

Bullerskärmars inverkan på omkringliggande luftkvalitet

Mätningar och modelleringar av NO_x



Frida Nilsson

Institutionen för miljövetenskap

Masterprogram i miljö- och hälsoskydd (120 hp)

Examensämne: Miljövetenskap

Miljö- och hälsoskydd, självständigt arbete (30 hp)

Höst-/Vårterminen 2020/2021

Handledare: Christer Johansson & Michael Norman

English title: The effect of noise barriers on surrounding air quality – measurements and modelling of NO_x



Stockholms
universitet

Sammanfattning

Luftföroreningar är ett globalt problem som kan orsaka stor skada på människor, djur och miljö. Kväveoxider (NO_x) är en vanlig luftförorening och kan till stor del härledas från trafiken där NO_x framför allt släpps ut från dieseldrivna fordon. Det finns olika åtgärder för att minska halterna kväveoxider och en av de som det forskas kring är hur bullerskärmar påverkar halterna. Tidigare forskning visar att bullerskärmar förutom att minska buller även har potential att minska olika typer av luftföroreningar bakom skärmen. I detta arbete har modelleringar och mätningar genomförts på Bergslagsvägen, en vältrafikerad väg i Stockholm, för att undersöka om bullerskärmar har potential att minska halterna kväveoxider bakom skärmen.

Modelleringen visar att bullerskärmar kan minska halterna kväveoxider bakom skärmen men att höjden på skärmen har stor påverkan på dels hur stor effekten blir, dels hur långt bakom skärmen effekten syns. Även meteorologin och hur omgivningen ser ut med tanke på topografi, växtlighet, bebyggelse med mera är andra viktiga faktorer. Mätdata från platsen indikerar också att skärmen har en positiv effekt. Jämförelse av modellen med mätdata för att se hur väl modellen kan förutsäga verkligheten indikerar att modellen är ett bra verktyg att använda då modellen korrelerar bra med uppmätt data och även visar liknande resultat vid ett 95% konfidensintervall men det svårt att dra helt säkra slutsatser på grund av avsaknad av tillräcklig mängd mätdata.

Genomgång av tidigare forskning visar att resultatet i detta arbete ligger i linje med tidigare studier att bullerskärmar faktiskt har en positiv effekt och kan minska halterna luftföroreningar bakom skärmen. Det är en relativt snabb, enkel och billig åtgärd jämfört med andra lösningar men det är viktigt att undersöka den specifika platsens förutsättningar och utformning för att veta om bullerskärm är en bra lösning just där då omgivande faktorer, likt de nämnda ovan, kan ha stor påverkan på resultatet.

Nyckelord

Bullerskärmar, luftföroreningar, NO_x , kväveoxider, vägtrafik, befolkningsexponering

Abstract

Air pollution is a global problem that can cause damage on humans, animals, and the environment. Nitrogen oxides (NO_x) is a common type of air pollutant and it is mostly due to traffic emissions, especially diesel vehicles. There are different measures to reduce the amount of NO_x in the air, a potential one is the use of noise barriers. Earlier research has found that noise barriers in addition to reducing noise also have the potential to reduce air pollutant concentrations behind the barriers. In this paper measurements and modelling has been done at Bergslagsvägen, a busy road in Stockholm, to investigate if noise barriers have the potential to reduce the amount of nitrogen oxides in the air behind the barrier.

The modelling shows that noise barriers can reduce the amount of nitrogen oxides behind the barrier but that the height of the barrier is very important for how large the effect is and how far behind the barrier concentrations are affected. Meteorology and how the surroundings look, for example topography, vegetation, and buildings are also other important factors. Measurements from the site also indicates that the barrier has a positive effect. The comparison between the model and measurements to see how well the model can predict the measured data indicates that the model is a good tool to use for predicting the dispersion of NO_x behind a noise barrier since the model correlates relatively well with measurements and shows a similar result to measured data at a 95% confidence interval but it is hard to draw an entirely certain conclusion due to the lack of data.

A review of earlier research and the result in this paper reinforces the hypothesis that noise barriers have a positive effect and can reduce the amount of air pollution behind the barrier. It is a relatively quick, easy, and cheap method compared to others, but it is important to investigate the specific conditions at each site to find out if a noise barrier is a good solution since surrounding parameters, like the ones mentioned above can be important for the result.

Keywords

Noise barriers, air pollution, NO_x , nitrogen oxides, road traffic, population exposure

Populärvetenskaplig sammenfattning

Luftföroreningar är ett stort problem över nästan hela världen. De kan bland annat orsaka skador på våra luftvägar och till och med bidra till förtida dödsfall. Även vår omgivning och djur kan påverkas negativt då exempelvis växtlighet, sjöar och vattendrag kan bli förorenade. En vanlig luftförorening är kväveoxider, förkortad NO_x . Den kommer mestadels från trafik framför allt vid utsläpp från dieseldrivna fordon.

