

Marginalkostnad av tågbuller

v1.9

Mikael Ögren

Jan-Erik Swärdh

20 september 2011

1 Inledning

En del i projektet Jäsmage är att bestämma marginalkostnaden för buller från olika typer av järnvägsfordon. Arbetet är uppdelat i två delar; att bestämma hur stor samhällskostnad en förändring i bullernivå innebär och att utgående från denna värdering beräkna vad kostnaden blir för en extra marginell fordonspassage vid olika sträckor. Denna rapport behandlar den andra delen. Arbetet inleddes under 2009 och kommer dels att rapporteras i december 2010, dels resultera i en artikel som är klar för vetenskaplig granskning under början på 2011.

Beräkningarna består i princip av två steg: (1) att beräkna antalet exponerade vid olika dygnsekvivalent bullernivå för olika delsträckor och (2) att beräkna hur mycket ett marginellt tågsätt av olika typer ökar exponeringen vid respektive sträcka; vilket tillsammans med värderingen från den hedoniska prisstudien leder till en marginalkostnad per km utmed sträckan. Beräkningsflödet illustreras i figur 1, där de båda stegen är markerade.

Som indata krävs i första steget dels befolkningsdata och dels information om järnvägen i form av geografiska data och trafikuppgifter. Dessutom tillkommer en förenklad modell för hur mycket buller man kan förvänta sig på olika avstånd från järnvägen givet en viss trafikmängd. I andra steget behövs individuella bullerdata från de olika fordonstyper som är aktuella vilka hämtas från den nordiska beräkningsmetoden för buller från spårburen trafik (Ringheim, 1996), samt värderingen som hämtas från den hedoniska prisstudien. Mer detaljer kring indata presenteras under respektive rubrik nedan.

2 Steg 1, exponering

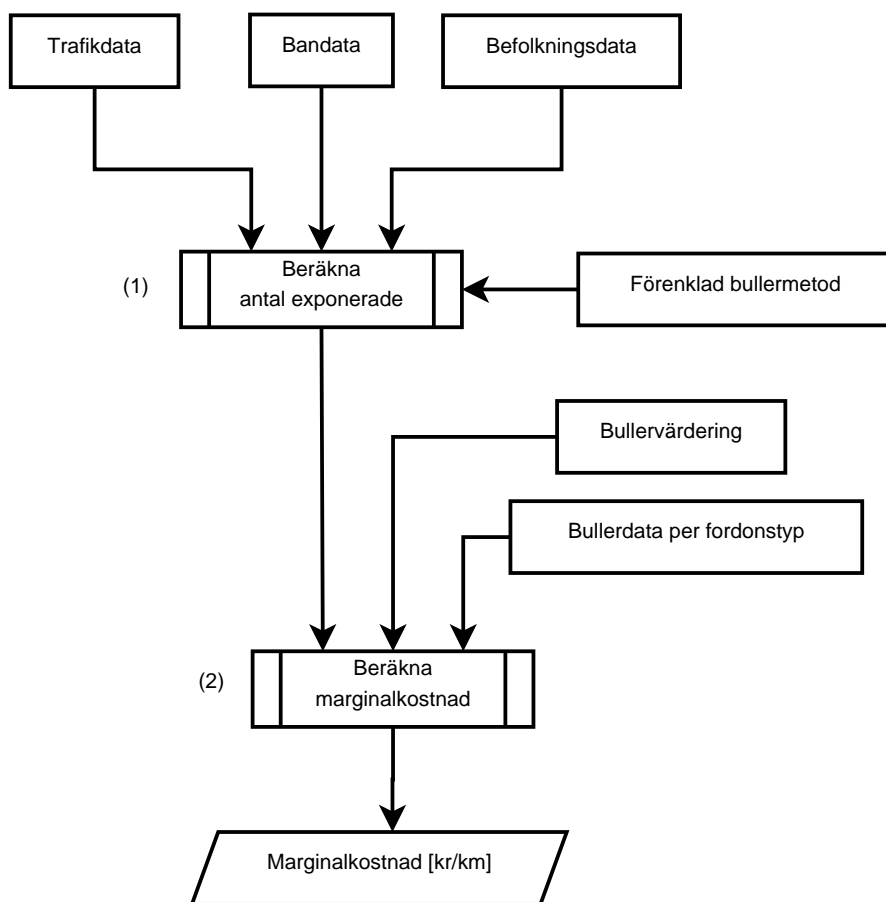
För att beräkna exponeringen över hela Sverige användes i princip tre olika datamängder, se tabell 1. Av dessa var befolkningsdata den datamängd som krävde minst förbearbetning för att kunna användas vid beräkningarna. Bandata behövdes justeras på en mängd olika sätt, framförallt i de fall när det inte stämde överens med trafikdata. Manuella justeringar gjordes också för de viktigaste tunnlarna (de i tätbefolkade områden) för att undvika att boende ovanför tunnlarna skulle räknas som om de bodde mycket nära järnvägen.

