

Effekt på PM10 av en bullerskärm i anslutning till GC-väg Tvärförbindelse Södertörn

Förenklad beräkning baserad på mätningar och beräkningar
rapporterade i vetenskaplig litteratur

Christer Johansson och Boel Lövenheim

Utfört på uppdrag av Trafikverket

SLB 29:2020



Uppdragsnummer	2020087
Daterad	2020-08-14
Handläggare	Christer Johansson, 0761228931
Status	Granskad av Michael Norman

Förord

Denna utredning har genomförts av Christer Johansson och Boel Lövenheim vid SLB-analys, Miljöförvaltningen, Stockholm. Den är beställd av Marie Westin vid Trafikverket. Underlaget för konsekvensanalyserna i utredningen är beräkningar av PM10 halter utförda av SLB på uppdrag av Tyréns AB (SLB-rapport nr 10:2019).

Innehåll

Sammanfattning	7
Bakgrund och syfte	7
Litteraturstudie	7
Potentiella effekter av bullerskärm.....	7
Beräknad effekt av bullerskärm vid Vårby backe	7
Bullerskärm vid trafikplats Gömmaren – exempel på alltför komplicerad plats.....	8
Bakgrund och syfte	9
Beskrivning av problembilden.....	10
Litteraturstudie	12
Sammanfattning av tidigare studier	20
Slutsatser	21
Förenklad modell	22
Beräkningar för E4/E20	24
Vårby backe	24
Trafikplats Gömmaren	28
Referenser	30

Sammanfattning

Bakgrund och syfte

Luftkvalitetsberäkningar med en utbyggd Tvärförbindelse Södertörn visar att delar av befintligt och planerat gång- och cykelstråk (GC-vägar) ligger inom områden med risk för överskridande av norm för PM10 samt risk för att miljömålet för PM10 inte uppnås (SLB, 2019).

Syftet med denna utredning är att belysa vilken potentiell effekt bullerskärmar skulle kunna ha för att minska PM10 halterna längs en del av GC vägarna i anslutning till Tvärförbindelsen. Utredningen bygger på tidigare vetenskapliga studier där man mätt och beräknat halterna på olika avstånd från bullerplank (av olika höjd) längs hårt trafikerade leder. Effekterna på halterna på olika avstånd och med en olika hög bullerskärm har beräknats med hjälp av en förenklad modell. Halterna med/utan plank jämförs med miljökvalitetsnormer och miljömål.

Litteraturstudie

Tidigare studier baserat på mätningar och/eller modellberäkningar visar entydigt att haltbidragen från den lokala trafiken är väsentligt lägre bakom bullerskärmar som placerats längs hårt trafikerade motorvägar.

De viktigaste slutsatserna är att

- Mätningar visar på 15 % - 50 % lägre halter omedelbart bakom skärmen vid nära vinkelrät vind.
- Effekter av en bullerskärm har noterats på avstånd upp till 50 gånger skärmens höjd.
- Skärm i kombination med vegetation kan minska halterna ytterligare.
- T-formad skärm kan vara effektivare än rektangulär.

Potentiella effekter av bullerskärm

Beräkningarna av effekten av en skärm utgår från halterna som beräknats utan skärm i utredningen av SLB-analys (SLB, 2019). Halterna beräknades på olika avstånd längs ett tvärsnitt vinkelrätt i förhållande till E4/E20. Dels beräknades årsmedelvärde av bidraget till PM10 halterna från utsläppet längs E4/E20, dels de totala halterna avseende 36:e högsta dygnsmedelvärde.

Två olika tvärsnitt valdes ut, dels i anslutning till Vårby backe, dels vid Trafikplats Gömmaren. På båda platserna visar beräkningar utan skärm att normen och målet för PM10 mätt som dygnsmedelvärde överskrids. Platserna är mycket olika med avseende på komplexitet i topografi och trafikförhållanden.

Beräknad effekt av bullerskärm vid Vårby backe

På denna plats planeras fin ingen bullerskärm, men här är området runt E4/E20 förhållandevis okomplicerat, till exempel finns det inga förhöjda vägramper eller annat som skulle komplicera beräkningarna. GC-vägen ligger knappt 15 meter från vägkanten i tvärsnittet och den är något förhöjd i förhållande till vägbanan (ca 3,2 meter). Överskridandena beräknas inträffa inom ett område upp till ca 100 meter från vägmitt, vilket innefattar vissa sträckor av den planerade GC-vägen. Miljömålet överskrids upp till 200 meter från vägmitt.

När man bara tar hänsyn till bidraget från trafikens utsläpp längs E4/E20 minskar halterna (årsmedelvärden) med knappt 25 % respektive 33 % med en 5 respektive 8 m hög skärm jämfört med utan skärm.

Tidigare beräkningar visar att den totala PM10 halten (36:e högsta dygnsmedelvärdet) vid GC-vägen tangerar miljökvalitetsnormen ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Den relativa minskningen av de totala halterna blir inte lika stor som för bidraget från den lokala trafiken på E4/E20, vilket beror på att en stor del av den totala halten härrör från andra källors haltbidrag till PM10. **Med en 5 eller 8 meter hög skärm skulle normen klaras. Men inte miljömålet ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). De totala halterna minskar med ca 18 % respektive 22 % vid GC-vägen med en 5 respektive 8 meter hög skärm.**

Bullerskärm vid trafikplats Gömmaren – exempel på alltför komplicerad plats

Tidigare beräkningar av PM10 halterna i anslutning till tvärsnittet vid trafikplats Gömmaren visar att halterna överskrider norm och mål. I detta fall kan inte den förenklade beräkningsmodellen användas och det är inte troligt att en bullerskärm skulle ha någon större effekt på halterna längs GC-vägen på grund av att den vertikala luftomblandningen är starkt påverkad av topografin och sannolikt även av turbulens orsakad av ramperna. Mer avancerade CFD beräkningar skulle behövas för att se hur mycket en bullerskärm skulle kunna bidra till lägre halter.

Bakgrund och syfte

Tvärförbindelse Södertörn planeras mellan E4/E20 vid Vårby backe via Flemingsberg till Nynäsvägen (väg 73) vid trafikplats Slätmosen och utgör den nya sträckningen på väg 259 (Figur 1). Vägen ska även inkludera gång- och cykelvägar. Sträckan innehåller förutom ytvägar tre tunnlar; Masmotunneln ca 0,8 km lång, Glömstatunneln ca 1,1 km och Flemingsbergstunneln ca 3,1 km lång. I SLB-rapporten ”Luftkvalitetsutredning för Tvärförbindelse Södertörn - Spridningsberäkningar för halter av partiklar (PM10) och kvävedioxid (NO₂) år 2045”, SLB 10:2019) presenteras beräkningar för tre alternativ; nuläge år 2015 samt noll- och utbyggnadsalternativ år 2045. Resultaten visar att beräknade halter riskerar överskrida miljökvalitetsnormen och de nationella miljömålen för partiklar PM10. Beräkningarna har inte tagit hänsyn till effekten av bullerskärmar.

Syftet med denna utredning är att belysa vilken potentiell effekt bullerskärmar skulle kunna ha för att minska PM10 halterna längs en del av GC vägarna i anslutning till Tvärförbindelsen.

Utredningen bygger på tidigare vetenskapliga studier där man mätt och beräknat halterna på olika avstånd från bullerplank (av olika höjd) längs hårt trafikerade leder. Dels mätningar i fält längs verkliga trafikleder i olika länder, dels mätningar i sk vindtunnlar i laboratorium där man kontrollerat för bl a vindhastighet. Mätresultaten har använts för att validera olika beräkningsmodeller. För att få en uppfattning om osäkerheterna testas några olika beräkningsmetoder.

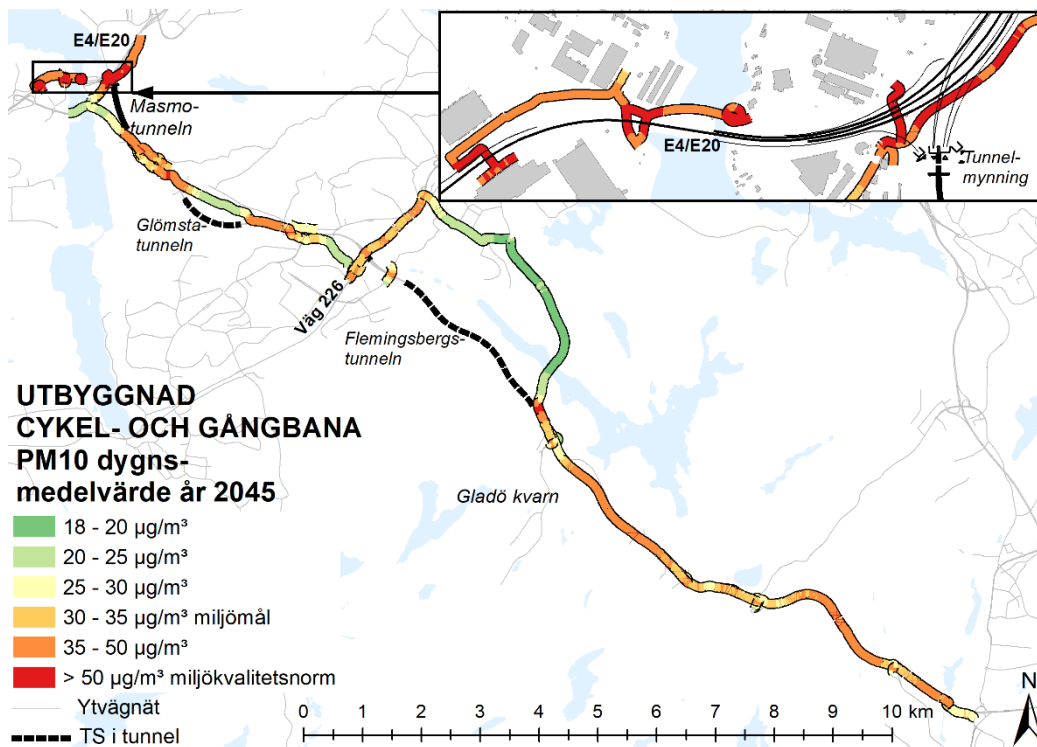
I samråd med trafikverket väljs en vägsträcka där GC vägen går nära och där PM10 halterna beräknas vara höga. Med hjälp av samband från litteraturen beräknas haltförändringen på olika avstånd från vägen med ett plank av olika höjd. Halterna med/utan plank relateras till miljökvalitetsnormer och mål.

