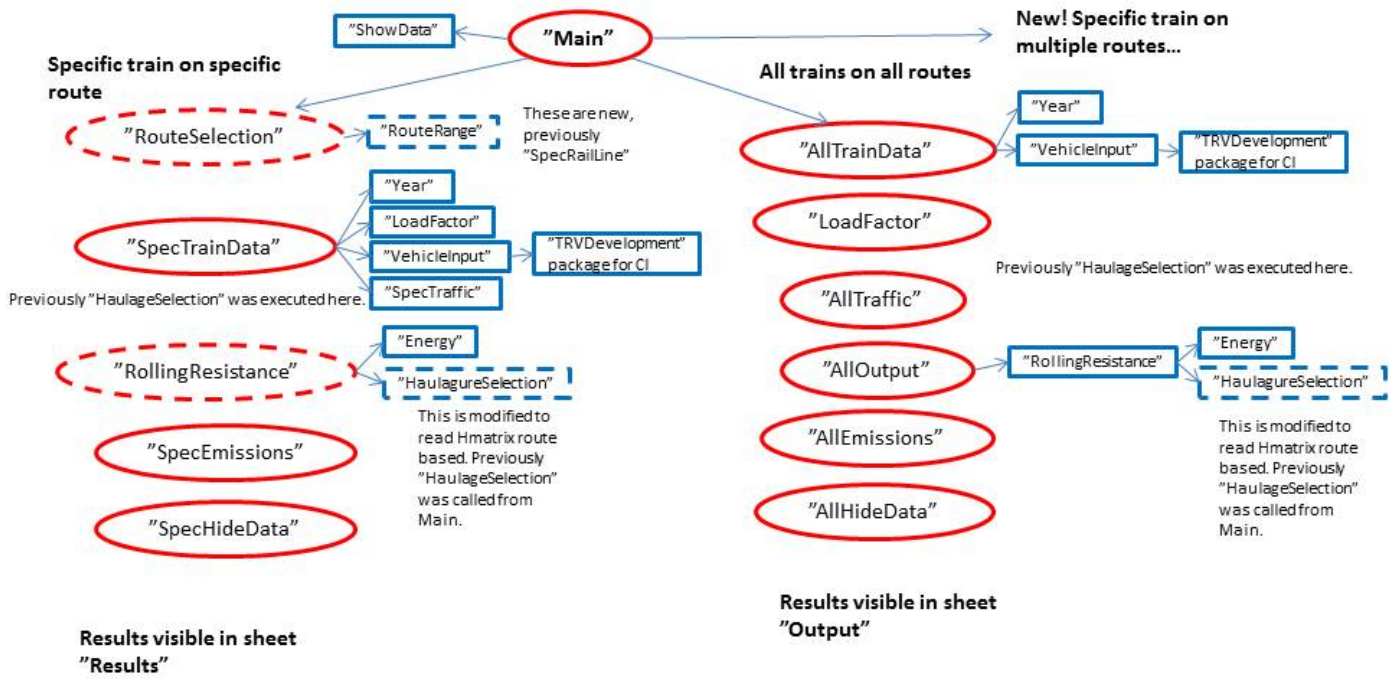
Om ArtemisRail mm

The additions made to KTH Artemis Rail are primarily for freight train calculations, but most functionality are supported for passenger trains also. For example multiple route selection. The principles of route-based Hmatrices could easily be extended to passenger trains also, but is no restricted to freight trains. Routes defined in the freight and passenger route sheets could be accessed by freight trains in the calculations and vice versa.

19. Programöversikt/(program overview)

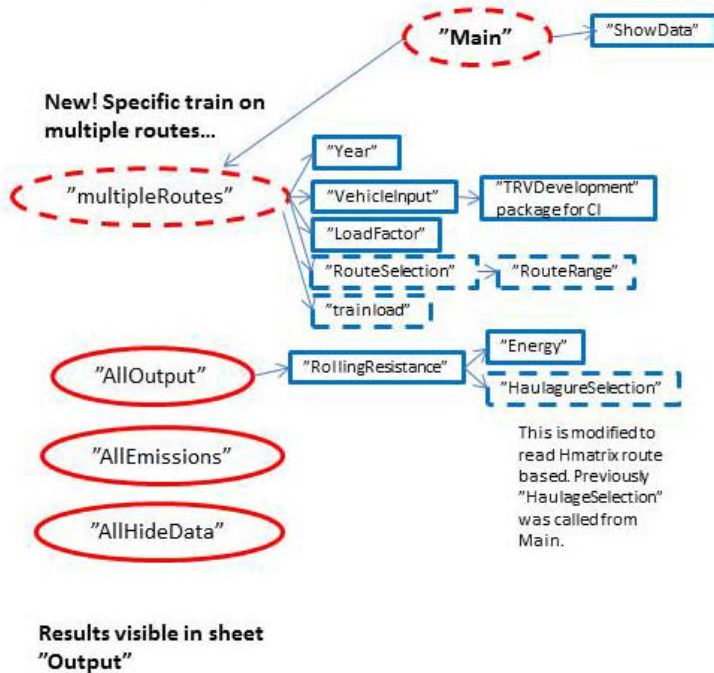
Below is a flow chart over the main functions in KTH Artemis Rail, version 2.0. Refer to the legend for interpreting the figure.

Principal flow chart KTH_Artemis v 2.0



On the next page is the flow chart when running multiple routes.

Principal flow chart KTH_Artemis v 2.0



New input data and features

- Hmatrix supports negative acceleration ($F_{acc} < 0$).
- Hmatrix search and route-based definition
- HID – Hmatrix identifier, supports multiple routes
- RID – Route identifier, support route search within defined links
- Route definitions are dynamic and rows may be hidden by User to omit inclusion.
- Modified CL-calculation.
- Average gradient in promille used for calculating drag force
- Previous functionality compatible

Refer to the legend on the previous page for interpretation of the figure.

20. Tillagd funktionalitet/(added functionality)

20.1 Möjlighet till negativ acceleration /(negative acceleration)

It is now possible to include negative values of acceleration. In the previous version of KTH Artemis Rail, only positive values were included in the calculation of drag force. The acceleration values are imputed in the Hmatrix.

Any acceleration value will be tried as a candidate by the program. If the average gradient allows positive traction force in combination with the air- and curve resistance within a given speed interval and at the specified retardation it will be included. Else the traction force will be set to zero and no energy will be applied to it.

Regenerative braking is not implemented though all negative traction force is considered mechanical braking. Still this accounts for more of the total energy share compared to only consider positive acceleration. Measurement processing has revealed that there is about the same amount of negative acceleration as positive, in real freight services.

20.2 Ett tåg- flera rutter/(single train on multiple routes)

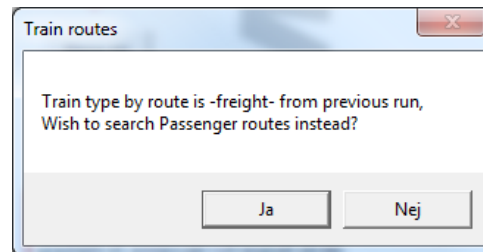
In complement to the standard choice “All trains” and “Specific train” in KTH Artemis Rail, it is now possible to choose “Multiple routes”. Thereby the following calculations may be performed:

- All trains on all routes.
- Single train on specific route.
- Single train on multiple routes.

The multiple route-choice come with som additional functionality, such as sequential routes (Section 20.4). A drop down list allows the User to select up to six individual routes, which will be executed chronologically. It does not matter in which order the routes are selected, nor which of the six drop down lists that are used. (Additional route selections could easily be implemented but the idea is to use sequential routes instead).

There is no logic that checks weather the selected routes are connected to each other or if the same routes are chosen six times.

At launch the routine for multiple route selection searches for routes in the sheets "Traffic_Freight" or "Traffic_Pass". Which one could be chosen by the User in a dialog box that appears (see below). The last run is used as a reference for the route sheet:



The routes must be previously defined in the sheets "Traffic_Freight" or "Traffic_Pass". This makes it possible to define the routes in any sheet independent of the type of traffic chosen for the calculation.

In the sheets above the necessary route data are explained in the sheet columns.

20.3 Ruttbaserad Hmatrix/(route-based Hmatrix)

Each route could be assign a specific Hmatrix through an attribute "HID" – Hmatrix identifier. The HID is given in the route sheets "Traffic_Freight" and/or "Traffic_Pass".

You could define any string/number or combination as HID but it is reasonable to use track section number or similar. In the sheet "Hmatrix" it must exist a corresponding Hmatrix for each route HID. The HID must be stated in the cell above the acceleration fields, see below:

BDLYx		Speeds		Time Distribution t (%)	Route Distribution z (%)
Acceleration		Ymax [km/h]	Ymin [km/h]		
amax [m/s]	amin [m/s]				
1,0	0,9	200	180	0,00	0,00
0,9	0,8			0,00	0,00
0,8	0,7			0,00	0,00
0,7	0,6			0,00	0,00
0,6	0,5			0,00	0,00
0,5	0,4			0,00	0,00
0,4	0,3			0,00	0,00
0,3	0,2			0,00	0,00
0,2	0,1			0,00	0,00
0,1	0,0			75,00	80,00
1,0	0,9	180	160	0,00	0,00

The example above defines a Hmatrix for HID="BDLYx" – the route between Y and X (only example).

The Hmatrix may be put anywhere in the Hmatrix sheet and the routine uses a clever search function to find the relevant Hmatrix per route.

If the route's HID is empty (non-defined), if the Hmatrix cannot be found (does not exist) or if the train type is not freight, the default Hmatrix will be used. The default is the matrix in the top of the Hmatrix sheet.

Note that You always can see the latest route-based Hmatrix used in the calculations. Refer to cell F18 in the sheet "Running_data", or cell S2 in the sheet "Ematrix". For multiple routes all HID are printed to the input sheet "Input". A feedback is made so that if the User has asked for the HID of route X and it can not be found, it will be set to default.

To generate Hmatrixes per route/routes using GPS-measurements, special routines have been developed. För generering se XXÄven flödesschema

20.4 Stråkhantering/(sequential routes)

Instead of selecting several individual routes in the multiple route selection, the new version of KTH Artemis Rail includes the possibility of defining sequential routes. This is done by a specific attribute "RID" – "Route Identifier". The RID is given in the route sheets "Traffic_Freight" and/or "Traffic_Pass".

There are three levels of route definitions. Refer to the table below and an example of route from A to F. Either the routes A-B,.. may be run individually (1), or as lumped routes (with pre-defined lumped Hmatrices) (2), or as sequential routes (3):

<i>Alternativ 1 (som idag men med default eller unika Hmatriser)</i>	<i>Alternativ 2 (som idag men med unika/ekvivalenta Hmatriser)</i>	<i>Alternativ 3 (som alternativ 2 men genom en loop)</i>
A-B	Bdl X (A-C)	Stråk X (A-D)
B-C	Bdl Y (C-E)	Stråk Y (D-F)
C-D	Bdl Z (E-F)	
D-E		
E-F		

Alternativen ställer krav på att definiera attribut eller ekvivalenta Hmatriser (alt 2).

Skillnaden mellan alt 2 och 3 är att 3 själv skapar en lista med flera relationer .

Alla alternativ medger den liststruktur som byggts upp och som bygger på att ländernas rutter definieras inom ett område genom attributet "cs". –Måste vara sammanhållet.

If the HID-attribute (refer to Section 20.3) is set to "multiple" it is interpreted as a command for searching after all equal RID – combining a sequential list of routes.

Attributlista:

<i>Rutt</i>	<i>Attribut HID (om tomt = default)</i>	<i>Attribut stråk (om tomt ignoreras)</i>
X via AB	Xmat	Stråk xxx från A till D
Y via BC	Ymat	Stråk xxx från A till D
Z via CD	Zmat	Stråk xxx från A till D
X-Y från A till C	XYmat	Här bör stråkattribut utelämnas eftersom det är en ekvivalent Hmatris/länk (som kan ersätta ovan)
Stråk xxx från A till D	"multiple"	Ej definierat här

Attributet HID kan alltså vara en flagga "multiple" som anger att stråk ska sökas ut (och respektive HID läsas in).

Men om man kör single "route" eller "all" då vill man inte ha med stråkvalen eller dubbla rutter som ingår i flera olika stråk.

To be able to add routes in the route sheets, with different combinations of HID and RID –attributes it is necessary not to include the same routes multiple times. *It is*

important that the User hides rows in the route sheet that should not be included. This is especially important when running "All trains".

Simply mark a row, right click and select hide. The routine suppresses hidden rows in the calculations.

21. Genomförda mindre förbättringar/(minor improvements)

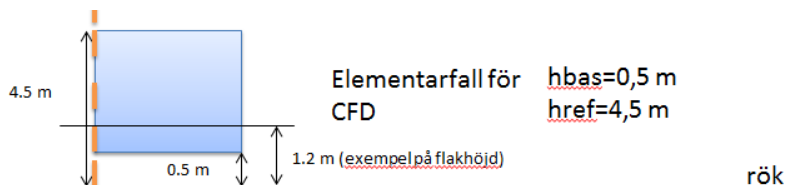
- Dynamic search of country code and attributed routes. This is then used when populating drop down menus. Previously static lists were hard-coded. Refer to the new routine "RouteSelection". Note that the routes per country must be defined as a continues list (there is no sorting with respect to country code).
- Nu kan användaren ange både totalvikt och godsvikt som ej default. Tidigare gav det ena det andra.
- Enhetsförtydligande på gradient i dialoger och flikar (ska vara promille och inte meter).
- Stöd för att dölja rutter som man ej vill beakta.
- Vid inmatning av specifik tågdata kan programmet helt avbrytas genom "Avbryt". Tidigare medförde detta ett felmeddelande.