NO_x -halterna nära högttrafikerade vägar kan vara mycket höga varför man försöker hitta åtgärder för att minska halterna av den och andra luftföroreningar vilket kan förbättra vår hälsa och miljö. En åtgärd som undersöks är bullerskärmar. Detta är skärmar som sätts upp längs vägarna för att i första hand minska nivån av störande buller från vägen men som man också tror kan minska halterna av luftföroreningar. I detta arbete har mätningar och modelleringar av NO_x genomförts på Bergslagsvägen som är en vältrafikerad väg i Stockholm för att undersöka om bullerskärmar kan minska halterna av NO_x bakom skärmen.

Frågorna som ska besvaras genom denna rapport är; Har bullerskärmar längs vägen någon effekt på halterna av NO_x bakom skärmen? Vilken betydelse har skärmens höjd för halterna och påverkas halterna på olika avstånd från skärmen? Vilken betydelse kan skärmar ha för att minska exponeringen av luftföroreningar längs större vägar i jämförelse med andra åtgärder som Trafikverket kan vidta? Hur väl stämmer modellerade data överens med mätdata och vilka parametrar är viktigast för osäkerheterna i de beräknade halterna?

Modelleringen visar att bullerskärmar kan minska halterna NO_x bakom skärmen men att höjden på skärmen spelar stor roll. Högre skärmar ger en större haltsänkning och effekten når längre bort bakom skärmen. Även meteorologin, framför allt vindhastighet och -riktning, samt hur omgivningen ser ut med tanke på terräng, växtlighet, bebyggelse med mera är viktigt för resultatet. Mätningarna av NO_x -halter indikerar också att skärmen kan sänka halterna bakom skärmen.

När modellen och uppmätta halter jämfördes med varandra blev resultatet att modellen stämmer relativt bra överens med mätdata och kan förutsäga uppmätta halter på ett bra sätt. Bristen på mätdata gör dock att resultatet är något ovisst och därför går det inte att dra helt säkra slutsatser.

Genom att titta på tidigare forskning och analysera resultatet i det här arbetet så stärks evidensen för att bullerskärmar kan minska halterna av luftföroreningar bakom skärmen. Det är också en relativt snabb, enkel och billig metod att använda jämfört med andra lösningar så som gröna skärmar eller ombyggnation av vägar. Resultatet visar därför att bullerskärmar kan vara en bra metod att använda för att förhindra att människor exponeras och skadas av för höga halter av luftföroreningar men även buller. Det är dock viktigt att undersöka hur den specifika platsen ser ut, bland annat enligt parametrarna nämnda ovan, för att veta om en bullerskärm är en bra lösning då omkringliggande faktorer kan ha en stor påverkan på resultatet.

Innehållsförteckning

Inledning	1
Syfte, frågeställning och hypotes.....	1
Syfte.....	1
Frågeställningar	1
Hypoteser	2
Bakgrund	2
Tidigare forskning.....	2
Plats- och metodbeskrivning	5
Platsbeskrivning	5
Modellering	7
Insamling av mätdata	9
Analys av mätdata & jämförelse med modell	11
Passiva mätare	11
Mätskåp.....	11
Jämförelse mellan modell och mätningar	11
Resultat	13
Modellering	13
Verklig modellkörning.....	14
Mätdata	16
Passiva mätare	16
Mätskåp.....	16
Jämförelse mellan modell och mätningar	17
Diskussion	19
Modellering	19
Mätdata	19
Jämförelse mellan modell och mätningar	20
Jämförelse med tidigare forskning	20
Andra åtgärder	21
Slutsats	23
Tack till	24
Referenser	25

Inledning

Luftföroreningar är ett stort problem världen över, speciellt i tätbefolkade städer. De kan orsaka både sjukdomar och förtida dödsfall hos människor samt skador på växter och djur samt bidra till försurning, övergödning och korrosion (Naturvårdsverket, 2020). Sverige är ett av de länder i världen som har bäst luftkvalitet men även här finns problem. Enligt Gustafsson m.fl. (2018) dör cirka 7600 personer årligen i Sverige på grund av luftföroreningar. En av de vanligaste luftföroreningarna är kväveoxider (NO_x), den går att härleda framför allt från trafiken. NO_x är en gas och bildas vid reaktionen mellan kvävgas och syrgas, till exempel vid förbränning, och det är framför allt dieselfordon som har de högsta utsläppen räknat per kilometer (Naturvårdsverket, 2020a).