Osäkerheter och antaganden diskuteras. Dessutom diskuteras ytterligare utredningsbehov och hur eventuellt kommande forskningsprojekt (”Bullerskärmar som åtgärd mot höga halter av luftföroreningar”) kommer att kunna förbättra och säkerställa beslutsunderlaget.

Beskrivning av problembilden

I rapporten SLB 10:2019 redovisas halterna längs planerade gång- och cykelbanor i anslutning till Tvärförbindelsen. Av de ca 31 km befintlig/planerad gång- och cykelbana finns risk för överskridande av miljökvalitetsnormen för PM10 dygnsmedelvärde på ca 1,8 km, främst intill E4/E20. Miljömålet för PM10 årsmedelvärde riskerar att inte uppnås på ca 22 km.

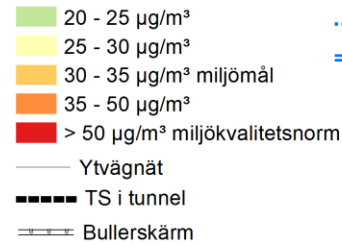
Beräkningarna har dock inte tagit hänsyn till om GC-vägen går på bro över bilvägen eller i tunnel under bilvägen. Halterna på dessa ställen kan därför vara överskattade. Beräkningarna tar inte heller hänsyn till de planerade bullerskärmarnas eventuella effekt på halterna. En GC-väg där bullerskärmen är placerad mellan bilvägen och GC-vägen (bilväg – skärm – GC-väg) kan ha bättre luftkvalitet än vad Figur 1 visar. En GC-väg där skärmen är placerad bortanför GC-vägen (bilväg – GC-väg – skärm) kan ha högre halter luftföroreningar då skärmen försämrar utvädringen av föroreningar på GC-vägen.



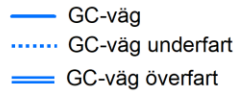
Figur 1. Beräknad dygnsmedelhalt av partiklar, PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) under det 36:e värsta dygnet vid planerade/befintliga gång- och cykelbanor i utbyggnadsalternativ år 2045. Överskrider halten 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ överskrider miljökvalitetsnormen. Är halten högre än 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ uppnås inte miljömålet. Beräkningarna tar inte hänsyn till de planerade bullerskärmarnas effekt på halterna. Från SLB 10:2019.

Figur 2 visar PM10 halterna i anslutning till GC vägarna intill E4/E20 utan hänsyn till effekter av bullerskärmar.

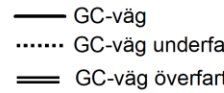
UTBYGGNAD PM10 dygns- medelvärde år 2045



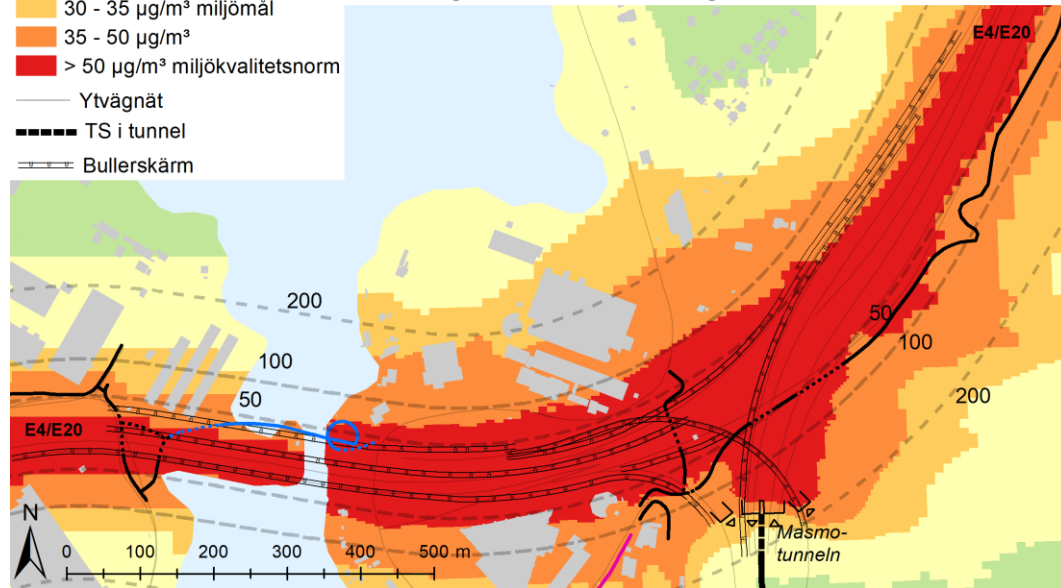
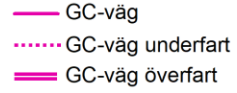
GC-väg ny/ombyggd
som ingår i vägplanen



GC-väg befintlig som
delvis rustas upp i sam-
verkan med kommun



GC-väg ny/ombyggd i
samverkan med kommun



Figur 2. Beräknade dygnsmedelhalter av partiklar, PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) under det 36:e värsta dygnet i utbyggnadsalternativ år 2045 visas som halvfält. Överskrider halten 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ överskrider miljökvalitetsnormen. Är halten högre än 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ uppnås inte miljömålet. Streckade linjer visar avstånd från Tvärförbindelsen för 50, 100 och 200 meter. Gråa ytor motsvarar befintlig bebyggelse. Från SLB 10:2019.

Litteraturstudie

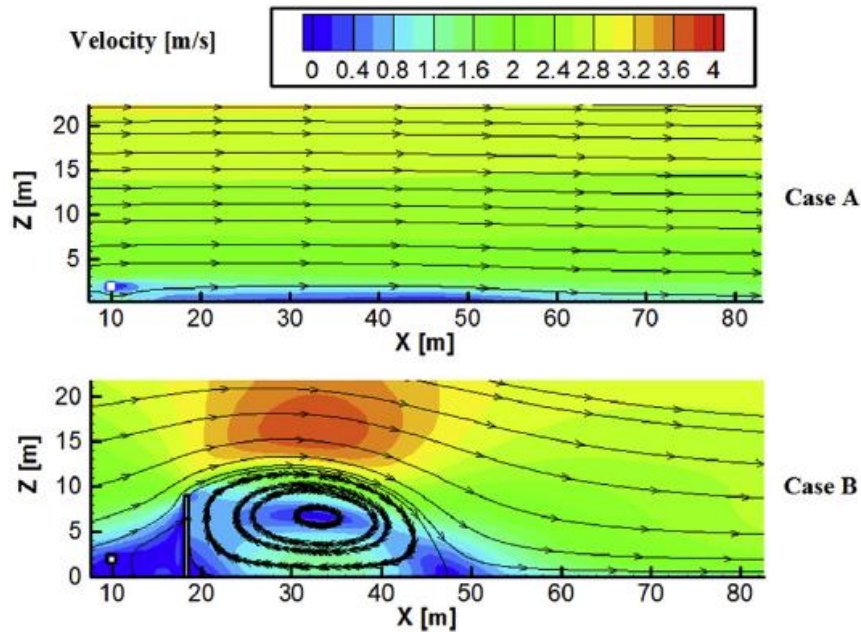
Nedan presenteras resultat från mätningar och beräkningar av bullerskärmars effekter på halterna av olika luftföroreningar. I Tabell 1 redovisas vad som analyserats i olika studier. Resultaten presenteras nedan.

Tabell 1. Sammanfattning av mätningar och modellberäkningar avseende betydelsen av skärmar på halterna vid vägar.

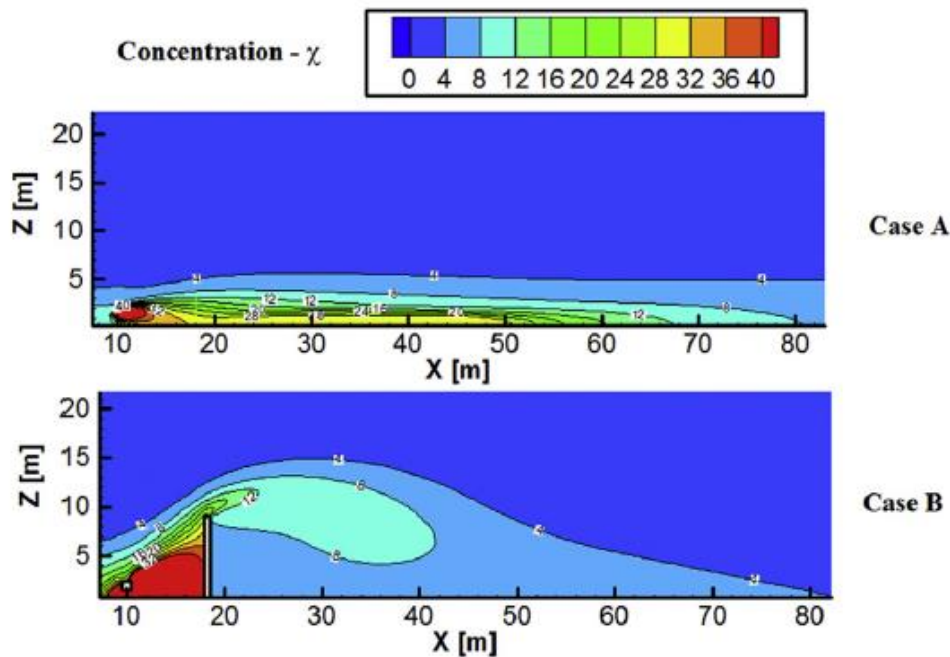
Förhållanden Studerade effekter	Mätningar/modeller	Plats	Referens
Verklig trafik Skärm och vegetation Påverkan av vindriktning Kanteffekter	CO, CO ₂ , NO _x , NO ₂ , PM10, PM2.5, antal partiklar, storleksfördelning. Jämförelse med Quick Urban Industrial Complex modell	Raleigh, North Carolina, USA	Baldauf et al. (2008), Bowker et al. (2007)
Upphöjd/nedsänkt väg Lutande väggar Skärmhöjd Ytråhet	Etan (spårämne)	Vind tunnel	Heist et al (2009)
Inbyggda PM filter	PM10	Projekt SPAS	Rodler et al. (2009), Iser et al. (2009)
Verklig trafik	BC, CO, NO ₂ , partikelstorleksfördelning	Södra Kalifornien, USA	Ning et al. (2010)
Olika skärmhöjd, material och form Vegetation	NO _x , NO ₂ , PM10	Putten, Holland	McCrae (2010), Hooghwerff et al. (2010)
Olika stabilitet Kanteffekter	SF6 (spårämne)	Idaho Falls, USA	Finn et al. (2010)
Olika skärmhöjd (3 – 18 meter) Vindriktning (45, 75 och 90 grader)	Inert gas, CFD (olika k-epsilon modeller testades och jämfördes med mätningar)	Vind tunnel	Hagler et al. (2011)
GC vägar längs motorvägar, med och utan skärmar	Mätningar av ultrafina partiklar (partikelantal)	Oregon, USA	Moore et al. (2011)
Skärmar med och utan vegetation	CFD och jämförelse med data från vindtunnel	Vindtunnel	Ghasemian et al. (2017)
Olika skärmutformning	CFD	Vindtunnel	Wang (2019)