22. Synpunkter på och rättelser av kod

22.1 Luftmotståndskoefficient/(air resistance coefficient)

calc Cd – formeländringar

The base height above rail is now defined in code as $h_{base}=0,5$ m. The value is used as follows:



$h = \max(h, h_{bas}), h \geq h_{bas}$ Vagnsmellanrum $h=0$ ger $h=h_{bas}$ (finns ej elementarfall för $h \leq h_{bas}$)

$$front / akter basvärde * \frac{h - h_{bas}}{h_{ref} - h_{bas} = 4m}$$

$$friktion \sim abs(h - h_{bas})$$

Friktion från yta ovanför h_{bas}
Mellan vagnar är höjden alltså fiktivt = h_{bas} och friktion=0

The train height between wagons should be set to zero.

22.2 General

- Märkligt val av datatyper, t.ex. text som gör loadfactor oläslig. Korrigerat.

- Hastighetsberoende gradienter kräver en större insats att implementera.
- Enhetsmissar i vissa storheter.
- Variabler deklarerar men används inte eller tvärtom.
- default gradient innebär läsning från flikar Traffic_Freight eller Traffic_Pass (ett utelämnat värde per rutt i dessa flikar ger gradient =0, annars per rutt angivet värde). Icke default innebär att värde anges av användaren.
- Om gradienter och hur de används, se gärna loggen, avsnitt 27.
- Kan inte hitta att nedan lastfaktor för tågvikt någonsin används (skapas av "Loadfactor" och skrivs till "Runing_data"). 'lf = Range("B19").Value ' [tons/tonsGoods]
- The sheet "Line_data" seems never to be used.
- "AllOutput" -Average energy consumption- i kolumn H är egentligen -energy consumption for last route- i fallet ett tåg och resultaten i cell B36 i flik "Running_data".
- ..

23. Utvecklingsmöjligheter Artemis

- Möjligheter att välja flera rutter med zondelning, att t.ex. dela in dem i regioner, norr, syd, län etc. Problemet är att användardialogen är densamma för oavsett val av land...
- Stråken kan hanteras genom att i rollingresistance bygga in en varning/hoppa över beräkning om HID="multiple". Denna aktiveras vid "single train" eller "all trains" när matriserna läses in.
- Om användaren väljer en rutt som första länk kan de andra möjliga valen styras av möjliga anslutande länkar till det första valet. Dvs om relation A-B först väljs, kommer sedan valen B-C, A-D etc. Innebär mycket programmering och någon form av länkbibliotek.
- (Till ovan möjlighet att läsa in flera länder samtidigt)
- Möjlighet att klicka på "calc settings" på första fliken och göra val, tex att köra default-Hmatris oavsett rutter. Fungerar som ett "EPROM" och skriver flaggor till en flik i Artemis.
- Kartvyer vid ruttval.. knepigt att hantera men ev genom att plocka fram HID redan då ruttvalen görs och söka koordinater i den bandelstabell vi redan har för att sedan rita upp det. Problemet är kartupplösningen i Excel (diagramform) samt att det inte kan göras interaktivt.
- Delrutter, användaren väljer i en lista att köra A-B och kan sedan utvidga listan för att lägga till/ta bort mellanliggande relationer.
- Sökfunktion, användaren skriver in start och mål och får förslag på rutter..
- Lösningen som får gälla tillsvidare är att jobba med stråk eller sammanhållande rutter som svarar mot Hmatriserna.. Detta ger flera möjligheter för samma stråk.
- Debug-knapp i dialogen som stoppar programmet efter att "single train on multiple routes" valts.
- Part of negative traction force could be considered as regenerative, "negative" energy if electric loco.

24. Beräkningsformler/(calculation formulas)

24.1 Dragkraft och acceleration/(drag force and acceleration)

The traction force is set equal to the train resistance (the drag force) in the calculation module "RollingResistance".

<i>What</i>	<i>Formula</i>	<i>Note</i>
Acceleration force	$F_{acc} = (a_{max} / 2 + a_{min} / 2) * m$	
Curve resistance	$F_r = m * g * C_r$	
Air resistance	$F_l = ((V_{max} + V_{min}) / (2 * 3.6))^2 * C_l * A * \rho * 0.5$	
Gradient resistance	$F_s = m * g * AvGrad / 1000$	AvGrad in promille
Total drag force= tractive force	$F_{tot} = F_{acc} + F_r + F_l + F_s$	$F_{tot} \geq 0$

m is mass (kg), a_{max}/a_{min} are the accelerations, V_{min}/V_{max} are the speeds, C_l is air resistance coefficient, ρ is density of air, A is cross-sectional area, C_r is coefficient, $AvGrad$ is gradient in promille. Output is total force in [N].

24.2 Tågvikter och last/(train loads and cargo)

The train loads are defined as default or directly by the User. In the calculation module "multipleRoutes" a sub-routine "trainload" has been created. The routine calculates the total train weight and train load if the User has chosen default mode.

<i>What</i>	<i>Formula</i>	<i>Note</i>
Locomotive/Rail car weight	$Loc = 100$	ton
Default tons of goods per train	$load = (Tons\ Transported\ per\ Year) / (Freight\ Trains\ per\ Workday) / 330$	
Default total tons per freight train and route	$m = Loc + load * Lfg$	
Default passengers per train/route	$load = (Pass\ per\ route\ per\ Year) / (Trains\ per\ Workday) / 330 / tw$	Trains per workday could be long distance or local.
Default total tons per passenger train and route	$m = Loc + load * Lfp / Lfps$	

Lfg is load factor freight in [total tons/tons goods], Lfp is load factor passenger in [tons/seat], $Lfps$ is load factor passenger in [pass/seat].

tw is the % of total transport work for the defined train type in sheet "Running_data".

Note that the division by tw for default passengers per train/route relates to the type of trains per workday. This is not used for calculating the passenger load in the routines "AllTraffic" and "AllOutput" which are executed in the "All train mode" and partly in "multiple routes" mode. Therefore there could be differences in calculated results

running a single train in different calculation modes and calculating the load for all trains respectively.

The reason is that default-choice of train loads are checked in several routines in the existing code.

When running single mode, freight trains and total train weight set to non-default, the total weight will be calculated from the default cargo load, regardless of user input on this. This is somewhat suspicious and in the multiple routes mode, non-default values could be entered on both train total load and cargo load.

24.3 Energi/(energy)

Energy is calculated in the "Energy" –module. These formulas have not been modified in version 1.0 nor in version 2.0 of KTH Artemis Rail.

<i>What</i>	<i>Formula</i>
Energy based on distance	$\text{Sum}(F_{\text{tot}}(x) \cdot x\%) \cdot x_{\text{tot}} / \text{tractive effort}$
Energy based on time	$\text{Sum}(F_{\text{tot}}(t) \cdot t\%) \cdot x_{\text{tot}} / \text{tractive effort}$

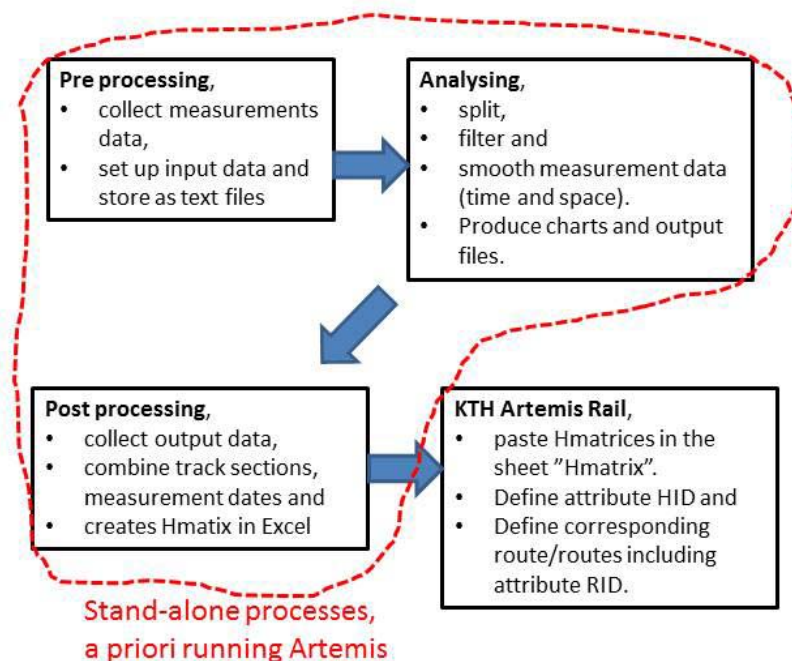
$x\%$ and $t\%$ are the shares of running distance and running time within the different speed- and acceleration intervals respectively.

Note that the total running distance x_{tot} is used in both formulas (and not running time in the second formula).

25. Skapa Hmatriser/(generate Hmatrices)

25.1 Overview

A stand-alone in-house routine package for generating Hmatrices has been developed.



25.2 Pre-processing

25.2.1 General

The program package requires some input data on specified format and type. Refer to the help file in the package.

GPS- measured speed profile is required as well as track section definitions (start/end coordinates). The input must be stored as semicolon or comma CSV text files. Decimal symbol must be dot.

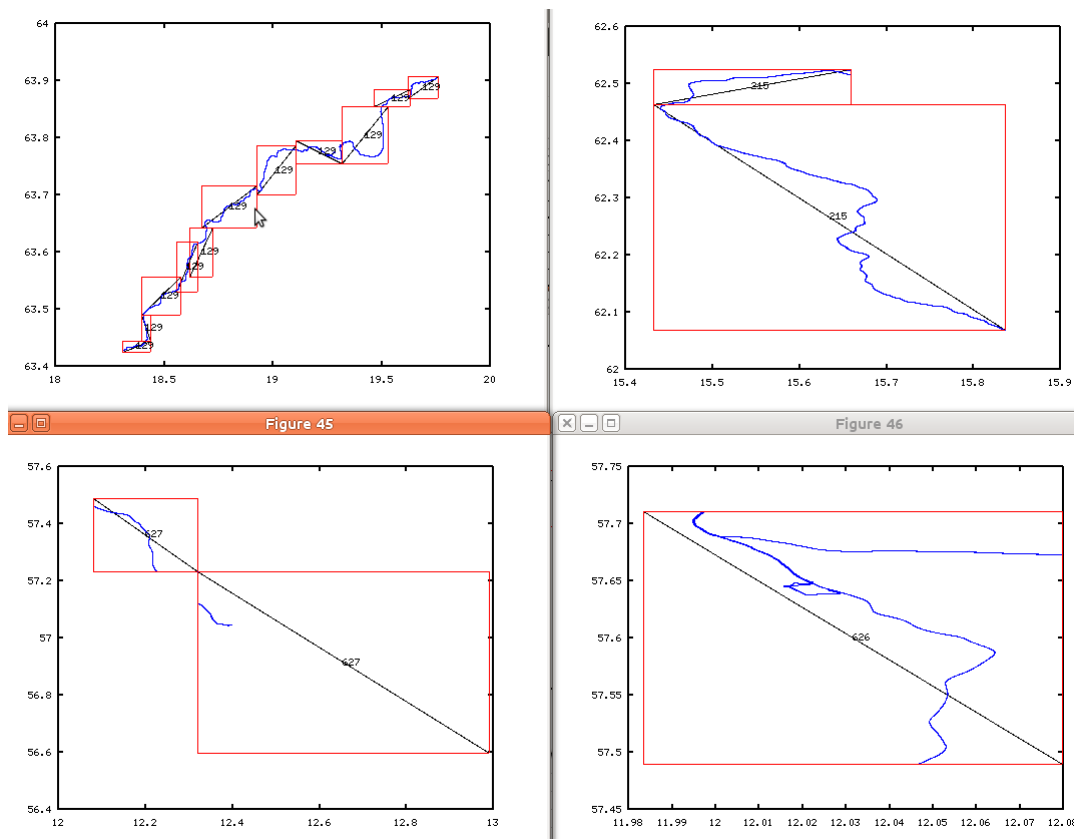
25.2.2 About track section divisions

In order to define the track sections, a start- and end point (lat,long) GPS-coordinates are needed. At first attempts were made in order to search through the data- sample by sample - to find the start or end point at each defined track section.

However this turned out to be very time consuming and also produce suspicious results, as the search function only have a start and end point to relate to. At junctions, overlapping and partial measurement (in time), and so on, this caused a lot of numerical issues. Therefore this approach was abandoned but the source code is saved in a routine (“Advanced search”) that could be developed in the future.

Instead the routine “Hmatris” tagges all data in a window spanned by the start/end coordinates of each track section, by its defined track section number. Track section data are imported from a separate file, called “bandelsfile”. In order to avoid overlapping data at different track sections etc. it is essential to choose reasonable coordinates for all track sections. This is managed by so called frames. Some track sections consists only of one frame, and others of multiple frames. A track section may be split up in as many frames as required, and the order and overlap of the frames are not important. The idea with frames is to map the track section within a number of rectangles that follow the track geometry. At intersections and such, additional frames are needed.

See the example below (produced by the routine “routeprn2”).



In the above figure, the upper part shows two cases of frames fitted to track section 129 and 215. In total 11 frames are used for section 119 to avoid interference with close-by track sections.

The lower part shows two cases of frames fitted to data with errors, track sections 626 and 627. The errors depend probably on measurements off-track.