Det finns olika metoder för att minska NO_x och andra trafikgenererade luftföroreningar. Hastigheten på vägarna kan sänkas, då slits däck och beläggning mindre och färre partiklar uppstår. Även bränsleförbrukningen och kväveoxidutsläppen blir lägre. Ytterligare metoder som minskar partikelemissionerna är dammbindningsmedel och ändrad vägbeläggning. Dammbindningsmedel kan spridas längs vägen, främst på våren, för att förhindra att vägdamm suspenderas till luften när vägen börjar torka upp efter vintern och att byta beläggning till en slittåligare asfalt genererar mindre mängd partikelutsläpp. En metod som inte minskar utsläppen men som kan leda till ökad utspädning av både partikel- och NO_x -utsläpp är bullerskärmar. Än så länge finns det inte mycket forskning, åtminstone i Sverige, kring bullerskärmar och hur de kan påverka halterna av luftföroreningar kring vägarna. Bullerskärmar sätts upp framför allt för att minska buller men det finns studier som visar att det finns synergieffekter i form av att även luftföroreningshalterna bakom skärmarna minskar. Tidigare litteraturstudier (Johansson & Lövenheim, 2020) visar att föroreningshalterna kan bli upp till 50 % lägre precis bakom skärmen. Resultaten kan dock variera mycket beroende på skärmens utformning, meteorologiska förhållanden, hur skärmen står i förhållande till vägen, trafikförhållanden, med mera. Att vidare undersöka detta i svenska förhållanden är därför intressant ur ett vetenskapligt perspektiv och kan öka kunskapen kring olika luftföroreningsåtgärder, men även ur ett folkhälsoperspektiv då det finns potential att förbättra befolkningens hälsa och minska antalet förtida dödsfall.

Syfte, frågeställning och hypotes

Syfte

Syftet med detta examensarbete är att med hjälp av mätdata och modelleringar undersöka om bullerskärmar längs hårt trafikerade vägar kan minska halterna av NO_x i luften bakom skärmen.

Frågeställningar

- Har bullerskärmar längs vägen någon effekt på halterna av NO_x bakom skärmen?
- Vilken betydelse har skärmens höjd för halterna och påverkas halterna på olika avstånd från skärmen?
- Vilken betydelse kan skärmar ha för att minska exponeringen av luftföroreningar längs större vägar i jämförelse med andra åtgärder som Trafikverket kan vidta?
- Hur väl stämmer modellerade data överens med mätdata och vilka parametrar är viktigast för osäkerheterna i de beräknade halterna?

Hypoteser

- Bullerskärmen reducerar halterna av NO_x
- Skärmens höjd har stor betydelse för hur halterna reduceras på olika avstånd bakom skärmen
- Bullerskärmar kan vara bland de viktigaste åtgärderna för att minska exponering av både buller och luftföroreningar längs större vägar
- Jämförelser med mätningar visar att osäkerheten i de beräknade halterna med den testade beräkningsmodellen är mindre än 50 %¹