Effekten av en bullerskärm på luftomblandningen (i detta fall vindhastigheten) och halterna av luftföroreningar illustreras av nedanstående figurer (Figur 3 och Figur 4) från Ghasemian et al. (2017). Direkt bakom skärmen bildas en luftvirvel som innebär att den förorenade luften från trafiken späds ut i en större luftvolym, vilket i sin tur medför att

koncentrationerna sjunker jämfört med fallet utan skärm. Simuleringarna nedan avser endast fallet med vind vinkelrätt i förhållande till bullerskärmen.



Figur 3. Simulerade vindhastigheter på olika avstånd från en källa utan (Case A) och med (Case B) en bullerskärm. Från Ghasemian et al. (2017).

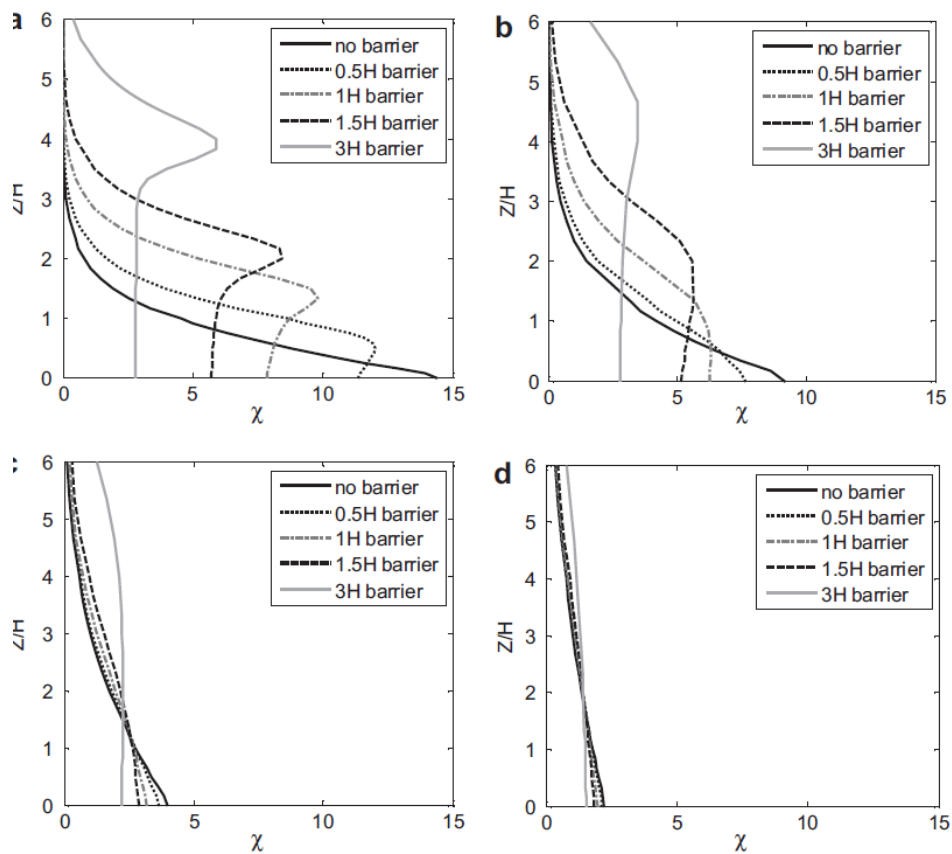


Figur 4. Simulerade halter av en förorening på olika avstånd från ett utsläpp utan (Case A) och med (Case B) en bullerskärm. Från Ghasemian et al. (2017).

Figur 5 illustrerar hur koncentrationerna av en inert gas kan påverkas på olika avstånd från en 3 – 18 m hög och 0,5 m bred bullerskärm. Skärmen är placerad 9,5 m från

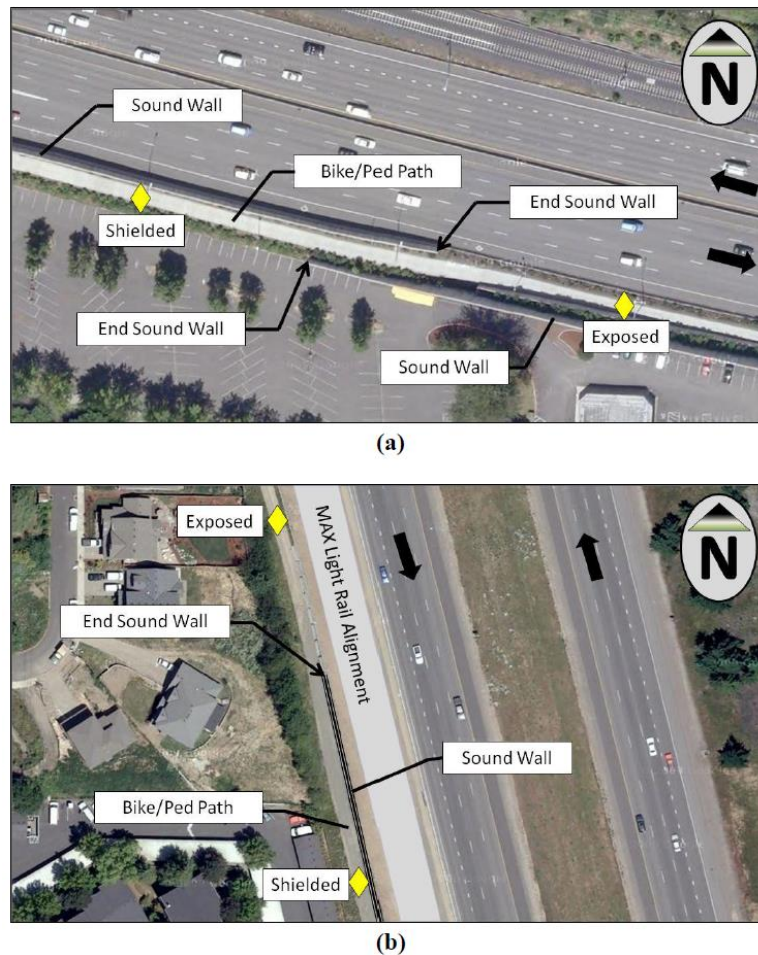
närmaste vägbana. Beräkningarna är genomförda med en CFD modell som jämförts med mätningar i en vindtunnel. Förhållandena avser en och samma vindhastighet och endast vind som blåser vinkelrätt mot vägen (och skärmen). I marknivå på 20 meters avstånd (a i figuren) (motsvarande 3,3 skärnhöjders avstånd) från skärmen minskar koncentrationen med mellan 15 % och 60 % för en 3 till 18 m hög skärm jämfört med utan skärm. Effekten av skärmen på halterna avtar snabbt med avståndet från skärmen.

Samtidigt visar beräkningarna att halterna sjunker mycket snabbt med höjden i fallet utan skärm. Vid 20 m avstånd med skärm är halten ungefär densamma upp till höjden på skärmen. Det betyder att halten med skärm blir högre än halten utan skärm på höjder strax ovanför skärnhöjden.



Figur 5. Beräkningar av effekten på koncentrationen av en bullerskärm på olika avstånd från en väg (a = 20 m; b = 50 m; c = 150 m; d = 300 m). Koncentrationen är enhetslös. Höjden på skärmen är 3m (0.5H), 6 m (H), 9 m (1.5H) och 18 m (3H). Bullerskärmen är placerad 9,5 m från vägkanten. Från Hagler et al. (2011).

Moore et al. (2011) jämförde halterna av ultrafina partiklar (UFP, mätt som antal partiklar >20 nm) på en cykel o gångväg intill vägar med respektive utan 4,5 m höga bullerskärmar (Figur 6). UFP intill vägarna orsakas till största delen av avgasutsläppen från fordonen på vägen.



Figur 6. Mätplatser (fyllda gula symboler) vid cykelbanor intill två olika motorvägar i USA (Moore tal. (2011).

De uppmätta halterna var mellan 12 % och 84 % lägre bakom bullerskärmarna. Den procentuella minskningen var ungefär lika stor vid vinkelrät vindriktning som vid något vinklad riktning.

	P-Trak Location	Mean Conc. (pt/cc)	St. Dev. (pt/cc)	Median (pt/cc)	1-sec Range (pt/cc)	Conc.	Mean Diff. (pt/cc)	Percent Diff.	t-value	p-value
US-26		March 24								
	Exposed	31,142	32,178	20,600	4,290 – 388,000		26,236	84%	94.9	< 0.001
	Shielded	4,905	2,345	4,330	2,910 – 50,700					
		April 22								
	Exposed	35,518	26,920	26,100	4,310 – 271,000		4,153	12%	21.1	< 0.001
	Shielded	31,258	25,050	21,000	4,970 – 278,000					
		May 13								
	Exposed	29,270	27,794	21,000	4,210 – 450,000		10,183	35%	54.3	< 0.001
	Shielded	20,126	15,272	16,200	3,690 – 316,000					
	May 27									
I-205	Exposed	30,870	25,612	22,200	5,210 – 194,000		10,265	33%	57.0	< 0.001
	Shielded	20,607	18,166	12,900	5,270 – 142,000					

Figur 7. Uppmätta halter UFP med respektive utan bullerskärm ("exposed" och "shielded") vid cykel- och gångvägar intill två olika motorvägar.