It is possible to define as many frames as you want for each track section – they will be combined to one track section later. The order in which the track sections are defined is also not important. Even the start- and end points may be chosen without clear

definitions of “start” and “end”. However, the program calculates the traveling direction by assuming that the measured data is ordered (in time). If the first match is against a start position it will define a positive direction towards the last data sample, closer to the defined end point of the track section, and vice versa.

Another issue is that it sometimes is difficult to distinguish between measurements on road and track (the logging device is put on the containers). The following routes are among the suspicious ones (source loggdata_v1.adb):

- Road 40/27 vs. track section 641 Almedal-Borås
- Övik-Härnösand route outside known track
- Road E20/E6 vs. track section 627.
- Luleå-Piteå seems to be on E4 near the coast line.
- Track section 601-603 match strange measurements (loops and more).

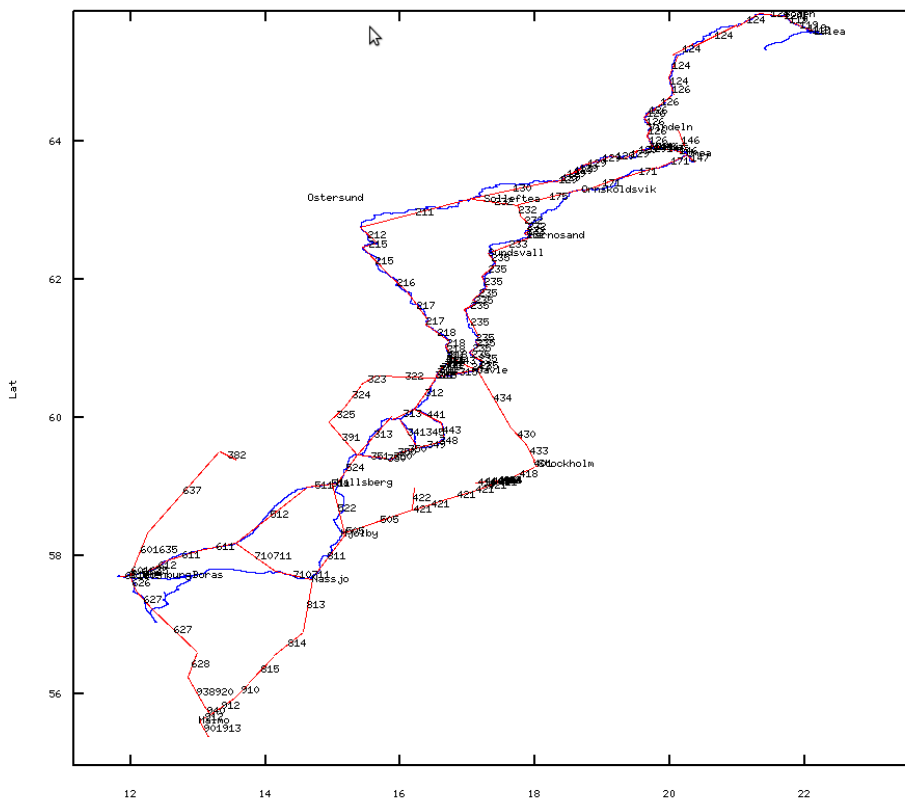
The identification of track sections are very simplified, based on GPS coordinates. The coordinates have to be determined in advance, iteratively comparing against the measurements (supporting routines “routeprn”, “routeprn2” and “pickpoints” may be used).

Within this assignment it was not possible to quality check all these track section divisions. The largest problem with the method is that parts of other track sections may be added to the current one, due to a low resolution in the track section GPS-coordinates. It is possible to manually extract data and build up the data base with GPS-coordinates, whereas it is now to be seen as a basis for further improvements.

Note that it was not possible to manually check all the data, nor the analysis of each speed profile etc. for all track sections. Some samples were taken and further analyzed. New measurement data may require additional track section definitions and/or refined GPS coordinates.

In the future it is advised that more attention is brought to how the measurement data could be attributed to the different track sections.

Below is an example from WSPloggdata_v1, about 2.6 million measured samples identified over 40 track sections.



Track sections and measurement data

The output matrices “*errormatrix*” and “*datematrix*” are essential and includes the following information:

errormatrix=

Col1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7
track section x	date	min (quadratic sum) start error for all fitted frames lat/lon	min (quadratic sum) end error for all fitted frames lat/lon	Total data size for track section	Matched frames (percent)	Direction of travel (simplified)
...

datematrix=

Col1	Col 2	Col 3	Col ...
track section x	Date 1	Date 2	...
track section y	Date 1	Date 2	...
...

Two additional matrices are also created by the program: *bdlmatch* – all fitted track section and their statistics. *ignoredbdl* – all candidates track sections ignored in the search process.

The “prevconfirm” matrix stores acceptable fitting errors granted by the User during the interactive procedure, so that the program does not necessarily has to ask for allowed errors repeatedly on the same track section.

Related to columns 3 and 4 in the “errormatrix”, are the size of the quadratic error. For all track sections the differences are calculated for the start and end position (latitude and longitude separately) versus the measurements. A measurement could cover precisely the track section length, or less, but not more. Refer to the Figure below. The pairs of difference in start/end positions produce four pairs of variables as vectors:

Errors at start of track section

“starterrlon” = [abs(longitudinal difference START measurement, START track section) abs(longitudinal difference END measurement, START track section)]

“starterrlat” = [abs(latitude difference START measurement, START track section) abs(latitude difference END measurement, START track section)]

Errors at end of track section

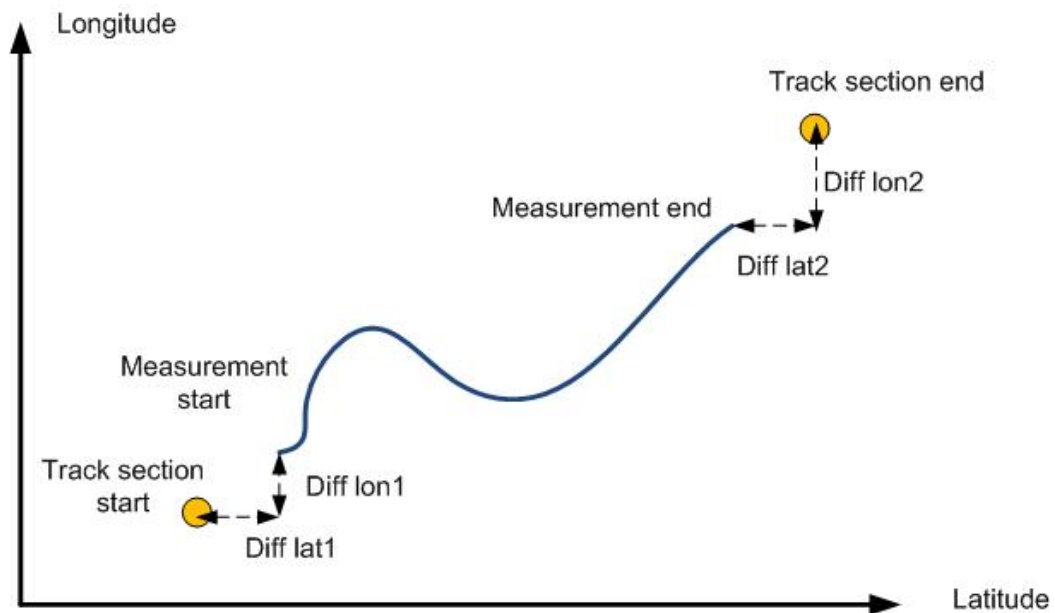
“enderrlon” = [abs(longitudinal difference START measurement, END track section) abs(longitudinal difference END measurement, END track section)]

“enderrlat” = [abs(latitude difference START measurement, END track section) abs(latitude difference END measurement, END track section)]

These errors are the squared as a resulting start and end errors separately

$$\text{starterr} = \sqrt{\text{starterrlon}^2 + \text{starterrlat}^2}$$

$$\text{enderr} = \sqrt{\text{enderrlon}^2 + \text{enderrlat}^2}$$



Parameters used as basis for the quadratic error in start/end comparing measurement and track section.

The following error limit values are inputted and could easily be changed in code:

Parameter	Value	Note
errmax	0.2 (22 km)	Max considered resulting error start/end of bandel.
erri	0.05 (5 km) 0.0003 (50 m) during debugging	Errors in start/end between this value and errmax will require User input on include/exclude. Increase this value to suppress User

		interaction. Errors below <code>erri</code> are considered acceptable.
<code>dsizemin</code>	200	Minimum no of samples to consider as relevant representation of track section when searching. Less samples will be ignored.
<code>lim</code>	0.0004 (62 m)	Max absolute value on positional derivative 'pderiv' to consider as "0" (standstill). This is a fine tune parameter. Wrong value produce a warning message.

Use the following conversion Table of errors absolute and in degrees:

Error absolute, m	Error quadratic in degrees
31.213	2.8284e-04
811.527	7.3539e-03
3.1213e+02	0.0028284
1.0924e+03	0.0098995
2.6530e+03	0.0240416
3.4333e+03	0.0311127
4.9939e+03	0.0452548
8.8952e+03	0.0806102
1.2016e+04	0.1088944
1.6697e+04	0.1513209
2.2939e+04	0.2078894
3.0740e+04	0.2786001

25.3 Analysing data for the Hmatrices

25.3.1 Program package overview

The package consists of the following routines and functions implemented in Octave code:

Name	Procedure	Note
Hmatris	Main program	Type 'help Hmatris' to read about the procedure. Type 'help Hmatris_inputform' to read about input format.

Kalman	Function (or as program routine)	Type 'help kalman' to read about the procedure. By inserting a comment sign '%' in front of the function definition, it is made into a routine that can process all GPS data (regardless of bandelar). This requires that 'Hmatris' has been launched prior.
Tiden	function	Called by 'kalman', converts timestamp in GPS data.
Pindex	function	Called by 'kalman' and 'Hmatris', returns values of conditional indices in a matrix.
readGPSdata	function	Reads the GPS input file. Support multiple input file reading and catenation.
Routeprn	routine	Prints the route map within Hmatris.
Moving	function	Optionally called by 'kalman'. Performs floating mean operation.
GPSp	routine, debug	Used for debugging when creating fictive bandelsdata.
Hmatris_inputform	routine	Simply a text file for help (see Hmatris).
Turnrad	routine, debug	Approximates the route radii, sliding on three-point samples. A way of indicating closed loops in the measurements.
Sparas	routine	Saves variables required for stand-alone running of kalman.
Laddas	routine	Loads above.
Routeprn2	routine, debug	Plots bandelar and frames. This routine plots one figure per track section. Compares data to fit. Must run routeprn first.
Routestat	routine, debug	Routine that calc statistics for the route map, identified bandelar and skipped bandelar. Part of the debugging tools for Hmatris.m.
pickpoints	function, debug	Produce a table of lat/lon points based on User interaction in route map.
Latlon	routine, debug	Produce sensitiveness in lat/lon converted to distance.
Convgpslogg	routine	May read alternative input formats and convert readable. For example hand-held logging.
Coltextread	function	Supporting function to above.
Advanced search	Text file	

Bold names are essential parts of the executable package, rest are stand-alone preprocess and support routines.

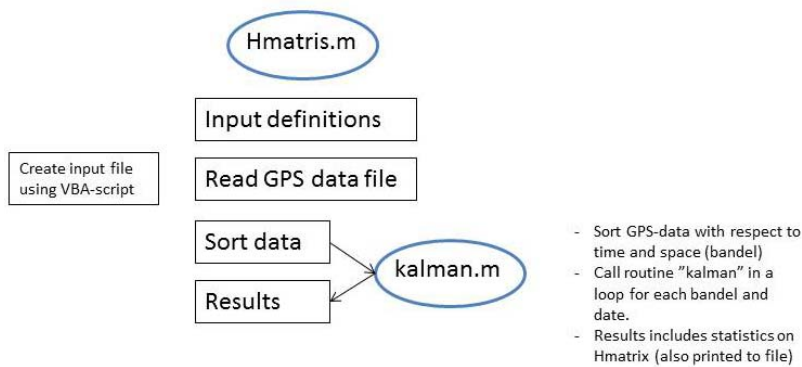
The code is executable in free public license GNU Octave (Windows or Unix/Linux) <http://octave.sourceforge.net/>.

Octave is very similar to Matlab™ in its functionality. The code was developed and tested in **Octave v 2.4**.

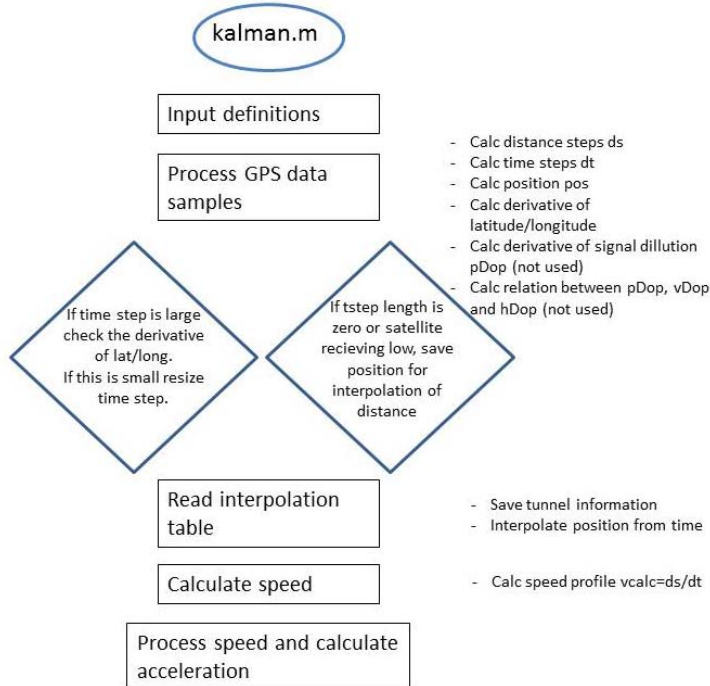
The code supports a lot of different analyses and reports results both in numerous User-definable charts and output text files.