Trafikuppgifterna fick också i någon mån justeras manuellt, framförallt för att ta bort planerade trafikplatser som ej är i bruk ännu och trafikplatser där ingen trafik passerar. VTI erhöll trafikuppgifter för 2007, 2008 och 2009, men för beräkningar av marginalkostnad per km användes endast uppgifterna för 2008. Metoden är dock relativt okänslig för förändringar i total trafikvolym.

I den vidare analysen användes sträckan mellan två trafikplatser som minsta enhet. Ett flertal av dessa lades ihop för att bilda en bandel, och flera bandelar tillsammans utgör ett stråk. Vid denna klassificering uppstod en del problem, eftersom bandelar inte alltid möts vid trafikplatser. Detta åtgärdades genom att

Tabell 1: Indata till steg 1, översikt.

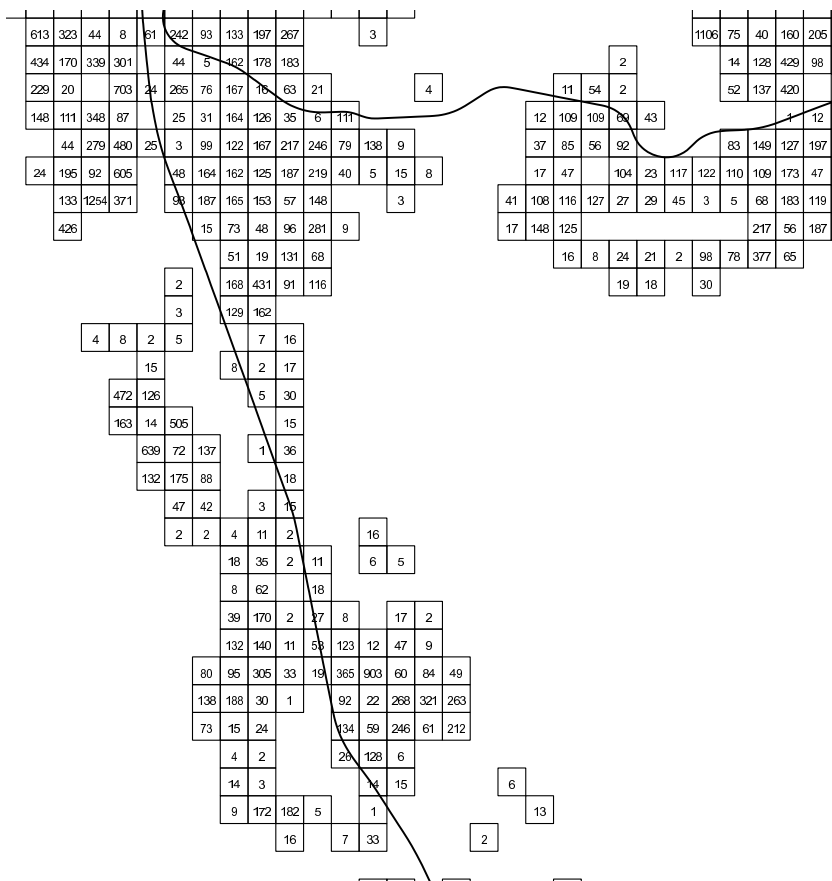
Typ	Översikt
Befolkningsdata	Totalbefolkning från SCB, 2009-12-31, 250 m ruta
Bandata	Trafikverket GIS, ca 25 m upplösning
Trafikdata	Trafikverket, data vid alla trafikplatser



Figur 1: Skiss av beräkningsflöde.

manuellt anpassa data så att sträckor som till största delen bestod av en viss bandel blev klassificerade som just den bandelen.