En mycket omfattande studie med både fasta och mobila mätningar genomfördes i Phoenix (USA) av Baldauf et al. (2016). De jämförde halterna av NO₂, CO, UFP och sotpartiklar på olika avstånd från en motorväg som kantades av en 4,5 m hög bullerskärm med halterna på olika avstånd från samma väg utan bullerskärm. Närmast motorvägen, <50 meter från vägen, var halterna ca 50 % lägre och på 300 meters avstånd ca 30 % lägre med bullerskärmen (se Table 2 nedan från Baldauf et al., 2016).

Table 2
Median and mean reduction in near-road pollutant concentrations for all pollutants measured under all meteorological and temporal conditions.

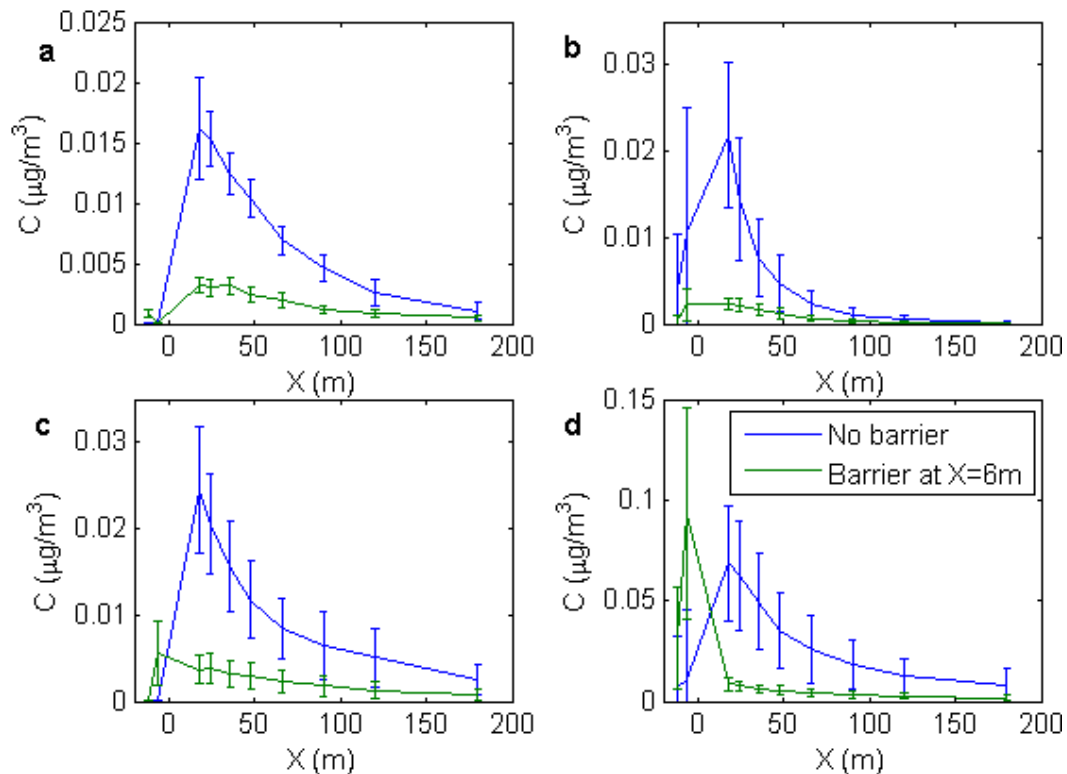
Pollutant	Sampling section	Distance range (meters)	Median reduction (percent)	Mean reduction (percent)
CO	East	0–50	50	46
		50–150	31	21
		150–300	9	18
	West	0–50	45	42
		50–150	11	7
		150–300	6	5
NO ₂	East	0–50	37	37
		50–150	41	39
		150–300	33	28
	West	0–50	34	34
		50–150	20	17
		150–300	19	11
BC	East	0–50	53	43
		50–150	63	49
		150–300	26	18
	West	0–50	57	48
		50–150	55	30
		150–300	37	24
UFP	East	0–50	48	50
		50–150	34	44
		150–300	16	15
	West	0–50	54	66
		50–150	27	31
		150–300	12	23

Finn et al. (2010) genomförde en fältstudie med spårgasutsläpp för att utvärdera effekten av en bullerskärm på halterna under varierande atmosfäriska stabilitetsförhållanden. Bullerskärmen bestod av halmbalar staplade på varandra; 6 m hög och 90 m lång (Figur 8).



Figur 8. Halmbalar som bullerskärm i en spårgasstudie av Finn et al. (2010).

I genomsnitt påvisade man ca 80 % reduktion i halterna bakom en 6 m hög bullerskärm. Effekten noterades upp till 90 m från skärmen (Figur 9). Minskningar i halterna bakom skärmen rapporterades för alla meteorologiska betingelser.



Figur 9. Uppmätta genomsnittliga spårgashalter på olika avstånd med respektive utan halmbalar (centrum). Mätningar under olika dagar med olika meteorologiska förhållanden: a) neutral skiktning, b) instabilt, c) stabilt, d) stabilt.

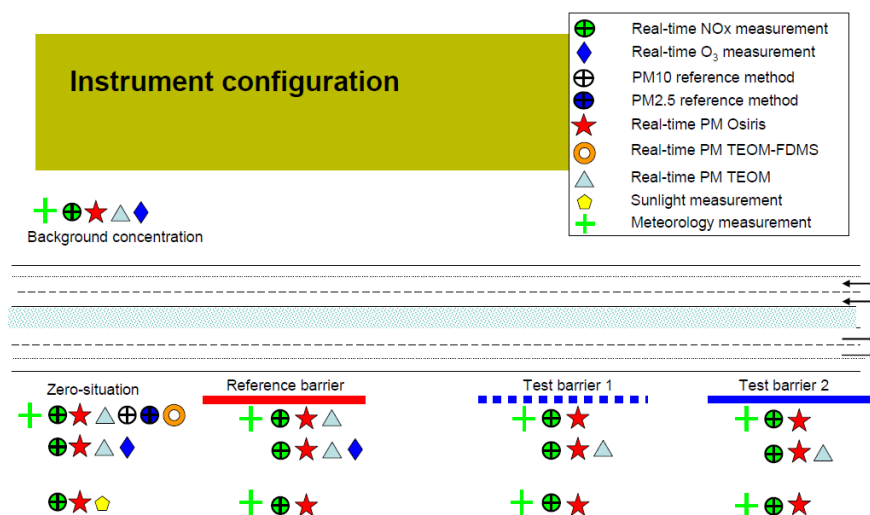
De horisontella gradienterna och absoluta koncentrationerna varierade med meteorologiska förhållanden; med de kraftigaste gradienterna förekom under instabila förhållanden och de högsta koncentrationerna under stabila betingelser.

Schulte et al. (2014) använde en semi-empirisk spridningsmodell (som de kallar "mixed wake model") för att beskriva observationerna från en vindtunnelstudie (Heist et al., 2009) och fältmätningar (Finn et al., 2010). Resultaten visar att bullerskärmar ökar utspädningen av den förorenade luften vilket gör att koncentrationerna minskar kraftigast precis bakom skärmen där en lävirvel uppkommer. Storleken på lävirveln beror på skärmens höjd och de meteorologiska förhållandena. En 4 meter hög bullerskärm reducerar halterna med 35 % på ett avstånd inom 40 meter (10 gånger skärmens höjd) jämfört med fallet utan bullerskärm. För en 8 meter hög skärm är haltreduceringen 55 %.

Hooghwerff et al. (2010) och McCrae (2010) mätte NO_x , NO_2 och PM_{10} bakom flera olika skärmar (Figur 10 och Figur 11). Mätningarna gjordes under 3 månader för varje skärm. Resultaten från mätningarna bakom en 7 meter hög skärm och 7 olika 4 meter höga skärmar med olika ytbehandlingar (TiO_2 , vegetationsbeklädnad, porositet, T-format tak) jämfördes med en 4 m hög referensskärm. NO_x var 40 % lägre med referensskärm, 70 % lägre med 7 meter hög skärm, medan de ytbehandlade skärmarna inte skilde sig mot referensskärmen.

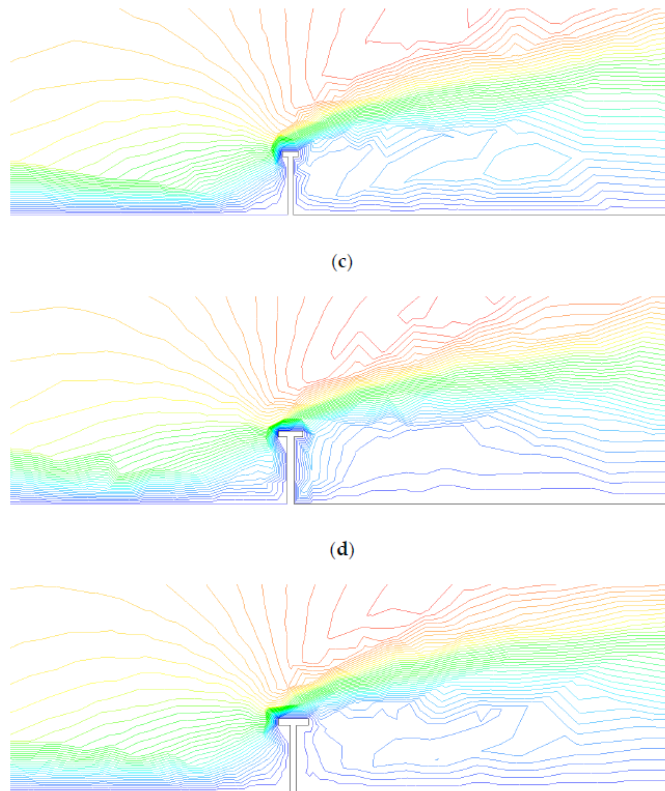


Figur 10. Olika skärmar vars effekt på NO_x, NO₂ och PM₁₀ studerats av Hooghwerff et al. (2010).