Bakgrund

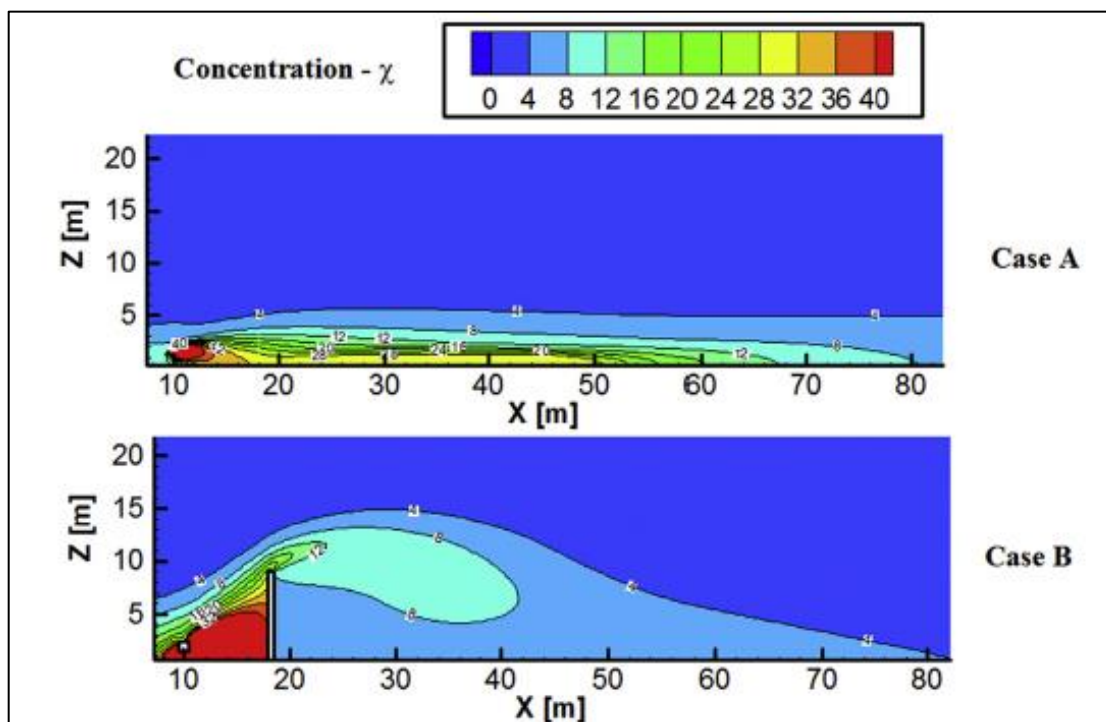
Bullerskärmar är en vanlig åtgärd när man inte kan nå tillräckligt låga ljudnivåer i ett område. För att uppföra en bullerskärm i Sverige måste man få tillstånd från kommunen eller länsstyrelsen (Engqvist m.fl., 2006). Höjden på skärmarna skiljer sig åt beroende på hur hög ljudnivån är och hur omgivningen ser ut. Vanligast är skärmar på 2–4 meter även om lite högre skärmar på 6–7 meter börjar bli vanligare. Anledningarna till att man inte bygger högre är ofta på grund av de högre kostnaderna och att man i många fall anser att landskapsbilden störs. Även om man ofta är medveten om de positiva effekterna som bullerskärmar kan ha på utspädningen av luftföroreningar så är det framför allt bullret som ligger i fokus (Monica Waaranperä, Trafikverket, personlig kommunikation, 210121). Att anlägga och uppföra en bullerskärm tar olika lång tid beroende dels på platsens förutsättningar och hur mycket förarbete som måste utföras, men också vilken typ av skärm det är, men det tar i regel några månader, upp till ett halvår ungefär (Monica Waaranperä, Trafikverket, personlig kommunikation, 210226). Kostnaderna skiljer sig också mycket åt och beror på ovan nämnda orsaker, men det kan kosta från ett par hundra tusen kronor upp till flera miljoner bara i byggkostnad. Till det tillkommer även underhåll och andra kringkostnader (Trafikverket, 2020).

Tidigare forskning

Mycket tidigare forskning på bullerskärmar och dess påverkan på luftföroreningar kommer från USA, men det finns enstaka studier gjorda även i Europa och Sverige. I stort sett är resultaten liknande i de flesta studier och i alla de artiklar som gått genom här kommer man fram till att luftföroreningshalterna generellt sett minskar i området bakom skärmen jämfört med fallet utan skärm. Bullerskärmen skapar nämligen en vertikal lyftning av luften när den når skärmen och blandar föroreningarna med den renare luften ovanför, vilket minskar den totala koncentrationen föroreningar i plymen (figur 1). Det syns tydligt hur luftmassan och föroreningarna pressas uppåt i höjded av skärmen istället för att blåsa rakt framåt i marknivå där människor befinner sig. Detta leder till något högre halter högre upp i luften men lägre halter närmare marken inom vissa avstånd bakom skärmen.

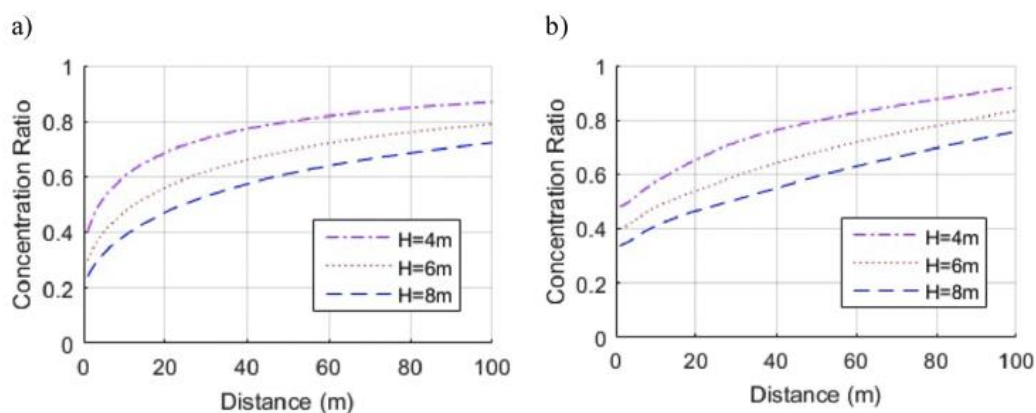
I denna litteraturstudie har endast vetenskapligt granskade artiklar tagits med. Många av artiklarna har hittats genom att söka på nyckelord i Stockholms universitetsbiblioteks artikeldatabas, exempelvis ”noise barrier”, ”air pollution”, ”green barrier”. Andra har hittats genom att studera refererade artiklar av intresse i tidigare lästa artiklar. Artiklarna valdes ut genom att först studera titeln, om den var intressant och relevant lästes sammanfattningen och ansågs den också vara av intresse lästes hela artikeln.