25.3.2 Main routines and calculation steps

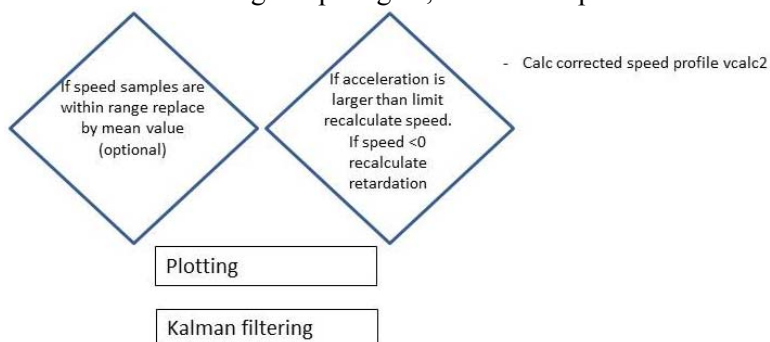
Main program, file "Hmatris.m" has the following structure:



Main function file "kalman.m" called by the main program, has the following structure:



Also if time step is zero or less a time shift could be introduced, depending on the size of the derivative of lat/lon. The time derivative could still be below limit although the time step and step length are large. Therefore the differential of lat/lon is considered instead. It is judged that the split-up in dates for each measurement and track section will not introduce large step lengths, nor time steps. See further below.



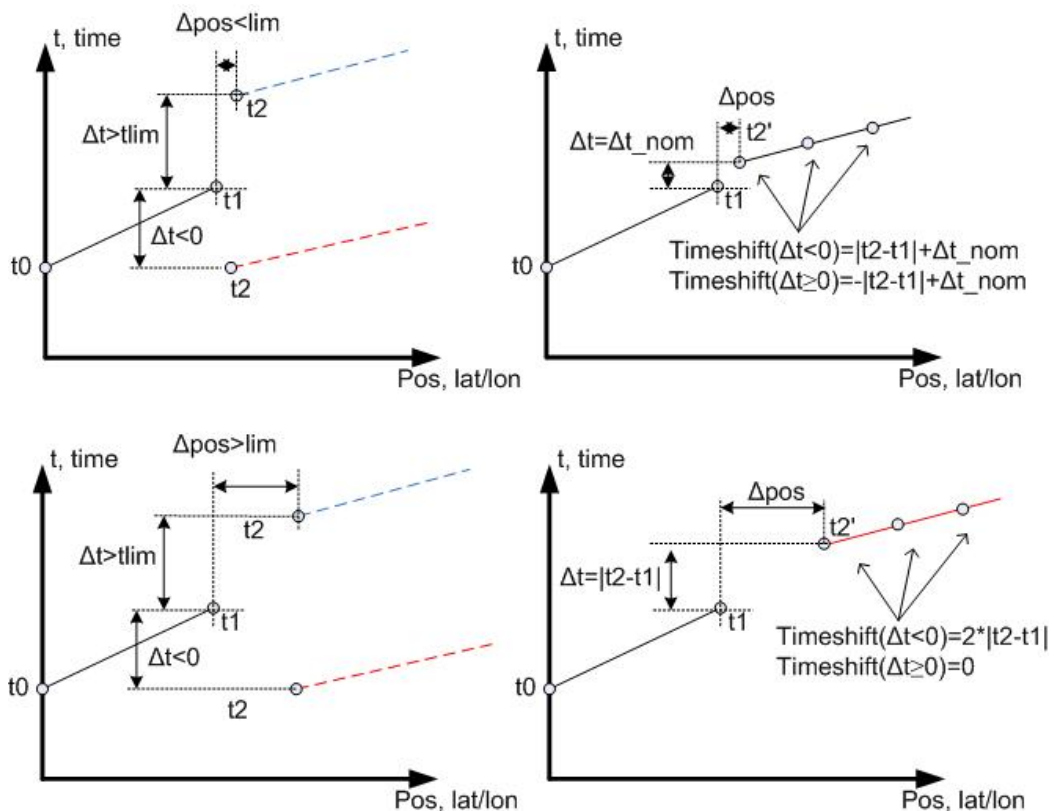
The program input is measured train speed profile with GPS recording.

The output is a textfile with Hmatrices for specified routes and speed/acceleration intervals. The program is somewhat interactive so that the User may influence which track section to split the data into etc.

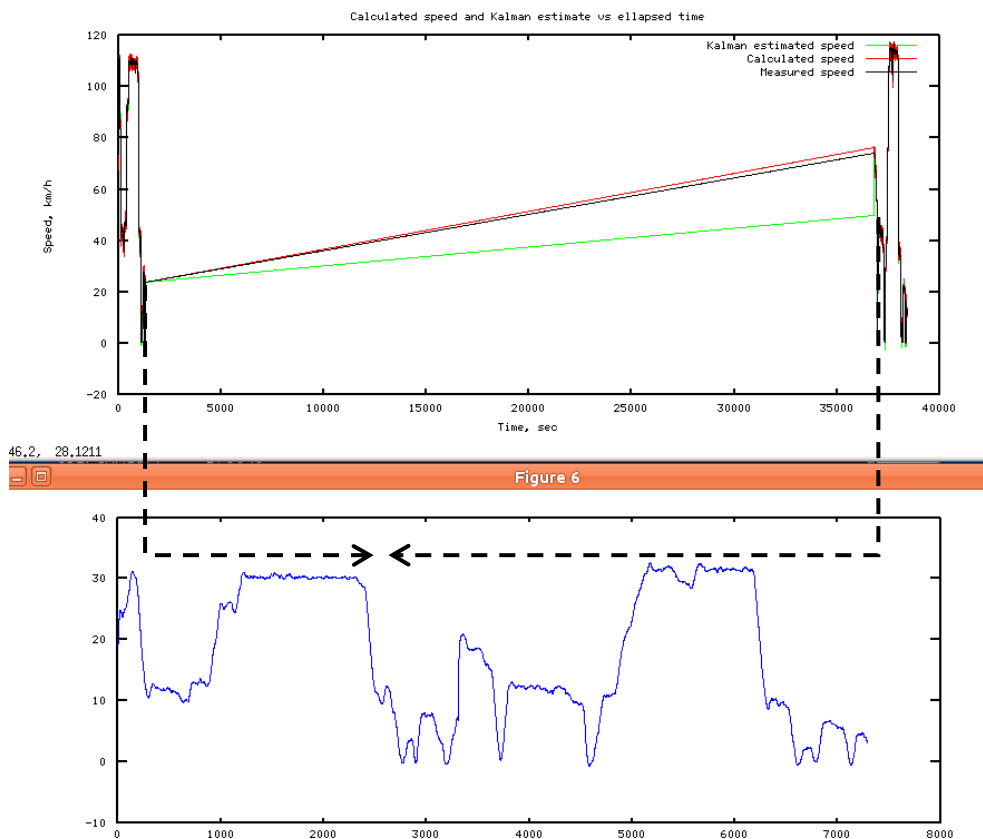
Time shifts are used whenever the recorded time steps and/or positional changes between samples are large. This shifts the time vector so that discontinuities are avoided.

Essentially four different situations could occur, summarized below and explained in the figure:

1. Time step is larger than limit value set by User. At the same time the change in position over that time step is small (less than limit set by User). This will be handled by introducing a fictive time step of nominal (sample) length, and shift the remaining time steps accordingly.
2. Time step is less than zero (e.g. recording over-night). At the same time the change in position over that time step is small (less than limit set by User). Follows the principles above.
3. Time step is larger than limit value set by User. At the same time the change in position over that time step is large (larger than limit set by User). This could be handled in different ways, but the real time and distance steps will be used to calculate the speed etc. The program will give a warning if the step length is larger than 300 m. This part of the measurement may be filtered out later.
4. Time step is less than zero (e.g. recording over-night). At the same time the change in position over that time step is large (larger than limit set by User). A time shift is introduced, to essentially give the same results as in point 4. This part of the measurement may be filtered out later.

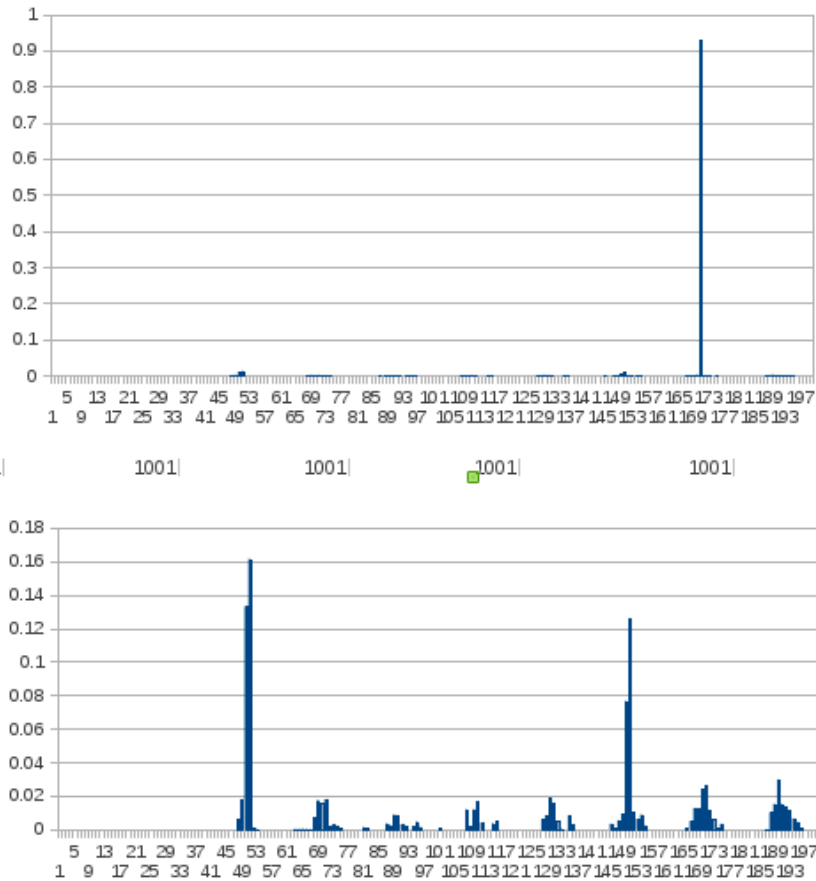


By setting the variable “dsrat” sections with large positional change could be filtered out. Below is example from track section 119 (measured 110901).



Fictive step length of over 30 kms are cut out from the final results. This “cut-out” may be conditioned by the User input settings on “dsrat”. A value of dsrat=0.1 will exclude statistics from any interval where the step length is larger than 10 % of the total running distance.

Below is an example from the statistical analysis for track section 119 (cont. from above). It is obvious that the first chart show more than 90 % time-based running performance in a single interval of speed and acceleration. This is caused by the large fictive step length of 30 kms. By setting the dsrat value to 0.1 a more realistic statistical result is produced (lower part). Although this is not a 100 % -representation of the entire track section, it is a compromise that should be evened when a lot of measurements are processed.



25.3.3 Error handling

Output error messages stored in “errmess” (digit -1-9) returned by ‘kalman’. When running multiple track sections and/or measurement dates, the error message is stored in the *bboxresult* matrix.

Error code	Interpretation
0	No errors identified (of those defined).
1	Making up the time vector
2	Warning Time step is zero or negative and will be shifted. Positional change is less than dsmax (e.g. 1000 m).
3	Warning Time step is larger than limit and will not shifted. Positional change is larger than dsmax (e.g. 1000 m).
4	Warn if step length is larger than 1000 m (only debug)
5	Warning long step length produce high speed > vmax (only debug)
6	'First values in GPSdata are skipped.
7	At least one jump in the time step could not be removed. Consider the limit conditions on pderiv
-	bdl_ = 0 Error flag (will be printed to file as zero indicating error in time steps) Switched off.
8	Warning, maximum interpolation length is > 2000 m. Consider increasing satfix ratio.
-	Large difference between measured distance and calc distance based on

	calculated speed profile (>300 m) Switched off.
9	Large difference between measured distance and calc distance based on Kalman-smoothened speed profile (>300 m)
-1	No data found for Hmatrix

25.4 Post-processing

The produced text file from “Hmatrix.m” could then be processed in the Excel macro file “StatHmat_ver2.xlsm”. This macro derives charts and the Hmatrices readable by KTH Artemis Rail.

The macro could easily be used when deriving equivalent Hmatrices for multiple track sections.

Results from the analysis also includes statistical measures of the Hmatrices derived for different track sections. Refer to the StatHmat output.

Results must be copied into the sheet “Hmatrix” and defined by an attribute HID (Section 20.3). The route is then added to the route sheets “Traffic_Freight” and/or “Traffic_Pass” also with attribute RID (Section 20.4).

26. Fortsatt arbete/(future work)

Improved and extended analysis:

- Evaluate additional measurements of speed profiles.
- Maybe use simple devices for logging, some examples have been tried within this work and preparations in code are implemented.
- Additional track sections should be added.
- Evaluate the importance of train running direction. An output field on train direction is stored as the last column in in the matrix “errormatrix”. It need some further attention since it is based on the average direction through all the track section frames (and could be somewhere in between -1 and 1). The running direction is currently not considered when creating the Hmatrices. One way would be to output the direction variable to the post processing or to extract positive direction and negative direction separately.