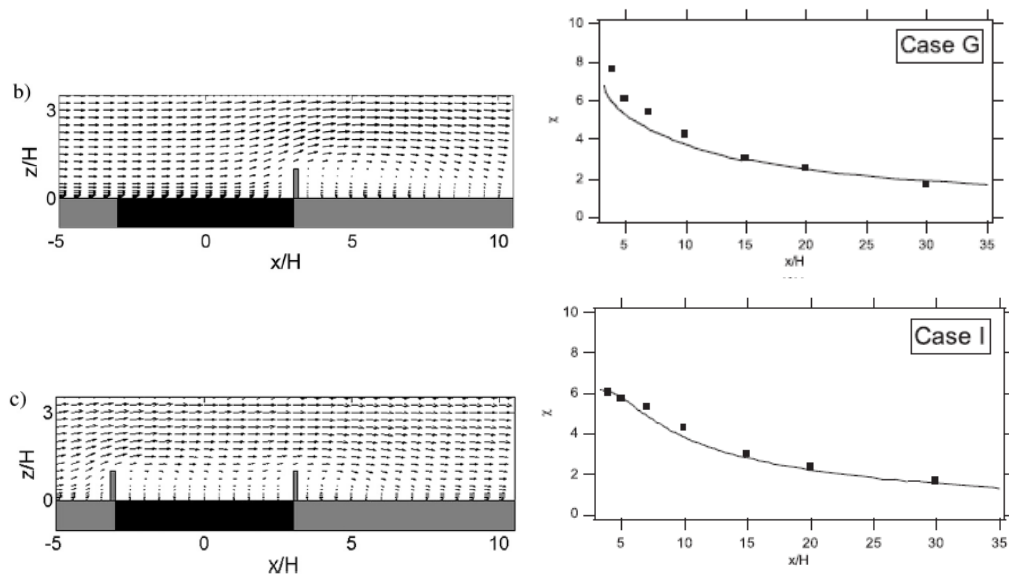
Figur 11. Mätstationer och mätinstrument i studien av Hooghwerff et al. (2010).

Wang och Wang (2019) använde en turbulensmodell för att analysera hur utformningen av en bullerskärm påverkar utspädningen och halterna bakom skärmen. De visade att en T-formad skärm ökar turbulensen (och därmed utspädningen) vilket minskar halterna mer än en skärm som är rektangulär. Effekten beror på skärmhöjden och avståndet från skärmen. Störst effekt av en T-formad skärm erhålls närmast skärmen.



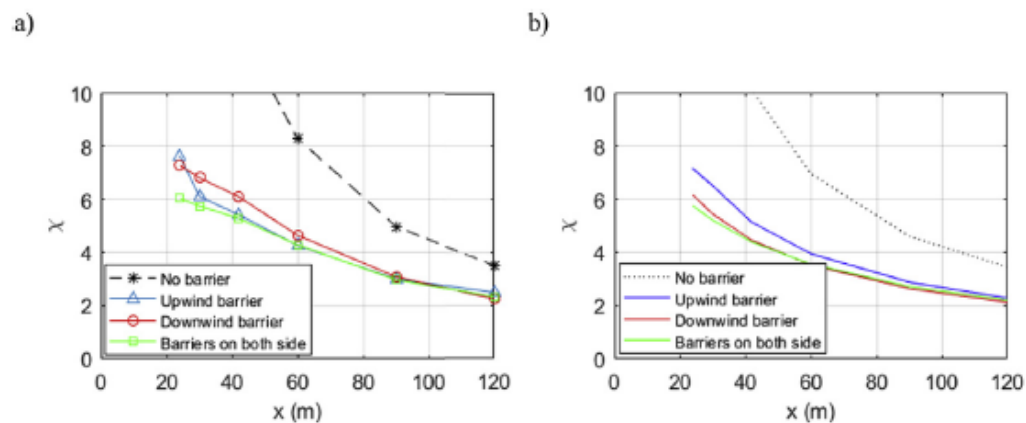
Figur 12. Effekten på strömningslinjerna av olika T-formade skärmar. Från Wang och Wang (2019).

Steffens et al. (2014) genomförde mätningar i en vindtunnel och med en strömningsmodell beräknades halterna för olika placering av skärmar och väggeometrier för att se effekten på halterna. En jämförelse var mellan att ha en skärm på ena sidan eller en vardera sidan av vägen (Figur 13). Mätningarna antyder att halterna är något lägre på 5 skärmhöjders avstånd (ca 30 meter) med en skärm på båda sidor av vägen, men skillnaderna är relativt små. Det som däremot kan ha stor betydelse är om vägen är upphöjd eller nersänkt i förhållande till markplanet (se Steffens et al., 2014).



Figur 13. Beräknade effekter på halterna med en skärm på ena sidan och en skärm på vardera sidan om vägen. Punkterna anger mätningar i vindtunnel och linjerna anger beräkningar med en CFD modell. Från Steffens et al. (2014).

En annan studie med modellberäkningar och mätningar av Ahangar et al. (2017) visade också att skillnaden mellan en och två skärmar hade relativt liten effekt på koncentrationen (Figur 14).



Figur 14. Effekten på halterna av en skärm på vindsidan (blå), en skärm på läsidan (grön) och en skärm på vardera sidan om vägen.

Sammanfattning av tidigare studier

Tidigare studier baserat på mätningar och/eller modellberäkningar visar entydigt att halterna är väsentligt lägre bakom bullerskärmar som placerats längs hårt trafikerade motorvägar:

- 15 % lägre PM och CO halter (upp till 50 %) (Baldauf et al., 2008))
- 45 % - 50 % lägre halter av antal partiklar (Ning et al., 2010)

- 15 % - 61 % lägre spårgashalter beroende på höjden på bullerskärmen (Hagler et al., 2011)

Förutom att höjden på skärmen kan ha stor betydelse så kan även förekomsten av vegetation i anslutning till bullerskärmen kan ha viss betydelse för halterna beroende bl a på hur tät vegetationen är. Men också lokala variationer i topografi och meteorologi kan vara viktigt att ta hänsyn till.

En del studier, både mätningar och beräkningar, har också visat att halterna är högre framför skärmen (den sida som vetter mot trafiken). Halterna kan öka med flera 100 % beroende på geometrin (skärmhöjd, avstånd till trafik, meteorologi och topografi). Men det finns också studier som tyder på att den effekten är liten (t ex Baldauf et al., 2016), sannolikt beroende på geometrin.

Slutsatser

- Mätningar visar på 15 % - 50 % lägre halter omedelbart bakom skärmen vid nära vinkelrät vind.
- Effekten av skärmen har noterats upp till 50 gånger skärmens höjd.
- I två studier har man funnit något ökad halt med skärm på ett avstånd av ca 80 – 100 meter på grund av utsläpp från trafik på mindre vägar uppströms skärmen.
- Upphöjda och nersänkta vägar minskar halterna.
- Skärm i kombination med vegetation kan minska halterna ytterligare.
- T-formad skärm kan vara effektivare än rektangulär.

Förenklad modell

I denna utredning används modellen som utvecklats av Schulte et al. (2014) och vidareutvecklats och verifierats av Amini et al. (2016). Trafikens emissioner fördelas över hela vägens bredd (W) och bullerskärmen gör att den vertikala luftomblandningen (utspädningen) av föroreningsplymen ökar jämfört med utan skärm, på grund av att luften tvingas upp över skärmen. Den initiala vertikala utbredningen av plymen blir lika stor som höjden på skärmen; ju högre skärm desto mer utspädning av föroreningarna från trafiken. Detta fenomen har verifierats i en rad mätningar bakom skärmar, frågan är bara hur stor effekten är på halterna.

Under neutrala meteorologiska förhållanden kan halten i marknivå beräknas som (Amini et al., 2016):

$$C(x) = \int_x^{x+W} \frac{\frac{q}{W}}{U\left(\frac{H}{2}\right) \cos\theta H + au_*x} dx$$

$$C(x) = \frac{q}{au_*W} \ln \left(1 + \frac{W}{H \frac{u(H/2)}{au_*} \cos\theta + x} \right) \quad (1)$$

där

$C(x)$ = koncentrationen i marknivå på avståndet x meter från skärmen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

H = skärmens höjd (m)

W = vägens bredd (m)

$U(H/2)$ = vindhastigheten på höjden $H/2$ (m/s)

q = emissionen ($\mu\text{g}/\text{m}/\text{s}$)

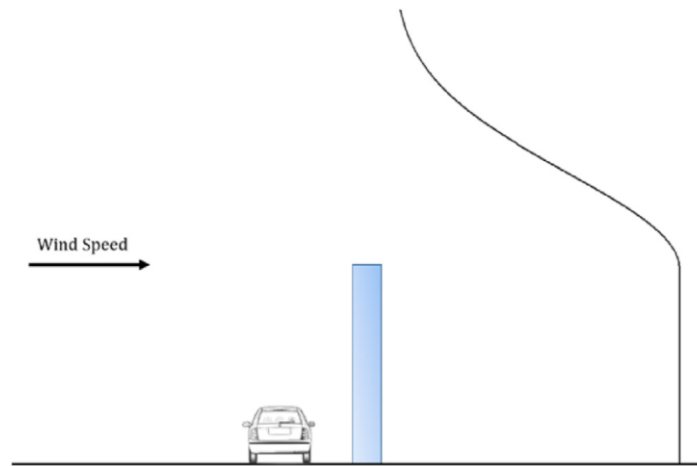
a = en konstant (0.71)

u^* = friktionshastigheten (m/s)

θ = vindriktningen i förhållande till en normal till vägens riktning, dvs om vägen går i nord-sydlig riktning (0 grader) är normalen +/- 90 grader ($\cos 90^\circ = 0$) och θ är = 0 för en västlig eller östlig vind ($\cos 0^\circ = 1$).