¹ Detta är krav på modeller enligt Naturvårdsverket, men gäller endast när modeller används för att kontrollera hur halter förhåller sig till gränsvärden.



Figur 1: Föroreningskoncentration vid platt terräng (Case A) och med bullerskärm (Case B).
(Ghasemian m.fl., 2017)

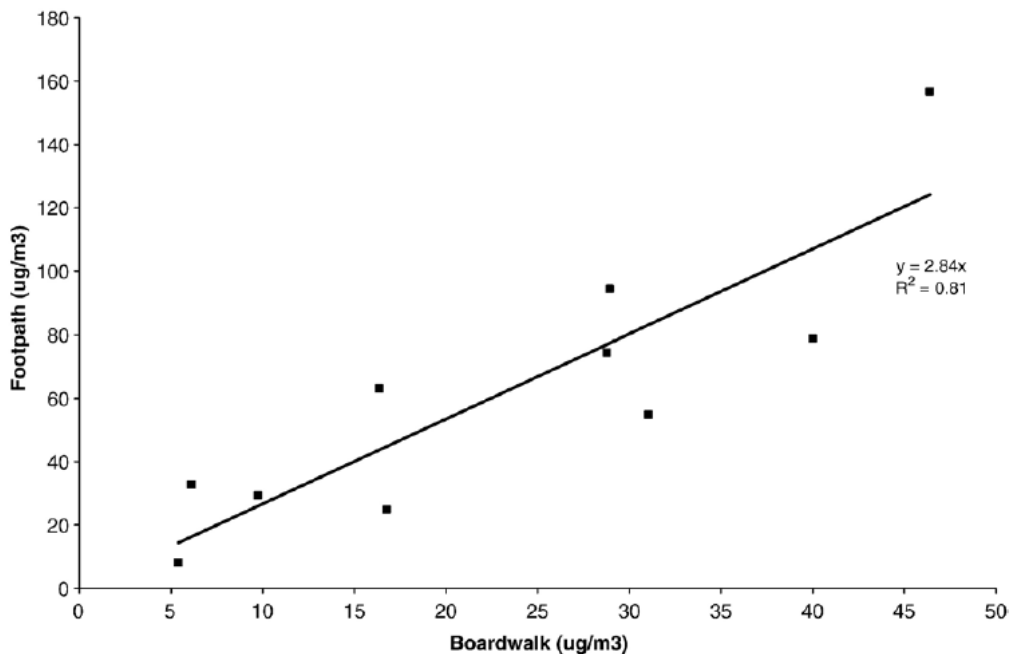
Modelleringar och mätningar av ultrafina partiklar, partiklar $<0,1 \mu\text{m}$ (Bowker m.fl., 2007; Hagler m.fl., 2012) visar att en 6 meter hög bullerskärm ger cirka 50-60% lägre halter bakom skärmen än när man jämför samma avstånd utan skärm. Det finns en del andra studier (Amini m.fl., 2016; Baldauf m.fl., 2016; Ghasemian m.fl., 2017; Hagler m.fl., 2011; Heist m.fl., 2009; Hooghwerff m.fl., 2010; Ning m.fl., 2010) som undersöker olika typer av föroreningar, med olika skärnhöjder och på olika avstånd, så det är svårt att jämföra rakt av. Generellt visar artiklarna resultat där en skärm ger upp till 60% minskning av halterna bakom skärmen jämfört med utan skärm. Skärmarna var 3 meter upp till 9 meter höga. Gemensamt för många av artiklarna är också att effekten av skärmen är som störst i området närmast skärmen och sedan avtar effektiviteten med större avstånd från skärmen (figur 2). I de artiklar som jämför olika skärnhöjder syns också att högre skärm ger högre effektivitet, alltså lägre halter bakom högre skärmar.



Figur 2: Kvoten mellan med/utan skärm vid olika skärnhöjder för a) enkel skärmmodell och b) modifierad "mixed-wake model" (Amini m.fl., 2016)

I några studier (Bowker m.fl., 2007; Ning m.fl., 2010) syns att föroreningshalterna bakom en skärm minskar långsammare än i fallet utan skärm. Exempelvis, hos Ning m.fl. (2010) nådde partikelkoncentrationerna bakgrunds nivåer vid längre avstånd från vägen (250–400 meter; 48-108 skärnhöjder(H)) i fallet med skärm, jämfört med utan (150–200 meter; 29-54H). Detta innebär, säger de, att effekterna av luftföroreningar sprids över ett större avstånd med skärm men att det just bakom skärmen blir en förbättring av luftkvaliteten. Dessutom upptäckte de att 80–100 meter (~15-22H) bakom skärmen sjönk plymen ned mot marken och en högre koncentration av partiklar registrerades jämfört med fallet utan skärm.