Some main development issues:

- Improve the identification of track sections for Hmatrix-analysis. Currently the solution works but may take long time. It would be more accurate to have more points identifying the entire track section and some identification algorithm.
- Maybe add a map view in the identification.

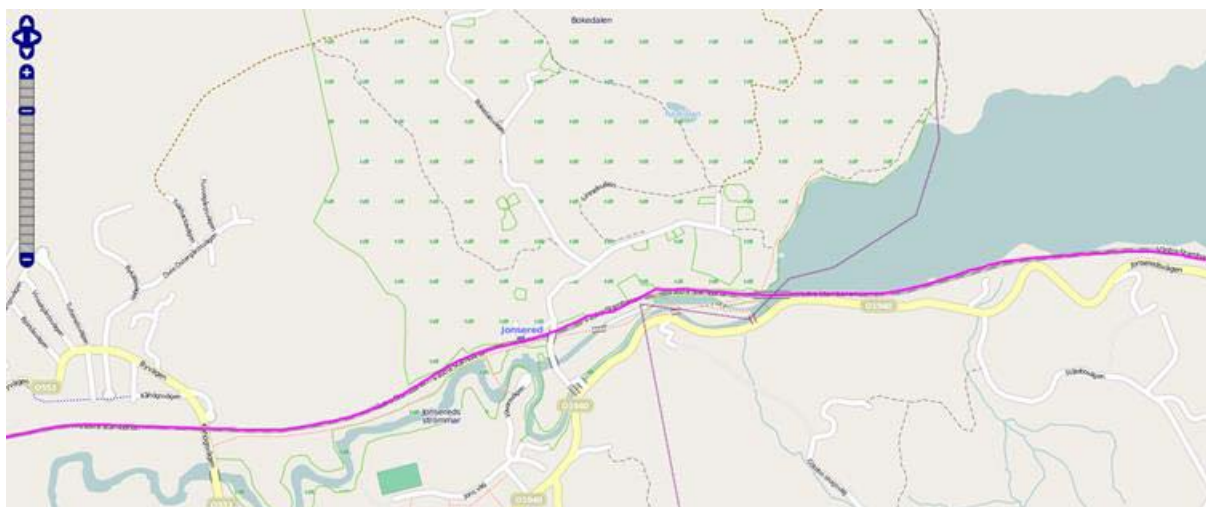
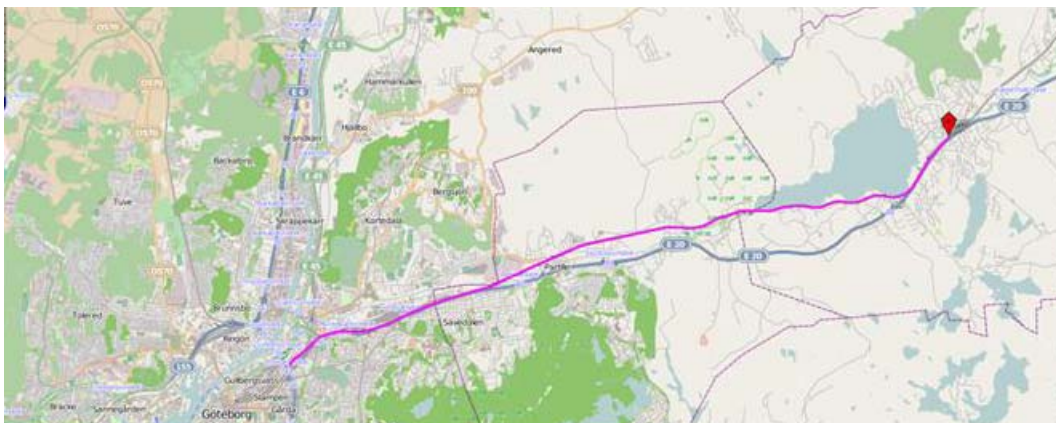
27. Arbetslogg programmering

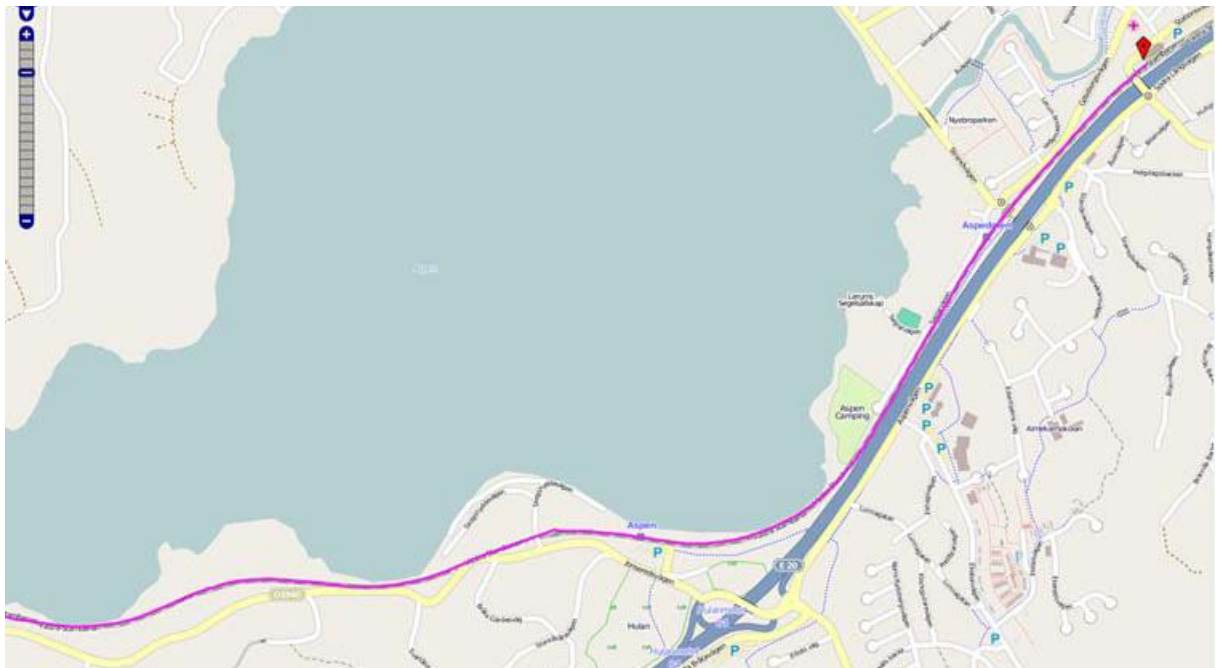
Se *WorkingNotesArtemisDevelopment2013.txt*

28. Bilaga 1 Kartvyer uppmätta exempelsträckor

28.1 Göteborg till Lerum, banlängd ca 18 km

Samplingsfrekvens 2,5 Hz, mätnoggrannheten är mycket bra om man jämför mot spårets läge, se nedan figurer.



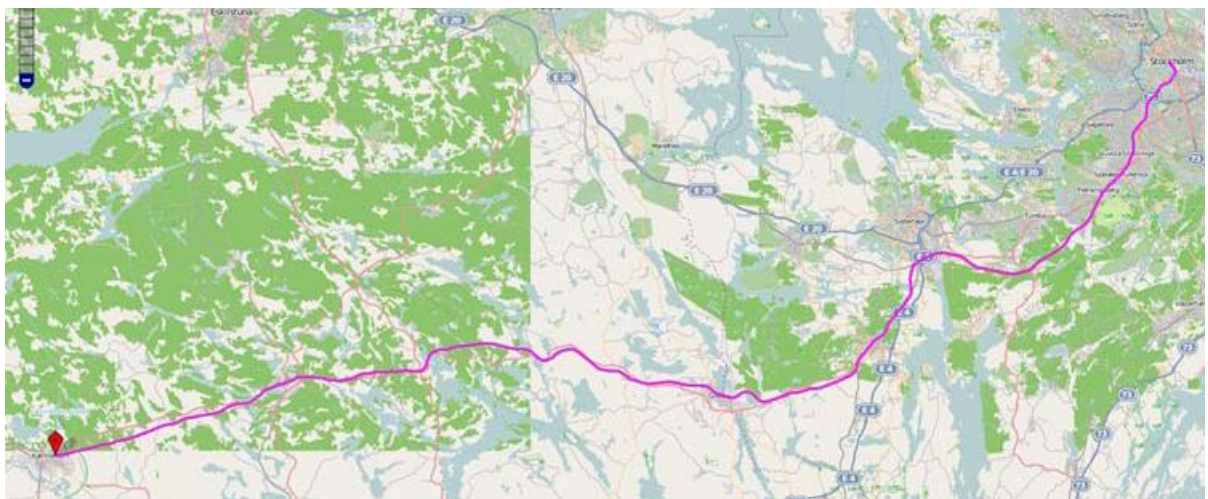


28.2 Stockholm till Katrineholm, banlängd ca 131 km. Förenklad loggning med samplingsfrekvens 1 Hz

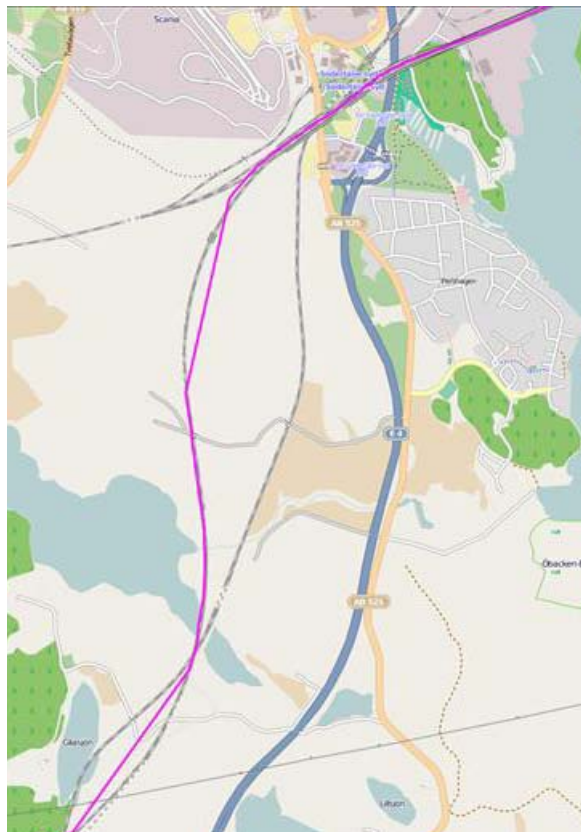
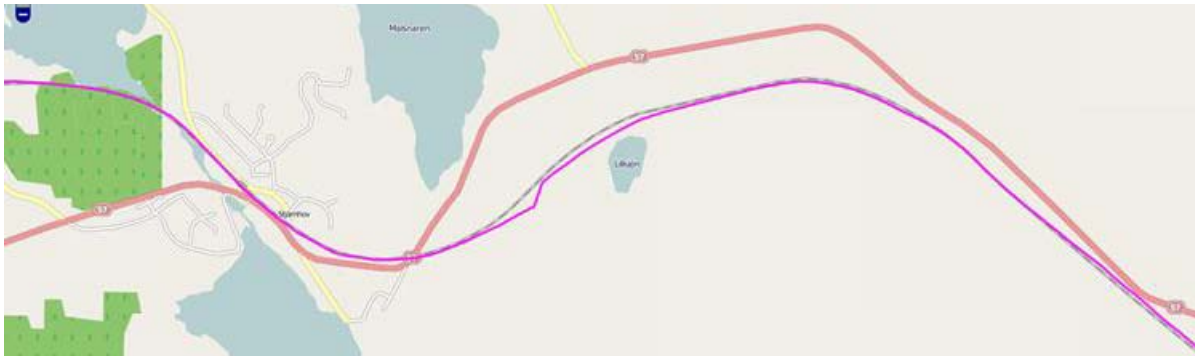
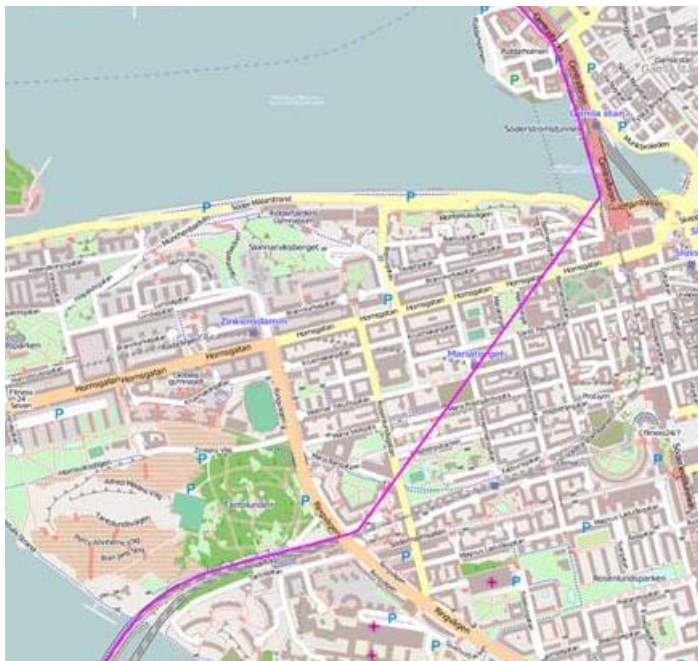
Bakgrunden till dessa data förklaras genom citerad epost från S Bäckström 13-03-26:
”ville bara snabbt skicka över ett GPS spår som jag spelade in med en enkel logger på väg till mötet när jag åkte SJ loktåg. Tänkte det skulle vara intressant att se om programmet kan läsa in detta och göra H-matris av det. Högsta sampelfrekvens är 1 s, nu tror jag den samplad med 0,5 Hz. Kanske vi kan mäta med en budgetvariant om vi engagerar några lokförare som tar med dessa och skickar in dem till oss”.