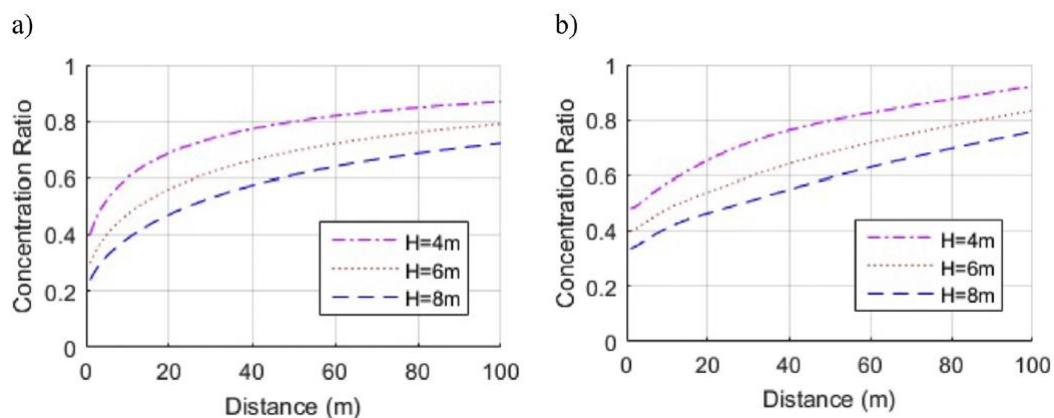
I denna modell antas att halten är konstant med höjden upp till skärmens höjd. Därefter avtar halten i enlighet med en Gaussisk modell (se Figur 15).

Fallet utan skärm kan beräknas genom att sätta skärmenhöjden till 1 m.



Figur 15. Antagen vertikal fördelning av halterna i modellen som presenteras av Amini et al. (2016).

Modellen (1) ovan gäller för neutrala atmosfäriska förhållanden. Amini et al. (2016) har också utvecklat en mer avancerad modell för instabila förhållanden. Figur 16 visar en jämförelse mellan de två modellerna. Skillnaden är liten och mest betydelsefull precis nära skärmen (<10 m). För beräkningarna som presenteras i denna rapport används endast den förenklade modellen för neutrala förhållanden, vilket innebär att halterna kan vara något överskattade inom ca 10 m från skärmen (beroende på att luften periodvis är instabilt skitad). Men med hänsyn till andra osäkerheter och förenklingarna i beräkningarna så har detta sannolikt inte så stor betydelse.



Figur 16. Koncentration med skärm i förhållande till utan skärm på olika avstånd från en skärm som är 4, 6 och 8 meter hög. Beräkningar med respektive utan hänsyn till om luften är instabilt skiktad (b) eller neutralt skiktad (a), enligt Amini et al. (2016).

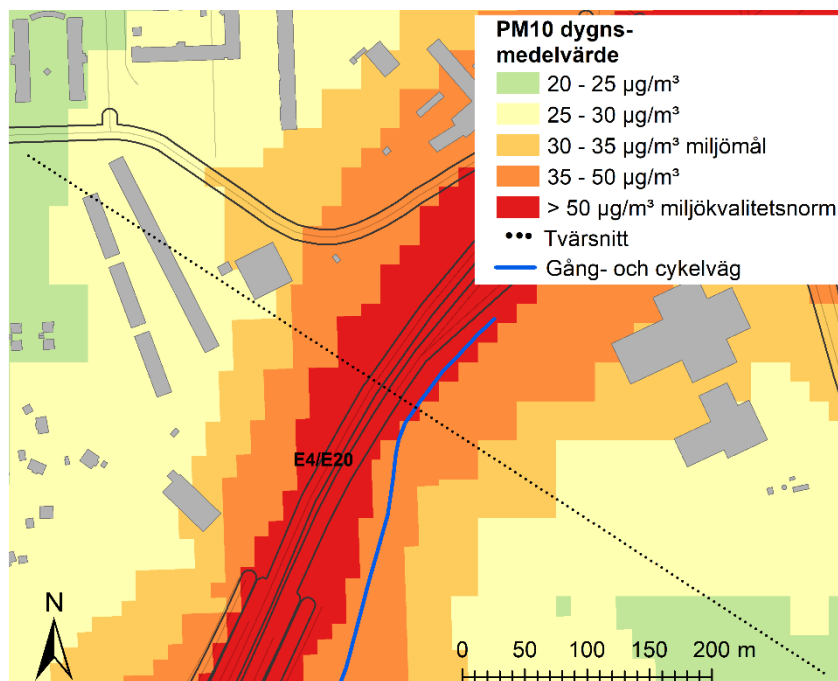
Beräkningar för E4/E20

Luftkvalitetsberäkningar med en utbyggd Tvärförbindelse Södertörn visar att delar av befintligt och planerat gång- och cykelstråk (GC-vägar) ligger inom områden med risk för överskridande av norm för PM10 samt risk för att miljömålet för PM10 inte uppnås (SLB, 2019). Av de ca 31 km befintliga och/eller planerade GC-vägarna längs med Södertörnsleden finns risk för överskridande av miljökvalitetsnormen för PM10 dygnsmedelvärde på ca 1,8 km, främst intill E4/E20. Miljömålet för PM10 riskerar att inte uppnås utmed ca 22 km GC-väg. I dessa beräkningar ingår inte effekten av bullerskärmar på halterna.

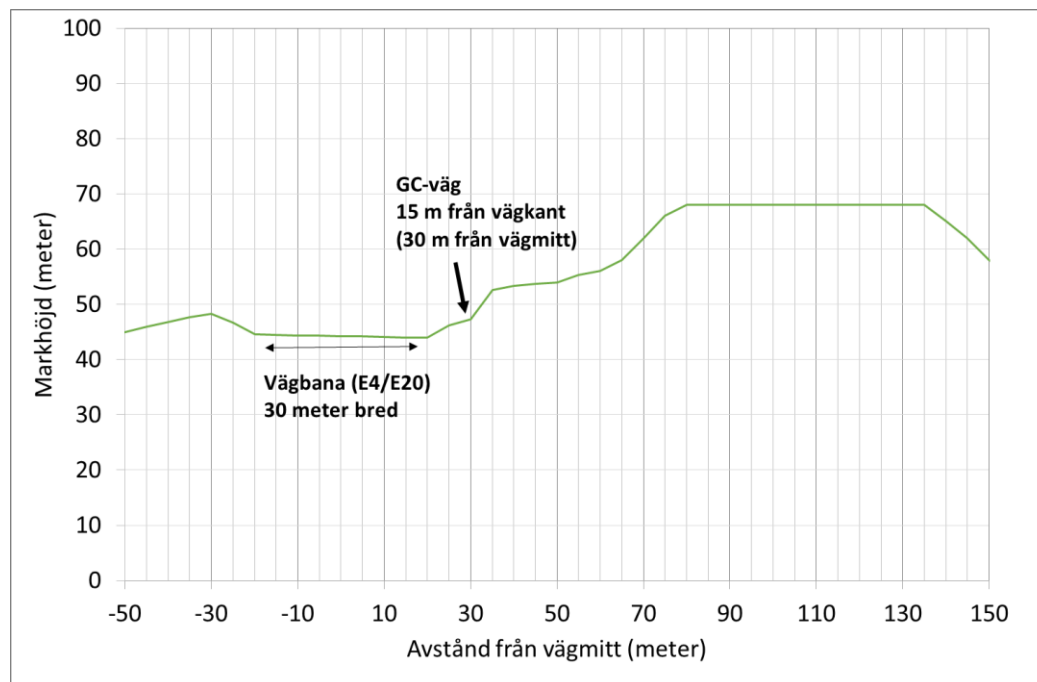
Två platser har analyserats: Vårby backe och Trafikplats Gömmaren.

Vårby backe

Platsen för tvärsnittet vid Vårby backe framgår av Figur 17. Just här planeras f n inte någon skärm, men området runt E4/E20 är förhållandevis okomplicerat, t ex finns det inga förhöjda vägramper eller annat som skulle komplicera beräkningarna. Däremot ligger vägbanan lite lägre jämfört med omgivande marknivå (Figur 18), vilket kommer att påverka hur luftföroreningshalterna påverkas av utsläppen längs vägen. GC-vägen (blå linje) går knappt 15 meter från vägkanten i höjd med tvärsnittet markerat med prickad linje i Figur 17. Den ligger också något förhöjd i förhållande till vägbanan (ca 3,2 meter, se Figur 18), men detta tas inte hänsyn till i beräkningarna av bullerskärmens effekter på PM10 halterna.



Figur 17. PM10 halter (36:e högsta dygnsmedelvärde) i anslutning till E4/E20 vid Vårby backe med Tvärförbindelse Södertörn år 2045. Halter över $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ innebär att miljökvalitetsnormen överskrids. Halten högre än $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ innebär att miljömålet överskrids. Gråa ytor motsvarar befintlig bebyggelse. Prickade linjen visar tvärsnittet som använts för beräkningarna av bullerskärmens betydelse.



Figur 18. Topografin i tvärsnittet markerat med prickad linje i Figur 17.

Figur 17 visar att miljö kvalitetsnormen för PM10 överskrids längs delar av E4/E20 år 2045 med en utbyggd Tvärförbindelse Södertörn. Överskridandena beräknas inträffa inom ett område upp till ca 100 meter från vägmitt, vilket innefattar vissa sträckor av den planerade GC-vägen. Miljömålet överskrids upp till 200 meter från vägmitt.