Av alla så kallade borutor med 250 m sida valdes den delmängd ut där någon del av rutan var närmare spåret än 1 km, vilket omfattar totalt 21% av borutorna (47% av befolkningen). Egentligen är inte den officiella beräkningsmetoden för buller giltig till så långa avstånd¹, men det vore orimligt att bara ta med avstånd upp till 300 m. Ett exempel med utvalda borutor och antal boende i närheten av järnvägen ges i figur 2.



Figur 2: Utvalda befolkningsdata i kvadrater med 250 m sida och järnvägens sträckning.

För att kunna beräkna hur många personer som är exponerade gjordes en förenklad beräkningsmetod baserad på ett stort antal bullerberäkningar som gjorts inom forskningsprojektet TVANE (Öhrström et al., 2010). Dessa omfattar ett antal områden med varierande topografi, trafik och bebyggelse, dock ingår inget innerstadsområde från Stockholm, Göteborg eller Malmö. Detaljerna kring den förenklade modellen presenteras i den vetenskapliga artikel som är under arbete. Anledningen till att en förenklad metod var nödvändig är att indata som krävs för den fullständiga metoden är omöjliga att få fram i lämplig form. Då krävs alla byggnader och bullerskärmar med höjder, höjdinformation för både bana och omkringliggande topografi, exakt placering av alla lägenheter och villor osv för hela Sverige.

Det slutliga resultatet blir att i hela Sverige är ca 124 000 personer utsatta för dygnsekvivalenta bullernivåer utomhus på 55 dB eller mer från tågtrafik. Denna uppgift kan jämföras med den senaste inventeringen som gjorts på uppdrag av Naturvårdsverket (Simonsson, 2009), där siffran blir 225 000 personer. Underskattningen beror i första hand på att den förenklade bullermodellen ej på ett korrekt sätt tar hänsyn till tät stadsbebyggelse samt på förenklingen att de boende är jämt fördelade över rutor med 250 m sida när de i verkligheten kan vara koncentrerade till en mindre del av befolkningsrutan.

¹Metoden är avsedd att beräkna nivån där den är som högst för att jämföra emot riktvärden, och har sämre noggrannhet vid låga bullernivåer. I metoden anges ett längsta avstånd av 300 m.

3 Steg 2, marginalkostnad

För att beräkna marginalkostnaden en viss fordonstyp förorsakar utmed en viss sträcka användes huvudsakligen metoden från Andersson and Ögren (2007). Grundbulten i metoden är ökningen i dygnsekvivalent bullernivå ΔL en extra tågpassage förorsakar (som oftast är mycket liten); denna beräknas med den officiella Nordiska metoden (Ringheim, 1996). Observera att detta förutsätter att fordonet är en typisk representant för sin klass, och framförallt inom godståg är variationerna i verkligheten mycket stora. Även persontåg som utåt sätt är identiska kan ge mycket olika bullernivå, oftast beroende på skillnader i hjulunderhåll.

Efter beräkningen av antalet exponerade för olika nivåer och det marginella akustiska bidraget ΔL återstår att ta hänsyn till marginalkostnadsfunktionen $c(L)$ som anger samhällskostnaden per person och år för en förändring av 1 dB. Denna får vi från den hedoniska prisstudien, och den kan uttryckas som

$$c(L) = 1501 - 57.94(75 - L), \quad (1)$$

där L är den dygnsekvivalenta nivån i dB. Om $c(L)$ blir negativ sätts den till 0. Formeln för att beräkna marginalkostnaden T blir då

$$T = \frac{1}{l} \sum c(L)N(L)\Delta L, \quad (2)$$

där summeringen sker över alla exponerade utmed sträckan som skall analyseras. Slutligen måste man justera för längden på sträckan l för att få kostnad per km.

Slutresultatet presenteras uppdelat per stråk i tabell 2. Beräkningen är genomförd för tre fordon som representerar spridningen från bullrigaste till tystaste, ett 500 m långt godståg med Rc-lok, en typisk 165 m lång X2 och ett 106 m långt pendeltåg X60.

Beräkningarna kan justeras för de tågtyper som finns med i modellen med hjälp av omräkningsfaktorerna i tabell 3. För alla tågtyper är längden en avgörande parameter i den Nordiska metoden eftersom tågen ger en viss utstrålad ljudeffekt per meter, ett hälften så långt tåg som i exemplen ger följaktligen hälften av marginalkostnaden. För att justera marginalkostnaden för annan tågtyp, längd och hastighet än de i tabell 2 beräknas den som

$$T = \frac{lbT_{ref}}{500}, \quad (3)$$

där T_{ref} är marginalkostnaden för stråket med referenståget (godståg 500 m i 90 km/h) från tabell 2, b är korrektionsfaktorn från tabell 3 beroende av tågtyp och hastighet och l tågets längd i meter. Notera att för stråk 59 och 89 är STH lägre än 90 km/h, varför referenstågets hastighet är lägre. Om man justerar enligt ekvation 3 för dessa båda sträckor överskattas kostnaden med ca 10%.