I kartvyn ser vi att data är av sämre kvalitet än den i föregående avsnitt, som loggades med mer noggrann utrustning.

Ett skript ”convgpslogg” har tagits fram för att översätta dessa enklare mätningar till ett format som Hmatris-kalkylatorn kan läsa och processa i ”Hmatris”. Rent numeriskt fungerar denna grövre sampling och metod utmärkt, men signalpositioneringen är sämre. Detta kan medföra att de indelningar i bandelar som gjorts behöver ses över om data ska loggas med sämre noggrannhet.

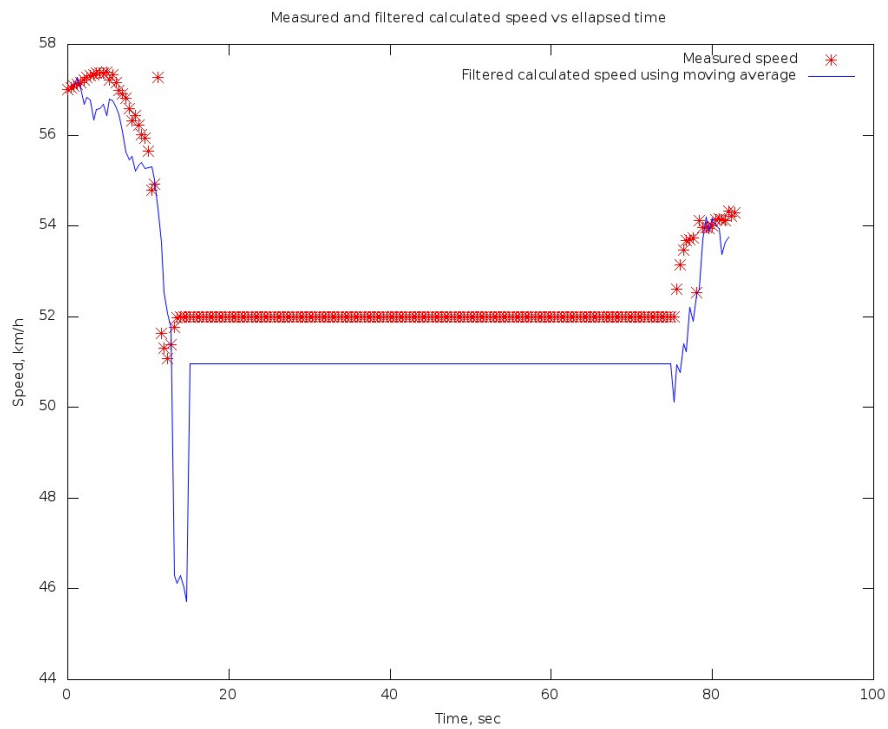
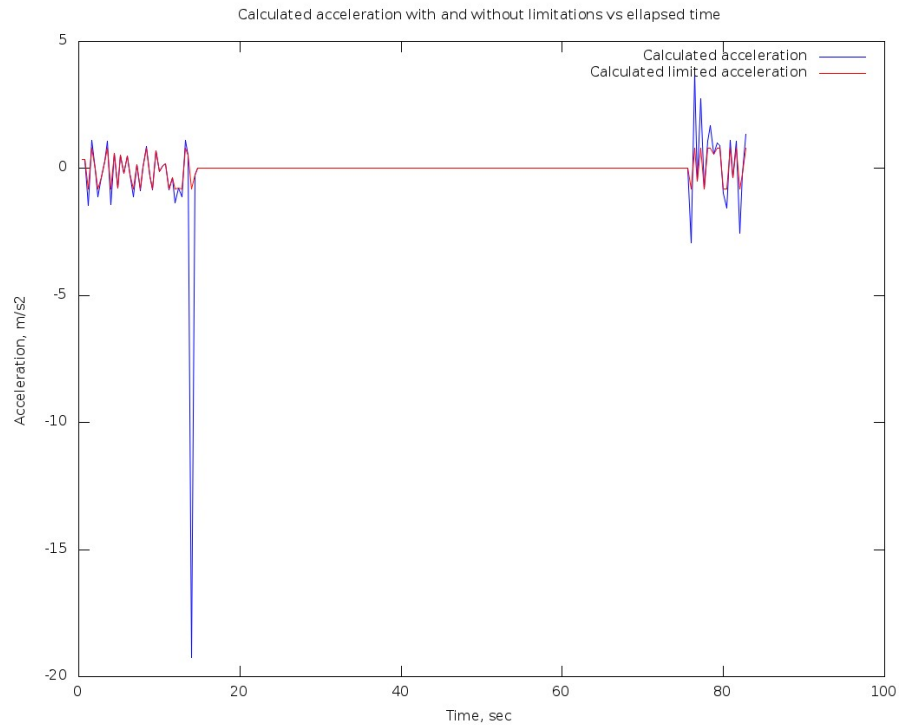


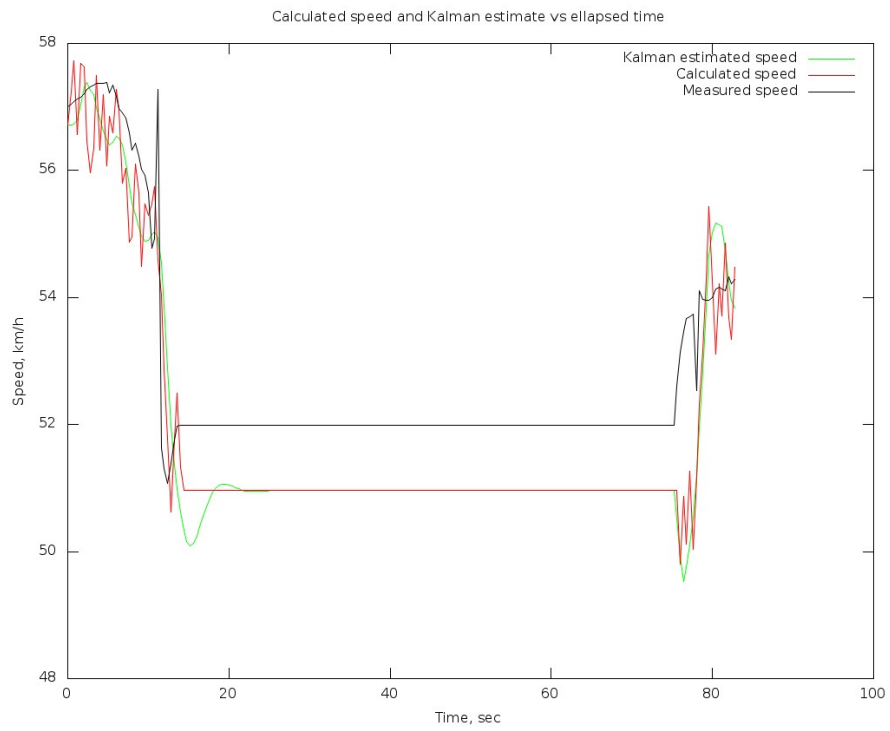
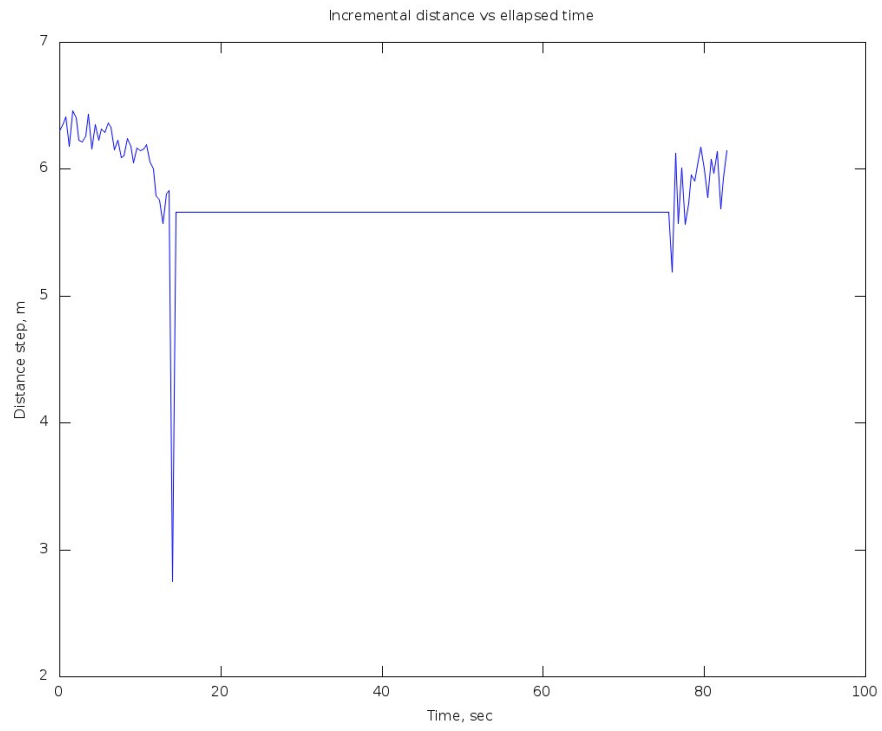
Där finns ett stort signalavbrott på Södermalm (tunnel) och därefter också några gånger. Signalen ligger inte så bra på spåret (se nedan).



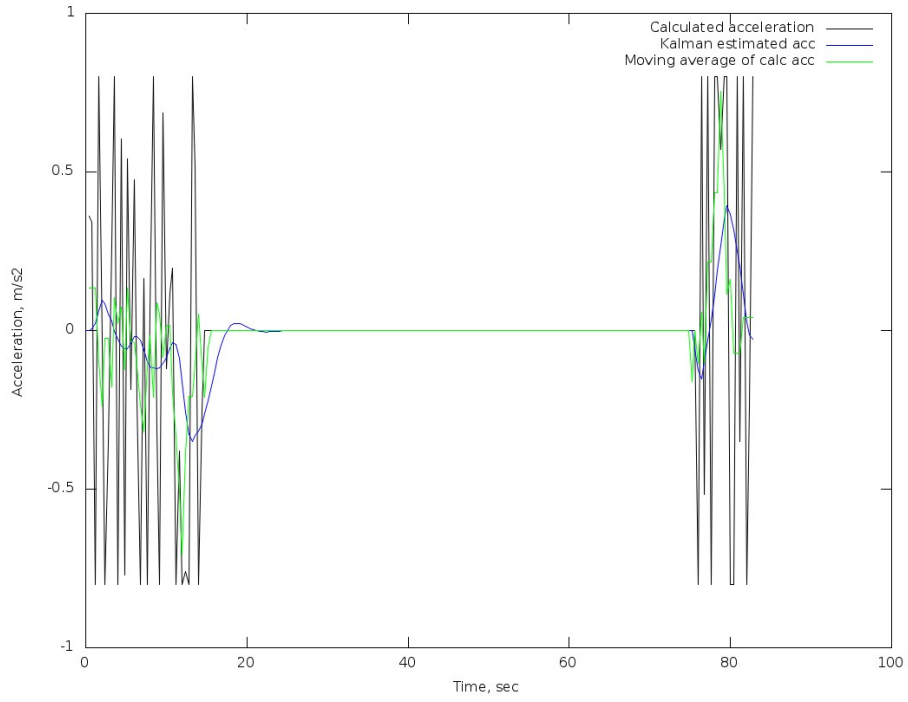
29. Bilaga 2 – exempelfigurer från analys av GPS-mätningar

Figurerna är standardfigurer som skapas i kalman.m (valet av figurer som ska skapas kan enkelt ställas in). Diagramrubriker talar för sig självt. Exempen visar det pricipiella utdatat och effekten av Kalmanfiltreringen.