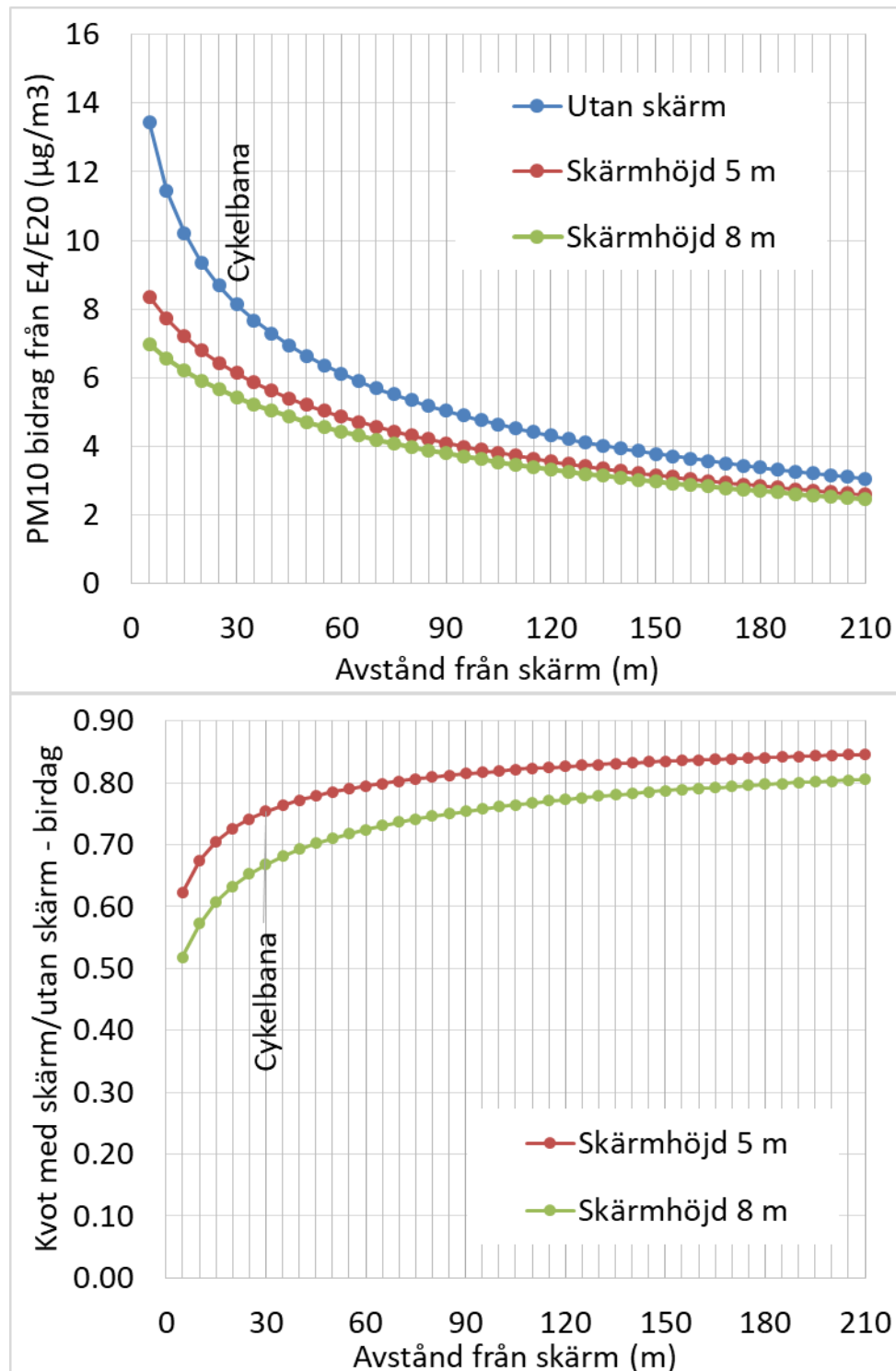
Beräkningarna av effekten av en skärm utgår från halterna som beräknats utan skärm i utredningen av SLB-analys (SLB, 2019) och som framgår av Figur 17. Halterna beräknades längs tvärsnittet som definieras av den prickade linjen i Figur 17. Dels beräknades årsmedelvärdet av bidraget till PM10 halterna från utsläppet längs E4/E20, dels de totala halterna avseende 36:e högsta dygnsmedelvärdet¹. För alla beräkningar används klimatologin som representerar ett typiskt år fast med bara 360 väderfall². För att få exakt överensstämmelse mellan den förenklade modellens halter utan skärm och Gaussmodellen som använts i SLB (2019) justerades markytans råhet och parametrarna a och W i ekvation 1.

Övre diagrammet i Figur 19 visar årsmedelvärdet av bidraget till PM10 halterna från trafikens utsläpp utan skärm och med en 5 m respektive 8 m hög skärm. Bidraget halveras inom ca 50 m från vägen. Med skärm är minskningen största närmast skärmen. Exakt var skärmen kan placeras i förhållande till vägkant och GC-väg behöver utredas, men den gör troligen störst nytta nära vägkanten där skärmens påverkan på den turbulenta utspädningen blir störst (snarare än nära GC-vägen).

¹ För att beräkna det 36:e högsta dygnsvärdet används ett empiriska samband mellan årsmedelvärden och 36:e högsta dygnsvärdena baserat på data från många mätstationer i olika föroreningsbelastade miljöer.

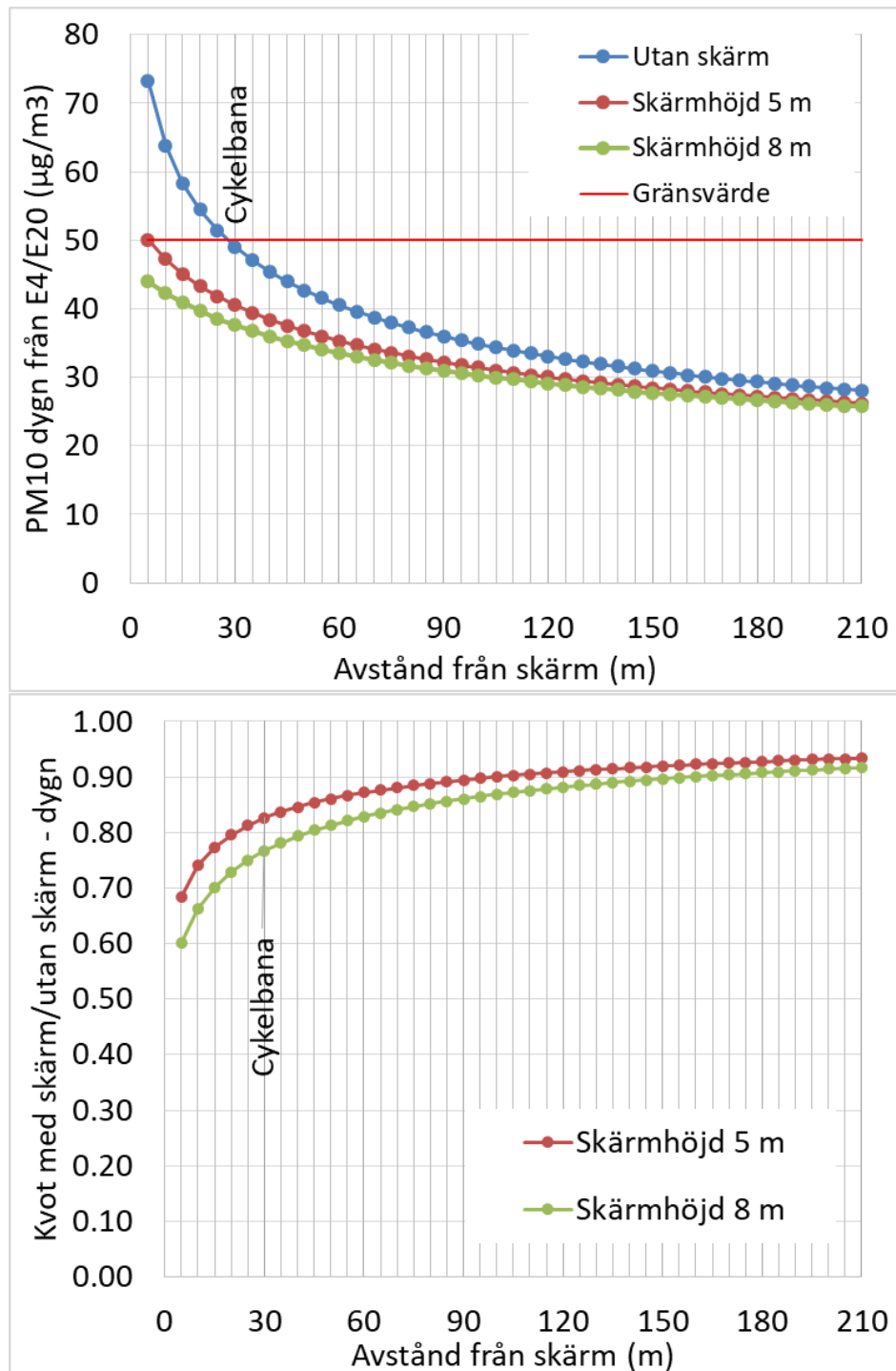
² Klimatologin baserad på meteorologiska mätdata under perioden 1993 - 2010. De meteorologiska mätningarna har hämtats från en 50 meter hög mast i Högdalen i Stockholm och inkluderar horisontell och vertikal vindhastighet, vindriktning, temperatur, temperaturdifferensen mellan tre olika nivåer samt solinstrålning.

Undre diagrammet visar att haltbidraget potentiellt minskar med knappt 25 % respektive 33 % med en 5 respektive 8 m hög skärm jämfört med ut an skärm.



Figur 19. Beräknade bidrag till PM10 halterna (årsmedelvärden) utan skärm, med 5 & 8 meter hög skärm (övre diagrammet) samt kvoten mellan halterna med skärm och utan skärm (undre diagrammet). Värden gäller för tvärsnittet som definieras med den prickade linjen i Figur 17.

Av Figur 20 framgår att den totala PM10 halten (36:e högsta dygnsmedelvärdet) vid GC-vägen tangerar miljö kvalitetsnormen ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Den relativa minskningen av de totala halterna inte blir lika stor som för bidraget från den lokala trafiken på E4/E20, vilket beror på att en stor del av den totala halten härrör från andra källors haltbidrag till PM10. Med en 5 eller 8 meter hög skärm skulle normen klaras. Men inte miljömålet ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). De totala halterna minskar med ca 18 % respektive 22 % vid GC-vägen med en 5 respektive 8 meter hög skärm.