Trafiken anges som antalet tågpassager per dygn medelvärdesbildat över de bandelar som ingår i stråket. Det estimerade antalet exponerade över 55 dB dygnsekvivalent nivå anges som ett grovt mått på bullerexponeringens omfattning utmed respektive stråk, där data saknas är det uppskattade antalet mindre än 10 personer.

Tabell 2: Beräknad marginalkostnad per stråk, kronor per km.

Stråk	Längd km	Trafik /24h	Max STH km/h	Expon. ≥ 55dB	Godst. SEK/km	X2 SEK/km	X60 SEK/km
1	490.4	127	230	18216	7.0871	1.6887	0.1972
2	587.2	118	200	24705	7.1618	1.6745	0.2138
3	287.4	74	200	5968	7.7431	1.7137	0.2075
4	403.2	24	170	941	3.9279	0.4429	0.0678
5	394.7	118	200	15646	8.2254	1.5718	0.2261
6	261.9	30	170	1179	3.8698	0.4833	0.0753
7	701.9	33	143	2603	1.5153	0.1302	0.0203
8	344.5	47	200	2374	2.2168	0.3467	0.0545
9	301.6	55	140	7840	4.9280	0.4831	0.0755
10	418.3	28	120	2883	3.5241	0.2887	0.0449
11	295.0	32	200	1596	3.3234	0.5414	0.0833
12	210.4	43	190	3335	6.0051	1.0723	0.1661
13	119.8	60	160	1518	7.1417	0.7994	0.1254
14	116.1	45	160	1542	9.0762	1.0554	0.1658
15	133.2	20	160	44	2.0398	0.1801	0.0281
16	214.3	83	200	6383	10.5219	2.1485	0.2647
17	118.8	35	200	961	5.6147	1.2045	0.1579
18	157.2	23	140	557	3.2478	0.2603	0.0406
19	55.1	92	140	2272	28.0108	3.1476	0.4926
20	331.0	16	160	170	1.3996	0.1230	0.0192
21	444.7	20	135	141	0.2459	0.0131	0.0020
22	21.3	387	120	11221	107.2048	7.6319	1.1861
23	35.2	99	150	2940	25.1885	1.7733	0.2790
24	25.9	171	150	6352	42.8158	4.3164	0.6746
26	99.8	16	140	753	6.7231	0.6725	0.1055
27	15.3	24	40	-	3.0137	0.0378	0.0070
28	181.6	0	200	-	0.0000	0.0000	0.0000
29	160.7	3	90	-	0.1329	0.0061	0.0009
30	23.6	185	180	-	0.0000	0.0000	0.0000
31	194.4	2	130	-	0.5495	0.0267	0.0040
32	48.7	31	140	78	2.6934	0.3966	0.0625
33	63.2	15	130	222	4.0062	0.3375	0.0524
34	14.1	3	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
41	46.8	1	40	-	0.0009	0.0000	0.0000
42	57.4	11	90	133	2.4015	0.1264	0.0195
43	15.3	3	80	26	7.4575	0.3306	0.0509
44	166.5	2	60	-	0.2417	0.0053	0.0008
45	65.3	7	90	105	3.9718	0.1902	0.0294
46	120.9	2	70	-	0.0831	0.0018	0.0003
47	28.9	3	60	-	0.8352	0.0170	0.0027
48	6.1	3	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
49	31.3	0	30	-	0.0000	0.0000	0.0000
50	85.9	0	10	-	0.0000	0.0000	0.0000
51	6.9	1	40	-	0.0201	0.0000	0.0000
52	13.0	3	10	-	0.0000	0.0000	0.0000
53	133.6	9	100	18	0.5422	0.0273	0.0042
54	48.4	7	40	-	0.0001	0.0000	0.0000
55	54.7	2	60	-	0.3545	0.0052	0.0009
56	6.2	0	30	-	0.0000	0.0000	0.0000
57	7.5	0	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
59	1.9	173	40	-	4.4838	0.0498	0.0093
61	18.7	0	40	-	0.0187	0.0002	0.0000

Tabell 2: Beräknad marginalkostnad per stråk, kronor per km.