I många av studierna är bullerskärmarna cirka 4 meter eller högre. Men i en artikel från Dublin, Irland (McNabola m.fl., 2008) fann man att en strandpromenad som låg bredvid en trefilig väg med trottoar, och var avskärmd med en liten barriär (~1-2m) hade signifikant lägre halter av bensen och PM2.5 än trottoaren. Strandpromenaden uppvisade 1,76 respektive 2,83 gånger lägre halter av bensen och PM2.5 än trottoaren. En förhållandevis låg barriär verkar alltså också kunna ha en positiv påverkan på luftkvaliteten (figur 3).



Figur 3: PM2.5-halt på trottoaren (y-axeln) och strandpromenaden (x-axeln) (McNabola m.fl., 2008)

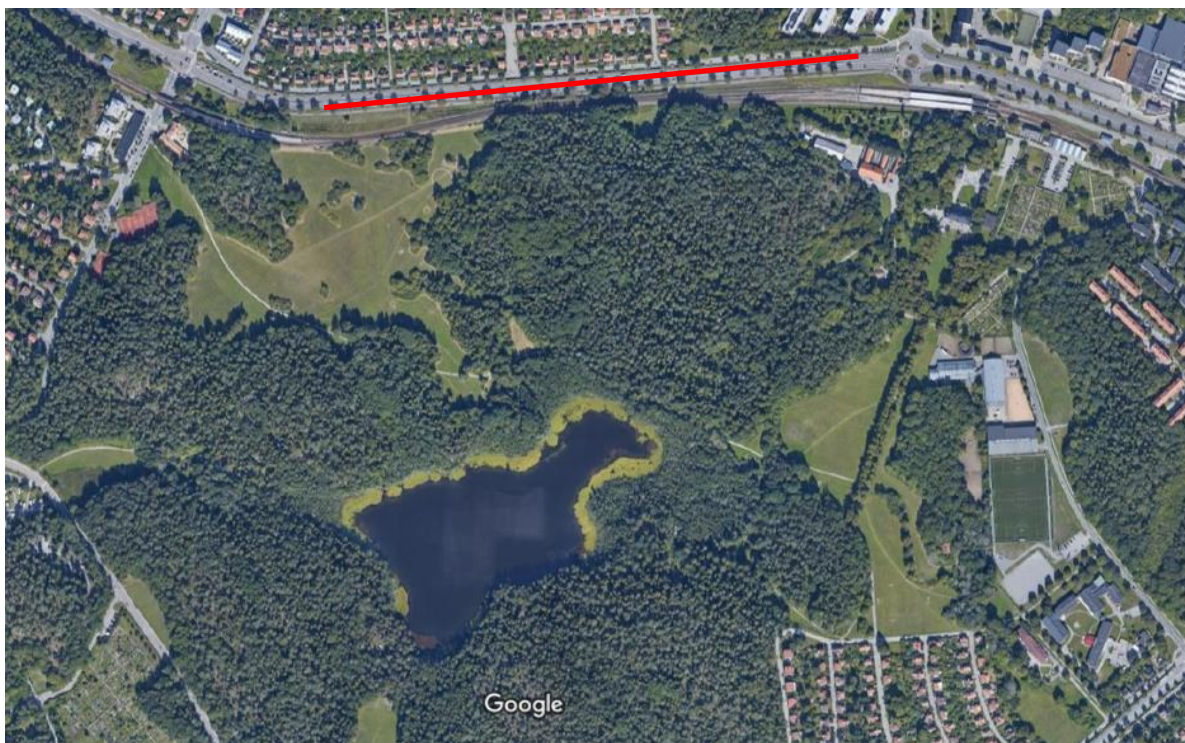
Både mätningar i fält, vindtunnlar och modelleringar har använts i de olika artiklarna. Olika studier får olika resultat och det beror på en mängd olika faktorer bland annat vilken höjd man väljer att ha på skärmarna, vilken mätthöjd man har, vilka avstånd bakom skärmen man mäter och vilken typ av förorening som studeras. Trots dessa olikheter visar ändå alla de studerade artiklarna ett samstämmigt resultat; bullerskärmar ger generellt sett lägre halter luftföroreningar bakom skärmen jämfört med fall utan skärm.