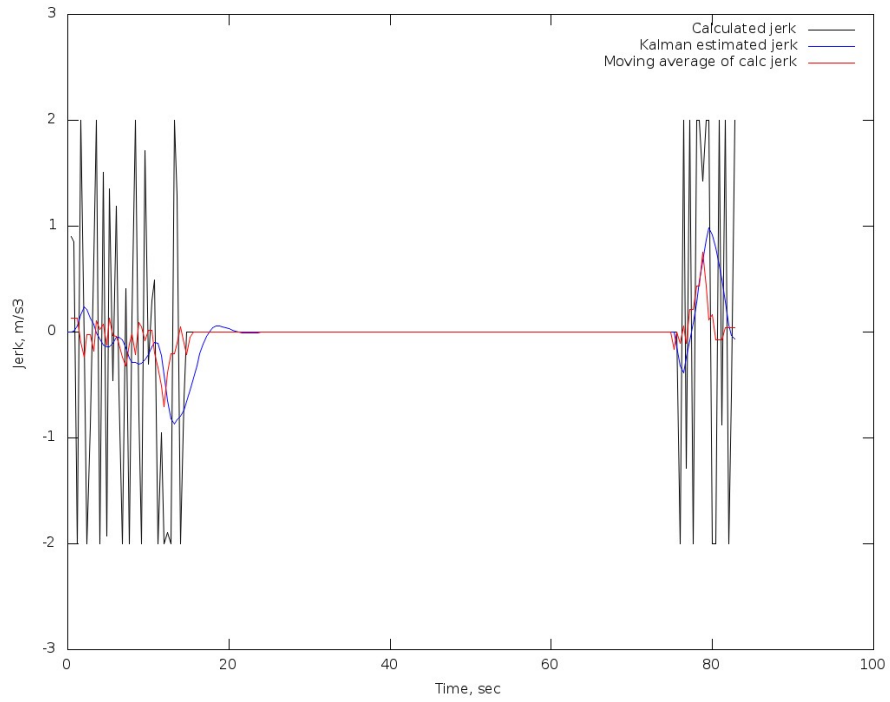




Calculated acceleration and Kalman estimate vs elapsed time



Calculated jerk and Kalman estimate



30. **Bilaga 3 – Variables created when running the main code ('Hmatris' and 'kalman')**

DatabaseSize	city	frames	printHmat
GPS	codist	i	rbr
GPS_dates	cotime	ignoredbdl	rdist
GPSreadtime	datematrix	ii	resfile
GPSsort	dateunique	indexmat	rtime
Hds	datsize	j	runcase
Hdt	debugfile	jj	runfile1
Res	debugmode	jspar	runfile4
SymmetricMatrix	dif	k	runfileold
adist	direction	kk	runfiles
aint	dist_errorGPSmatch	knotconvert	sep
alim	dsize	l	sfiles
ans	dsizemin	m	startCol
atime	ecol	mat	startRow
bandelar	endCol	maxx	starterr
bandelsfile	endRow	maxy	starterrlat
bdate	enderr	minx	starterrlon
bdl	enderrlat	miny	tid
bdlmatch	enderrlon	plotmeas	tmp
bdlsec	erri	pos	tunnel
bdlsehead	errmax	prc	tunnelhead
bldunique	errormatrix	prevconfirm	vint
bsec	framematrix	prevrun	vmax
A	earthRcorr	rtime	k
C	ecol	runcase	kk
DS	endCol	runfile1	knotconvert
DSsum	endRow	runfile4	l
DT	enderr	runfileold	latderiv
DTsum	enderrlat	runfiles	lim
K	enderrlon	satfix	londeriv
Kalmanplot	erri	savevar	m
Lambdainv	errmax	sep	mat
MeandiffAccCalc Kalma	errmess	sfiles	max_acc_ret_considered
P	errormatrix	sfreq	max_speed_considered
Ppred	framematrix	sindex	maxx

Q	frames	slutindex	maxy
R	head	st	min_speed_considered
acc	i	startCol	minx
acc2	idx	startRow	miny
ahat	ignoredbdl	starterr	pDopderi
calctime	ii	starterrlat	n
city	indexmat	starterrlon	pend
codist	intplfile	startindex	percent_modified_speed_samples
cotime	j	t1	plotmeas
date_	jj	t2	plots
datematrix		tend	pos
dateunique		tid	poshat
datsize		tidflag	posold
debugfile		timeshif	posold2
debugmode		timeshift	prc
denom1		timeshiftminus	prevconfirm
denom2		tlimtplus	prevrn
dif		tmp1	printHmat
direction		tmp2	pstart
distGPSspeed		tstart	qa
dist_errorGPSmatch		tunnel	qv
distcalcspeed		tunnelhead	qx
disterrVGPS		v	r1
disterrVKalman_a corr		vGPS	r2
disterrVcalc		vcalc	r2_Vcalc_vGPS
disterrVcalc_acor r		vcalc2	r2_vKalman_vGPS
distmeas		vdifflim	r2_vfilt_vGPS
dop		vex	r3
drift		vfilt	r4
driftKalman		vhat	rbr
ds		vint	rdist
dsize		vmax	resampds
dsizemin		vmin	resampdt
dsrat		vnext	resfile
dss		xhat	rsds
dss_tmp		xpred	rsdt
dt		xvar	
earthR		y	

Some main output variables

```
distmeas % Calculated distance bases on GPS coordinates
distGPSspeed % Calculated distance based on GPS speed (optional)
distcalcspeed % Calculated distance based on calculated speed
disterrVcalc % Difference in calc and meas dist (calc speed profile)
disterrVGPS % Difference in calc and meas dist (GPS speed profile)
r2_Vcalc_vGPS % r2-coeff calculated and measured speed
r2_vfilt_vGPS % r2-coeff filtered and measured speed
r2_vKalman_vGPS % r2-coeff Kalman-estimated and measured speed
disterrVcalc_acorr % Difference in calc and meas dist after acc-
smoothing
disterrVKalman_acorr % Difference in calc and meas dist
earthRcorr % Consider increase in mean earth radius
drift % This is mean relative drift in calc position vs GPS
driftKalman% Same for Kalman approach
MeandiffAccCalcKalman % Mean difference in calc and Kalman
filtered acc
```


31. Bilaga 4 – Example run in KTHArtemisRail v. 2.0

Start the execution by clicking on "Run" on the start page (Train_data).

Select the option "Specific Train on multiple routes", click OK.

SIMULATION OF ENERGY CONSUMPTION AND EMISSIONS FROM RAILWAY TRAFFIC

Parameter	Symbol	Value	Unit	Estimated default
Country		Sweden	SE	
Train Type		Freight		
Vehicle		Railcar		
Traction		Electric		
Year		2013		
Total weight		5000.0		
Weight of goods		1000		
Air resistance coeff.	c_a	3		
Rolling resistance coeff.	c_r	0,002		
Tractive eff.		60%		
Frontal area	Anorm	10		
Average Gradient	AvGrad	-		

Run

INPUT RUNNING DATA SELECTION

What kind of input running data is desired to calculate ?

One or all trains/one or more routes?

Specific Train, single route
 All Trains, all routes
 Specific Train on multiple routes

For train(s) running in

Country: Sweden

OK Cancel

Constants		Value	Unit
Density of air	ρ	1,23	kg/m ³
Constant of gravitation	g	9,82	m/s ²
Fuel average calorific value	h	42700,00	kJ/kg

Tunnel parameters		Value	Unit
Tunnel distance		-	km
Open space distance		-	km

Authors: Tiago Cordeiro, Erik Lindgreen, Spencer C. Sorenson
 February 2005
 Technical University of Denmark, Mechanical Engineering

February 2012: Adding a calculation module for the CI coefficient
 Version 1.0
 WSP Sweden and Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm
 Division of Rail Vehicles

Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems
 Project funded by the European Commission within The 5th Framework Research Program
 DG TREN Contract No. 1999-RD.10429

The work is funded by Swedish Transport Administration (project TRV 2010/33329) and Swedish Energy Agency (project 34061-1)

Train_data Running_data Input Output Amatrix Gmatrix Ematrix

Next a question appears and asks if the routes should be searched in the Freight or Passenger sheets. Select No as default when running freight trains.

Train routes

Train type by route is -freight- from previous run,
Wish to search Passenger routes instead?

Ja Nej

Next the multiple route dialog appears. Besides selecting type of train, year and traction type, the User may specify route(s) to run. The route definitions are imported from the predefined routes on the Traffic_freight or Traffic_passenger sheets.

Select up to 6 different routes to run sequentially .

SINGLE TRAIN AND MULTIPLE ROUTES

Train type
 Train type: Freight Year: 2013

Traction
 Electric Diesel

Basis for energy calculation ?
 Distance Time

Route selection

Sundsvall-Gävle OKB First link

Add optional links by selecting below. Empty choice will be ignored, order is not important.

Långsele-Sundsvall ÅDB 2nd link

3rd link

4th link

5th link

6th link

I need more than 6 links for my route...

OK Cancel

Click OK.

Next enter specific train data. Be aware that train weight and goods weight should be entered manually and default boxes checked-off. Otherwise default values are used, based on yearly averages.

By clicking the button “Calculate Cl.” the aerodynamic drag coefficient may be calculated and imported to the input box for Cl.

FREIGHT TRAIN DATA

Weight for each train (tons)

Weight of goods: 500 Default

Total Weight: 1000 Default

Average gradient

Gradient (m/100m): Default

Specific train data

Cr (*10E-3): 2 Default

Cl: 3 Default

Cl may also be calculated or imported*...
 Calculate Cl... Import Cl

NB - Importing Cl from the Amatrix sheet requires a precalculation of Cl which is done from within that sheet*.

Front area (m²): 10 Default

Tractive eff. (%): 60 Default

*Both calculation and import of Cl will automatically replace any value of Cl in the input box and remove any checkmark for the use of a default value.

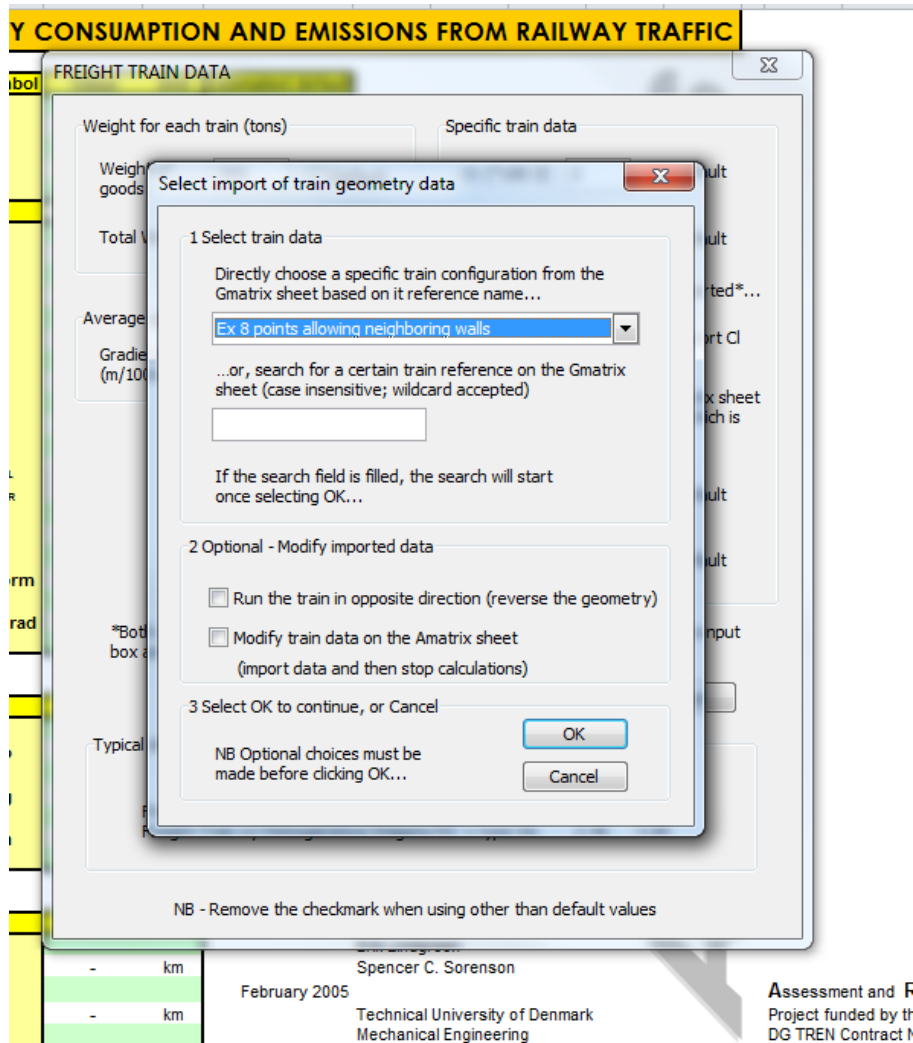
OK Cancel

Typical Air resistance Coefficients (Cl)

	Train Length	200 m	400 m
Freight Train w/ Non-Homogeneous Wagons		5.00	8.00
Freight Train w/ Homogeneous Wagons MZ + type Gls		2.46	3.98

NB - Remove the checkmark when using other than default values

The CI-calculation relies on an imported Train geometry (from the "G-matrix sheet"). Please select in the drop down list or search for a train geometry. N.B! train geometries must be pre-defined.



Click OK and the results of the calculated CI-coefficient is imported to the input box. The "default" choice is automatically un-checked.

32. Bilaga 5 – Example run of the Hmatrix-script

Define the input and output files in Hmatris.m:

<i>Variable</i>	<i>Example value</i>	<i>Description</i>
runfile1	= '/home/johan/Desktop/Radata110901.xlsx.csv';	Input file GPS from Gbg-Luleå
resfile	= '/home/johan/Desktop/Hmatris130524.output.csv';	Result file holding Hmatrixes
bandelsfile	= '/home/johan/Desktop/Bandelar1304.csv';	File with coordinates for pre-defined bandelar

Define main variables in Hmatris.m:

<i>Variable</i>	<i>Example value</i>	<i>Description</i>
sep	= ",";	Separator in CSV- input files
knotconvert	= true;	Input file holds speed in knots
vint	= [135 150];	Sets max value and step size for symmetric speed table
aint	= [0.9 1.0];	Sets max value and step size for symmetric acceleration table (+/-values)
alim	= 1.0;	Maximum allowed acceleration, m/s ² (lowest of this and aint is used)
vmax	= 150;	Maximum allowed speed kmh (lowest of this and vint is used)
errmax	= 0.2;	Error not considered, start/end bandel
erri	= 0.0003; (debug value)	Error invoking User interaction, start/end (increase to supress pop-ups). Use a value of 0.05 after debugging;
dsizemin	= 200;	Minimum no of samples in measurements to consider when searching track sections.

Define main variables in kalman.m:

<i>Variable</i>	<i>Example value</i>	<i>Description</i>
tlim	=2;	Max time step to consider (otherwise data are shifted)
sfreq	=2.5;	Sampling frequency (normal time step)
dsrat	=0.1;	Maximum ratio of step length/entire measurement length to consider (0-1). If less than 1, remaining part is ignored from the statistics, although printed to charts. A value of 1 considers all, a value of 0.1 ignores ratios larger than 0.1.