Stråk	Längd km	Trafik /24h	Max STH km/h	Expon. ≥ 55dB	Godst. SEK/km	X2 SEK/km	X60 SEK/km
62	9.5	0	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
63	110.1	22	140	63	1.2615	0.1428	0.0224
64	22.8	3	40	-	0.2273	0.0025	0.0005
65	284.7	12	111	-	0.3663	0.0133	0.0020
66	95.6	11	103	-	0.5869	0.0251	0.0038
68	20.5	2	45	-	0.2949	0.0002	0.0000
69	56.2	4	81	-	0.2184	0.0054	0.0008
70	82.2	12	80	-	0.1251	0.0011	0.0002
71	38.2	2	80	-	0.0000	0.0000	0.0000
72	34.9	2	40	-	0.0002	0.0000	0.0000
73	176.1	15	140	190	2.9382	0.3111	0.0486
74	14.8	1	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
75	121.1	13	90	-	0.3359	0.0082	0.0012
77	84.3	16	110	-	1.4550	0.0719	0.0109
78	43.9	0	46	-	0.0000	0.0000	0.0000
79	2.1	1	80	-	5.9402	0.0908	0.0134
80	83.4	10	95	-	0.6622	0.0270	0.0041
81	73.6	8	100	-	1.0611	0.0467	0.0071
82	45.0	0	40	-	0.0006	0.0000	0.0000
83	34.1	20	70	-	1.5603	0.0339	0.0052
84	204.0	11	120	18	0.7418	0.0352	0.0054
85	42.7	0	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
86	14.8	1	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
87	13.9	1	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
88	128.0	34	160	229	4.6644	0.5619	0.0882
89	42.2	5	20	-	0.2257	0.0012	0.0004
90	101.2	44	160	590	5.7267	0.9367	0.1486
92	19.2	1	25	-	0.0000	0.0000	0.0000
93	14.6	1	40	-	0.0000	0.0000	0.0000
94	15.0	0	10	-	0.0000	0.0000	0.0000
96	8.4	0	30	-	0.0000	0.0000	0.0000
97	17.0	0	10	-	0.0000	0.0000	0.0000
98	10.8	164	200	-	0.0000	0.0000	0.0000
99	1094.2	0	95	-	0.0051	0.0000	0.0000
Alla	11344.7	45	-	123831	3.4610	0.5241	0.0726

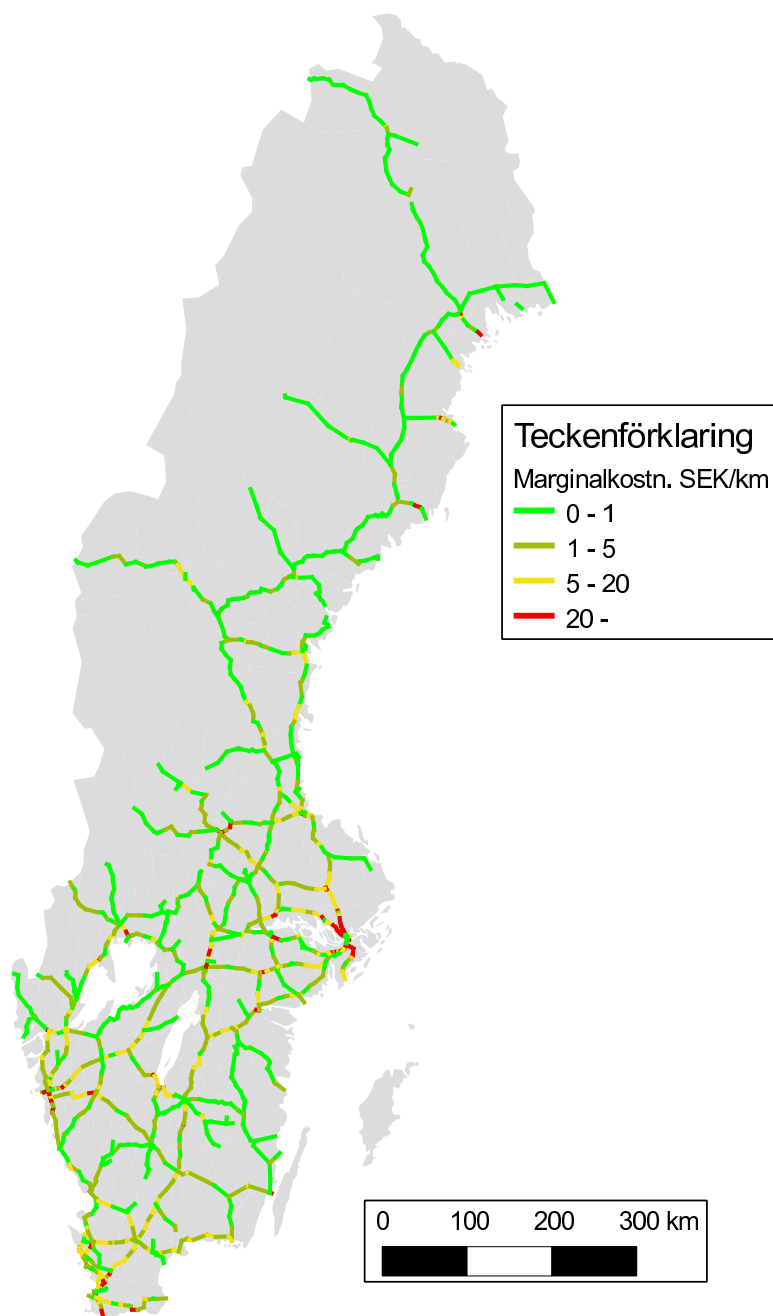
Tabell 3: Omräkningsfaktor för tågtyp. Referenståget är ett 500 m långt godståg draget av Rc-lok i 90 km/h (1.0).