Plats- och metodbeskrivning

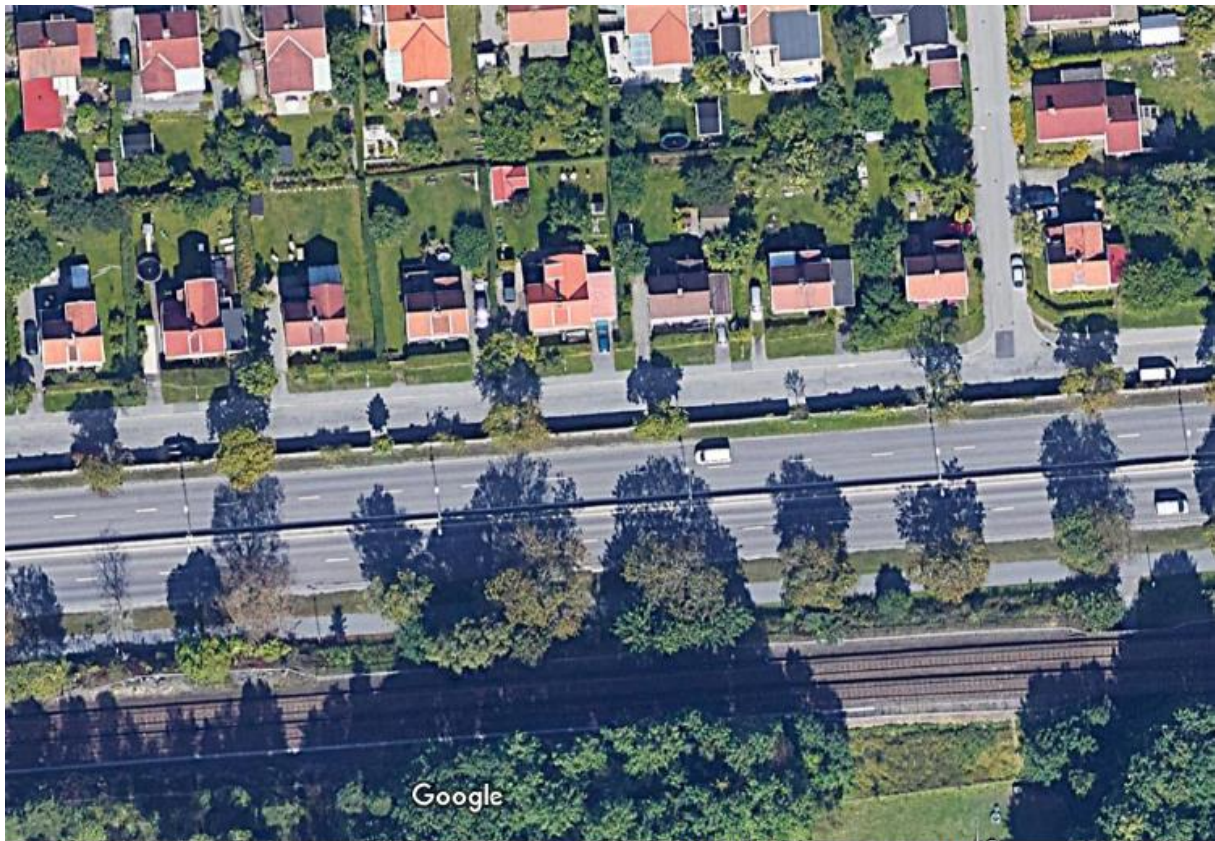
Platsbeskrivning

Mätningarna och modelleringen genomfördes kring Bergslagsvägen 120–122 i Bromma, Stockholm. Vägen går i en nästintill öst-västlig riktning med en bullerskärm på norra sidan och en betongbarriär mellan körbanorna som är cirka 1 meter hög. Vindarna är dominerande sydliga eller sydvästliga (SMHI, 2020), vilket gör detta till en bra plats att genomföra mätningarna på eftersom att vinden är mer eller mindre vinkelrät mot skärmen och därmed blåser föroreningarna från vägen mot skärmen och mätarna. Dessutom börjar skärmen på ett lämpligt ställe så att det är lätt att placera ut mätare bredvid och på så vis kunna jämföra halter med och utan skärm. Hastigheten på vägen är 70 km/h och enligt mätningar passerar cirka 20 600 fordon per dygn. Skärmen är cirka 660 meter lång och 2,2 meter hög och står cirka 2 meter från vägkanten.

Söder om Bergslagsvägen, på motsatt sida från bullerskärmen ligger Judarskogens naturreservat (figur 4). Mellan vägen och naturreservatet ligger tunnelbanan (figur 5), cirka 15 meter från vägen, vilket innebär att det inte finns några större vägar eller utsläppskällor av NO_x i det väderstrecket. Kommer vinden rakt söderifrån bör således merparten av de uppmätta värdena komma från Bergslagsvägen, med undantag från den lilla väg som går längs insidan av skärmen. Bakom skärmen ligger även ett villaområde. I figur 6 syns hur bullerskärmen ser ut sett från Bergslagsvägen.