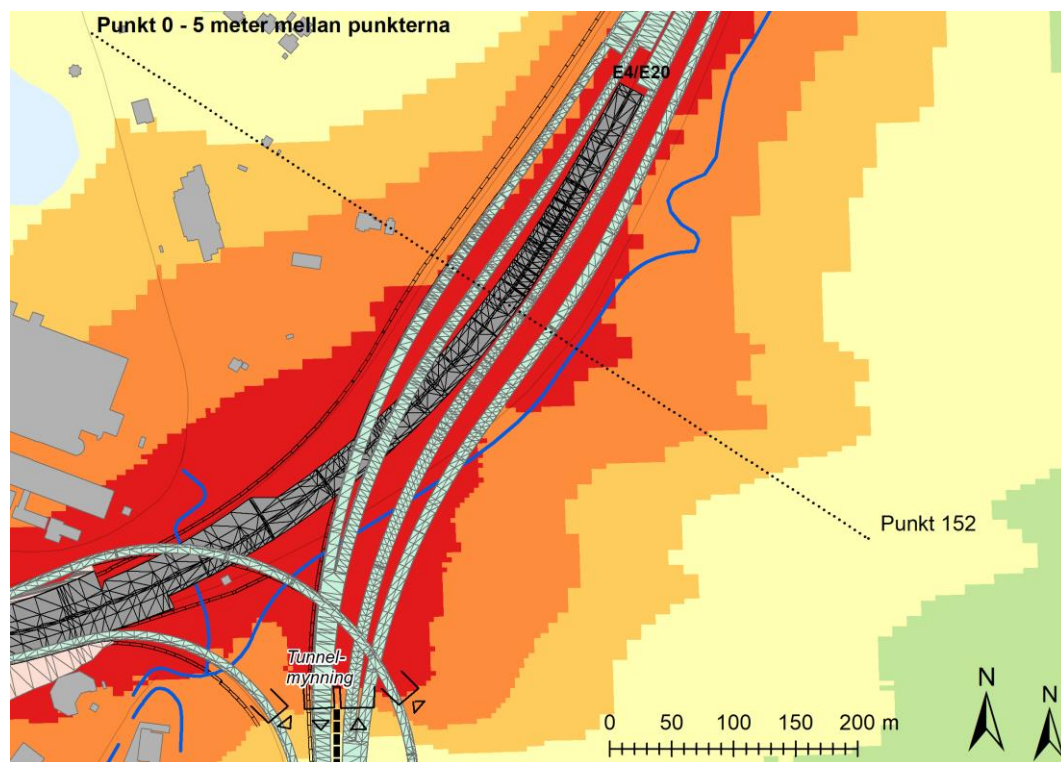


Figur 20. Beräknade totala PM10 halterna (36:e högsta dygnsmedelvärdet) utan skärm, med 5 & 8 meter hög skärm (övre diagrammet) samt kvoten mellan halterna med skärm och utan skärm (undre diagrammet). Värden gäller för tvärsnittet som definieras med den prickade linjen i Figur 17.

Trafikplats Gömmaren

PM10 halterna i anslutning till tvärsnittet vid trafikplats Gömmaren framgår av Figur 21. I detta fall har halterna utan skärm beräknats med en avancerad strömningsmodell i kombination med en Gaussisk modell. Anledningen är att omblandningsförhållandena är mycket komplexa på grund av utsläppen från trafiken längs vägbanan och från trafiken på ramperna som går högt över marknivå och mycket komplicerad topografi (se Figur 22 och Figur 23).

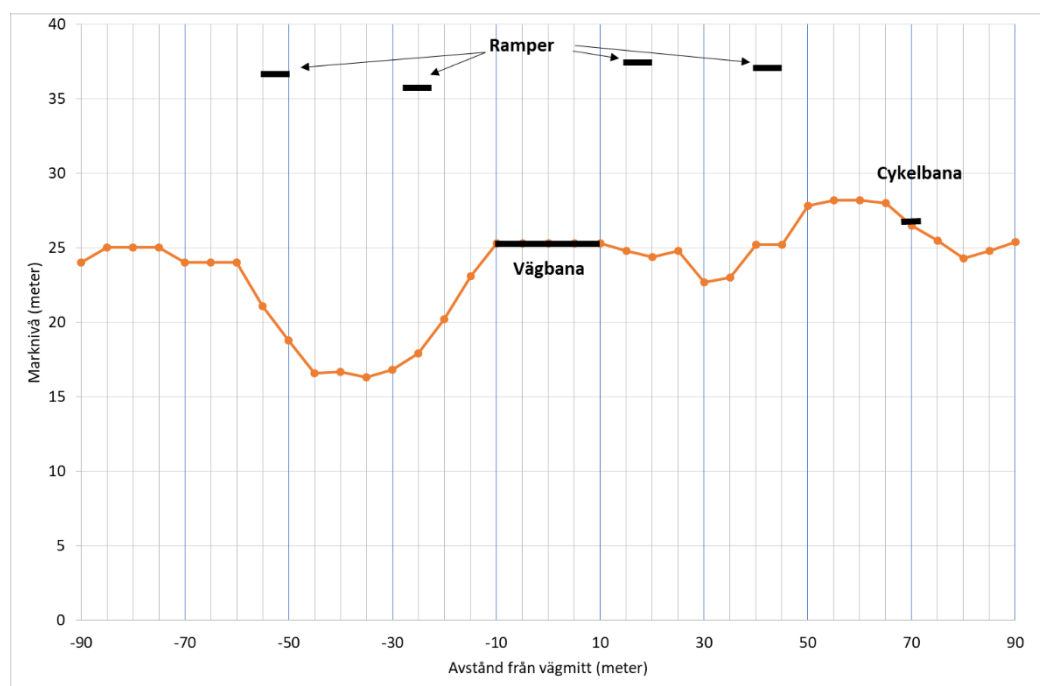
I detta fall kan inte den förenklade beräkningsmodellen användas och det är inte troligt att en bullerskärm skulle ha någon större effekt på halterna längs GC-vägen på grund av att den vertikala luftomblandningen är starkt påverkad av topografin och sannolikt även av turbulens orsakad av ramperna.



Figur 21. PM10 halter (36:e högsta dygnsmedelvärde) i anslutning till E4/E20 vid trafikplats Gömmaren med Tvärförbindelse Södertörn år 2045. Halter över $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ innebär att miljö kvalitetsnormen överskrids. Halten högre än $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ innebär att miljömålet överskrids. Gråa ytor motsvarar befintlig bebyggelse. Prickade linjen visar tvärsnittet som använts för analys av möjligheter till bullerskärm.



Figur 22. Illustration av Tvärförbindelsens ramper vid anslutningen till E4/E20 vid trafikplats Gömmaren.



Figur 23. Topografi och lägen för vägbana, ramper och cykelbana för tvärsnittet markerat med prickad linje i Figur 21.

Referenser

Amini et al., 2016. Using models to interpret the impact of roadside barriers on near-road air quality. *Atmospheric Environment* 138, 55-64.

Baldauf et al. 2016. Influence of solid noise barriers on near-road and on-road air quality. *Atmospheric Environment*, 129, 265-276.

Baldauf, R., Thoma, E., Khlystov, A., Isakov, V., Bowker, G., Long, T., Snow, R., 2008. Impacts of noise 599 barriers on near-road air quality. *Atmospheric Environment* 42, 7502-7507.

Bowker, G.E., Baldauf, R., Isakov, V., Khlystov, A., Petersen, W., 2007. The effects of roadside 601 structures on the transport and dispersion of ultrafine particles from highways. *Atmospheric 602 Environment* 41, 8128-8139.

Finn, D., Clawson, K.L., Carter, R.G., Rich, J.D., Eckman, R.M., Perry, S.G., Isakov, V., Heist, D.K., 2010. Tracer studies to characterize the effects of roadside noise barriers on near-road pollutant dispersion under varying atmospheric stability conditions. *Atmospheric Environment* 44, 204-214.

Gallagher, J., Gill, L.W., McNabola, A., 2013. The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modelling case study. *Science of The Total Environment* 458–625, 331-343.

Ghasemian et al. 2017. The influence of roadside solid and vegetation barriers on near-road air quality. *Atmospheric Environment* 170, 108-117.

Hagler, G.S.W., Tang, W., Freeman, M.J., Heist, D.K., Perry, S.G., Vette, A.F., 2011. Model evaluation 650 of roadside barrier impact on near-road air pollution. *Atmospheric Environment* 45, 2522-2530.

Isakov, V., 2015. Noise barrier along highway, in: highway, P.o.n.b.a. (Ed.), Environmental Protection Agency.

Moore et al. (2011). Assessing Bicyclist and Pedestrian Exposure to Ultrafine Particles: Passive Shielding with Noise Barriers.
<https://pdfs.semanticscholar.org/bf3d/c356fef6ba75e050cbdfb7888a8a737f9b32.pdf>

Ning, Z., Hudda, N., Daher, N., Kam, W., Herner, J., Kozawa, K., Mara, S., Sioutas, C., 2010. Impact of roadside noise barriers on particle size distributions and pollutants concentrations near freeways. 692 *Atmospheric Environment* 44, 3118-3127.

Schulte, N., Snyder, M., Isakov, V., Heist, D., Venkatram, A., 2014. Effects of solid barriers on dispersion of roadway emissions. *Atmospheric Environment* 97, 286-295.

SLB 10:2019. Luftkvalitetsutredning för Tvärförbindelse Södertörn -
Spridningsberäkningar för halter av partiklar (PM10) och kvävedioxid (NO2) år 2045.

Steffens, J.T., Heist, D.K., Perry, S.G., Isakov, V., Baldauf, R.W., Zhang, K.M., 2014. Effects of Roadway Configurations on Near-Road Air Quality and The Implications on Roadway Designs. *Atmospheric Environment* 94, 74-85. 709

Steffens, J.T., Heist, D.K., Perry, S.G., Zhang, K.M., 2013. Modelling the effects of a solid barrier on pollutant dispersion under various atmospheric stability conditions. *Atmospheric Environment* 69, 711 76-85.

Wang, S. och Wang, X. Modelling and Analysis of the Effects of Noise Barrier Shape and Inflow Conditions on Highway Automobiles Emission Dispersion. *Fluids* 2019, 4, 151; doi:10.3390/fluids4030151.

SLB-analys, Miljöförvaltningen i Stockholm.
Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4.
Box 8136, 104 20 Stockholm.
www.slb.nu