Open an Octave terminal and write “Hamtris” ->Enter. Then enter the run case, e.g. “31” for simplified run, ->Enter.

```

Terminal
File Edit View Search Terminal Help
Choose run case: (1- for blackbox essentials incl print Hmat, 2- is full debugging
and printing. 31- is simplified no printing and 32- is simplified incl printing
Enter numerical run case: (and enter): 31

```

If data already exists in the RAM-memory, enter 1 or 0 to use existing data or re-importing new data.

```

Terminal
File Edit View Search Terminal Help
Choose run case: (1- for blackbox essentials incl print Hmat, 2- is full debugging
and printing. 31- is simplified no printing and 32- is simplified incl printing
Enter numerical run case: (and enter): 31
Data already exists.
Runfile was /home/johan/Desktop/convDatalogg.txt
Use existing data? (yes=1/no=0):

```

Next You get a question if you want to search for track sections:

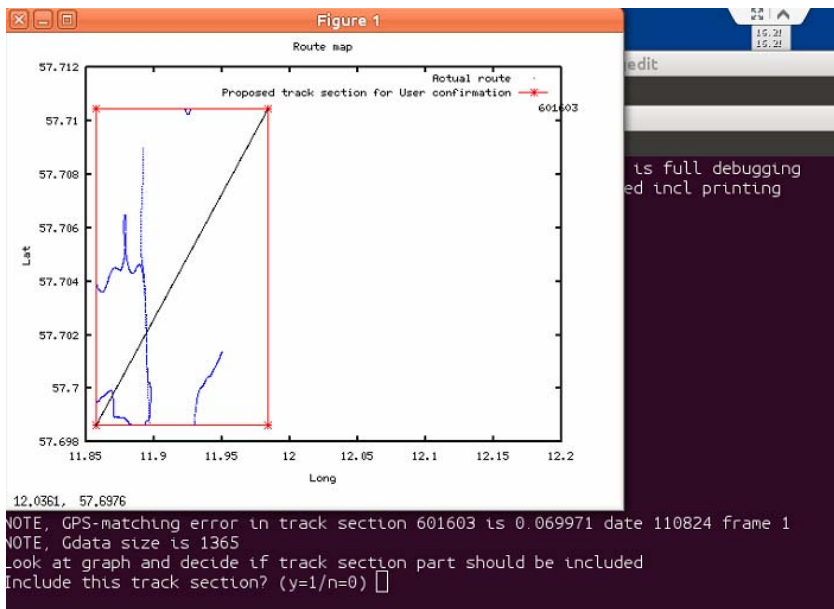
```

Terminal
File Edit View Search Terminal Help
Choose run case: (1- for blackbox essentials incl print Hmat, 2- is full debugging
and printing. 31- is simplified no printing and 32- is simplified incl printing
Enter numerical run case: (and enter): 31
Data already exists.
Runfile was /home/johan/Desktop/convDatalogg.txt
Use existing data? (yes=1/no=0):

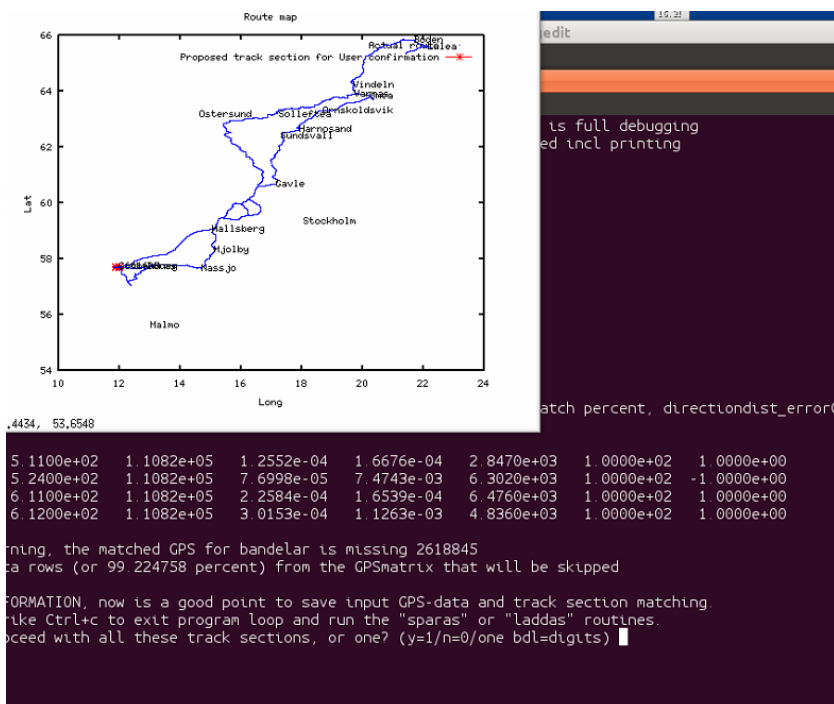
```

Enter “1” ->Enter two times.

Then follow the instructions, at every identified track section where fitting errors are larger than “erri” and smaller than “errmax” a diagram is drawn. Enter “1” or “0” to include or exclude the current track section. (The example shows a section that should be ignored).



After completing the search for track sections, a summary is printed and a map is drawn. Identified track sections are listed together with fitting errors, sample size etc.

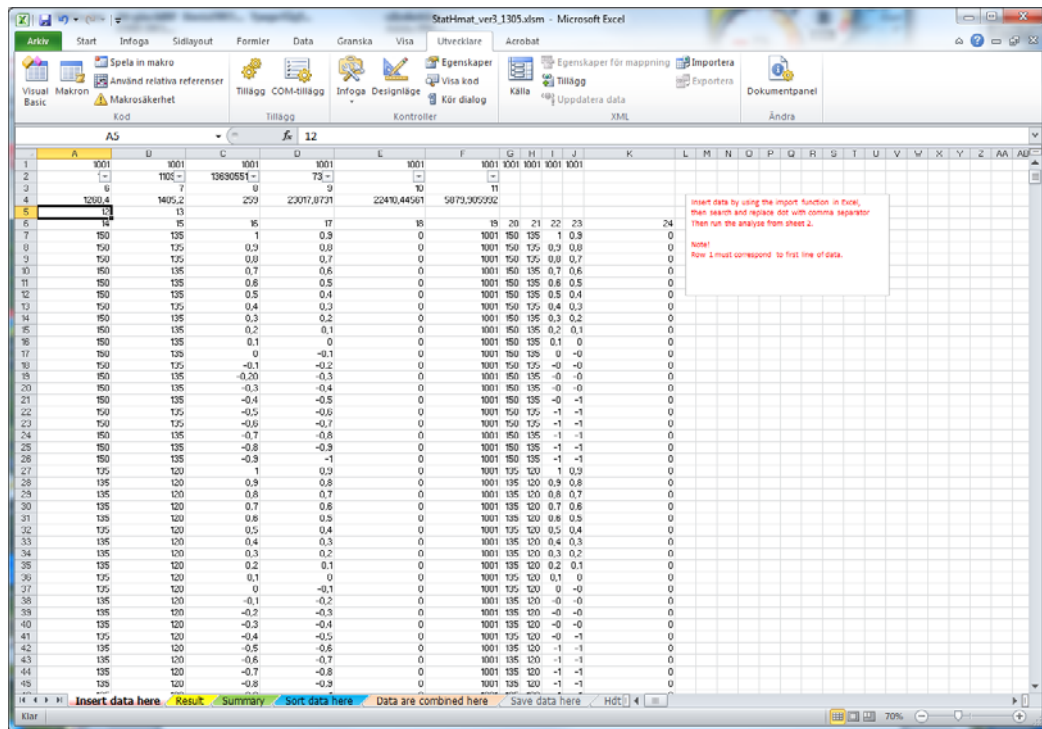


Proceed by enter "1" for all track sections, "0" for aborting and any other number corresponding to an identified track section in order to proceed with that particular track section. Press ->Enter.

Note. It is always possible to abort using "Ctrl+C"-command.

First look through the data, numerous charts are printed in the next step. Once You are ready for producing Hmatrices, re-run the Hmatris routine with the choice of printing to file ("resfile"). Data are always amended to existing data, so possibly create a new result file to split runs.

Next step is to open the output file “resfile” and copy the contents to the Excel workbook “StatHmat_ver3_1305.xlsx”.



Put data in the first sheet. (Search for dots and replace by commas if the current decimal separator is set to commas).

Go to the result sheet and click “Collect data and create charts”. This will produce a table summarizing the processed data. The Hmatrices for each track section and date are printed to the result-sheet.

A summary is produced in the “Summary” sheet. The macro “Produce median analysis (at bottom)” will create a median analysis of each Hmatrices for each track section and all dates.

This screenshot shows the 'Data are combined here' sheet in an Excel spreadsheet. The table contains various performance metrics for different train runs, including time, distance, and acceleration. A blue box with the text 'Importe data manuelt til KTHmat' is highlighted, with a red arrow pointing to it from the text 'Next sort data on the sorting sheet.' located below.

Next sort data on the sorting sheet. This will produce the actual Hmatrix for a specific date, combination of dates and/or track sections.

This screenshot shows the 'Sort data here' sheet. It contains a data table and three numbered instructions:

1. Click here to import data (copy from first sheet)
2. Then use the filter on track section(s)/dates
3. Then create Hmatrix clicking here

 Red arrows point from each instruction to the corresponding element in the spreadsheet. The table shows columns for 'Banel' and 'Date'.

The resulting Hmatrices are produced on the next sheet "Data are combined here". Copy this into KTH Artemis Rail and the Hmatrix sheet.

33. Bilaga 6 - Installera Octave för Windows

GNU Octave kan hämtas för Windows eller Linux på <http://octave.sourceforge.net/>

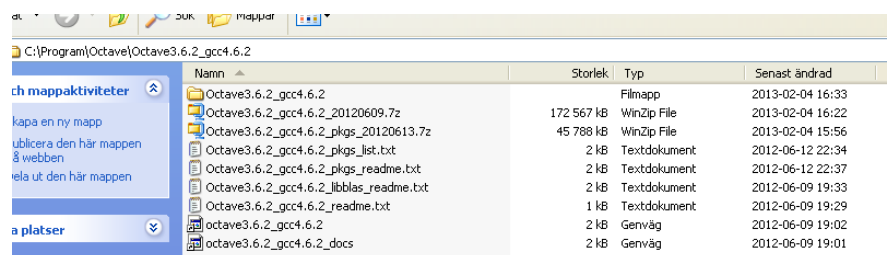
Klicka t.ex. på "Windows installer" och välj Octave 3.6.2 för MinGW installer.

<http://sourceforge.net/projects/octave/files/Octave%20Windows%20binaries/Octave%203.6.2%20for%20Windows%20MinGW%20installer/>

Name	Modified	Size	Downloads
Parent folder			
README	2012-06-13	7.9 kB	558
Octave3.6.2_gcc4.6.2_pkgs_20120613.7z	2012-06-13	46.9 MB	1 195
Octave3.6.2_gcc4.6.2_20120609.7z	2012-06-13	176.7 MB	2 414
Totals: 3 Items		223.6 MB	4 167

Figuren visar tre filer Du kan ladda ned. Den första är information, den andra är huvudfilerna för Octave. Den tredje är sk. Tilläggs paket (jämför Matlabs Toolboxes) som Du kan hämta en och en när som helst från sourceforge. Detta paket innehåller ett urval av toolboxes som är bra att ha i den första installationen.

1. Skapa en installationsmapp utan blanksteg i namnet, t.ex. "C:\Program\Octave\Octave3.6.2_gcc4.6.2".
2. Ladda hem den komprimerade filen med programmet Octave "Octave3.6.2_gcc4.6.2_20120609.7z" och spara den i ovan mapp.
3. Ladda hem den komprimerade filen med programtillägg "Octave3.6.2_gcc4.6.2_pkgs_20120613.7z" och spara den i ovan mapp.
4. Extrahera filerna ovan med Winzip / 7zip eller liknande gratisprogram i installationsmappen.



5. Om DU vill ha en genväg på skrivbordet eller liknande gör enligt steg 6-7 nedan.
6. Kopiera genvägen "octave3.6.2_gcc4.6.2." till skrivbordet (näst längst ned i figuren ovan). Öppna egenskaperna genom att högerklicka och ändra sökvägarna till: C:\Program\Octave\Octave3.6.2_gcc4.6.2\Octave3.6.2_gcc4.6.2\bin\octave.exe och om Du vill ha ikonen ska dess sökväg vara C:\Program\Octave\Octave3.6.2_gcc4.6.2\Octave3.6.2_gcc4.6.2\share\octave\3.6.2\imagelib\octave-logo.ico.
7. Kopiera genvägen "octave3.6.2_gcc4.6.2_docs" till skrivbordet (längst ned i figuren ovan). Öppna egenskaperna genom att högerklicka och ändra sökvägarna till:

C:\Program\Octave\Octave3.6.2_gcc4.6.2\Octave3.6.2_gcc4.6.2\doc\octave och samma sökväg till ikonerna som ovan.

8. Starta Octave genom att dubbelklicka på ikonerna.
9. Skriv följande i terminalen och slå enter däremellan:
pkg rebuild -auto
pkg rebuild -noauto ad windows
pkg rebuild -noauto nan % shadows many statistics functions
pkg rebuild -noauto gsl % shadows some core functions
pkg rebuild -auto java

Eventuellt kan Du nu installera Notepad++ (en bra textredigerare för kod) <http://notepad-plus-plus.org/>.