Tågtyp	Längd [m]	Hastighet [km/h]								
		30	50	70	90	120	140	160	180	200
X60	107	0.001	0.003	0.005	0.009	0.017	0.026	0.037		
Y31	39	0.001	0.002	0.003	0.006	0.011	0.015			
X50-54	54	0.002	0.004	0.008	0.014	0.029	0.045	0.067	0.096	0.134
X31	79	0.003	0.007	0.014	0.024	0.046	0.066	0.092	0.123	
X2	165	0.006	0.016	0.032	0.056	0.112	0.164	0.230	0.311	0.410
X40	75	0.003	0.007	0.015	0.026	0.051	0.074	0.104	0.142	0.186
X10-14	50	0.004	0.008	0.015	0.025	0.047	0.066	0.089		
Rc Pass	230	0.213	0.268	0.342	0.425	0.564	0.664	0.769		
Gods El	500	0.581	0.747	0.883	1.000					
Gods Di	500	0.174	0.296	0.477	0.707					

I figur 3 illustreras marginalkostnaden för godståget i exemplet ovan men ej medelvärdesbildat över varje stråk. Notera att de röda områdena är koncentrerade till tätbefolkade platser, med några undantag som beror på väldigt låg trafik vilket medför hög marginalkostnad för ny trafik. Man kan också ana att det finns stor potential att reducera marginalkostnaden för godstrafiken genom att undvika att köra igenom de mest tätbefolkade områdena.

De extremt höga värdena i Göteborg, Stockholm och Malmöområdet är förmodligen överskattade till följd av den förenklade bullermetoden, men det finns goda data från dessa platser i och med inrapporteringen till EU av bullersituationen 2007. Dessa data behöver bearbetas för att kunna användas ihop med övriga beräkningar i projektet, men planeras ingå i den vetenskapliga publiceringen av projektet.

Figur 3: Illustration av beräknad marginalkostnad för ett 500 m långt godståg.



Referenser

- Andersson, H. and M. Ögren: 2007, 'Noise charges in railway infrastructure: A pricing schedule based on the marginal cost principle'. *Transport Policy* **14**(3), 204–213.
- Öhrström, E., A. Gidlöf-Gunnarsson, M. Ögren, and T. Jerson: 2010, 'Effekter av buller och vibrationer från tågtrafik'. Rapport 4:2010, Occupational and Environmental Medicine, University of Gothenburg.
- Ringheim, M.: 1996, 'Railway Traffic Noise – Nordic Prediction Method'. TemaNord 1996:524, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark. ISBN 92-9120-837-X.
- Simonsson, B.: 2009, 'Uppskattning av antalet exponerade för väg, tåg- och flygtrafikbuller överstigande ekvivalent ljudnivå 55 dBA'. Report, WSP, Stockholm, Sweden.