Figur 4: Satellitbild över Judarskogens naturreservat och Bergslagsvägen högst upp i bild markerad med ett rött streck (Google Maps, 2021a)



Bilder ©2021 CNES / Airbus, Maxar Technologies, Kartdata ©2021 10 m

Figur 5: Satellitbild över Bergslagsvägen mitt i bild samt tunnelbanespåret längst ned i bild (Google Maps, 2021b)



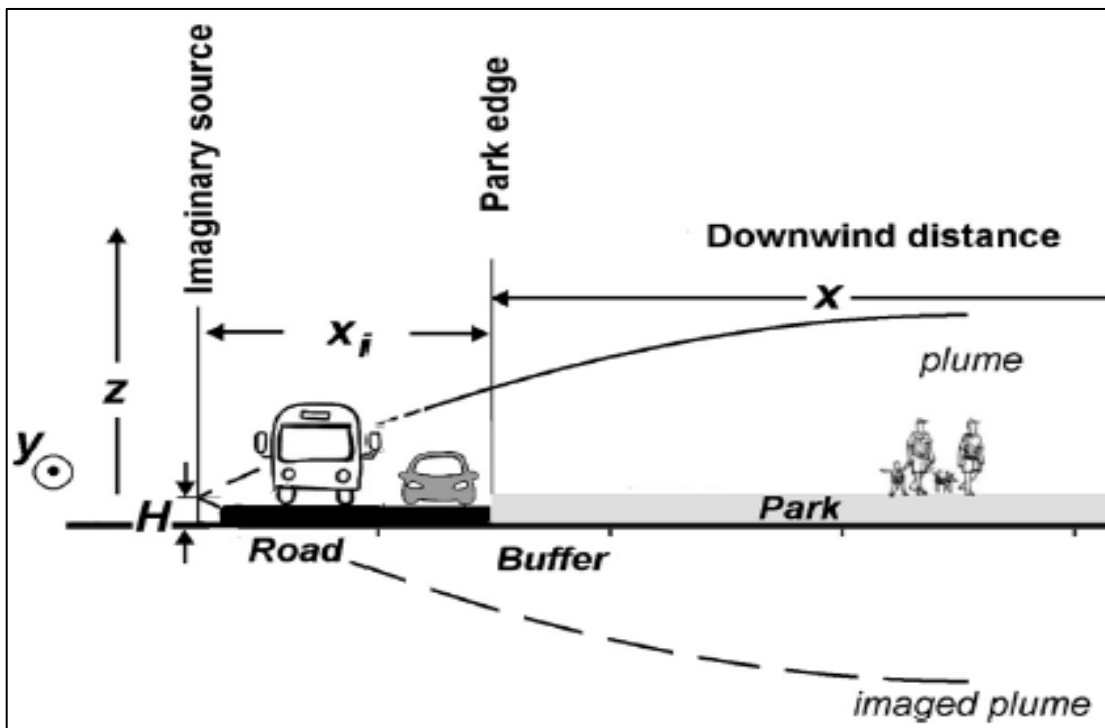
Bildinsamling: aug. 2020 © 2021 Google

Figur 6: Bild på bullerskärmen från Bergslagsvägen sett (Google Maps, 2021c)

Modellering

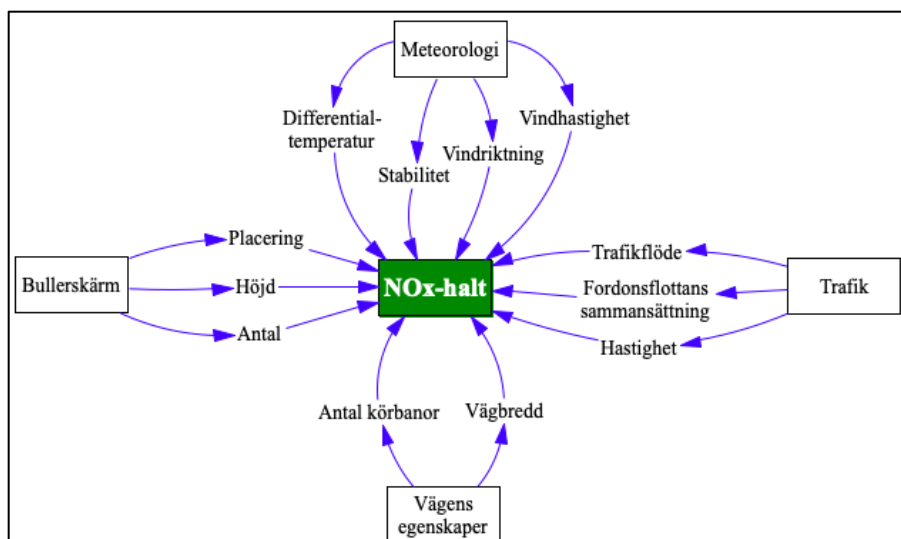
Modelleringen genomförs med en amerikansk modell som heter AERMOD (US EPA, 2017). Det är en modell som bygger på att spridningen från olika punkt- och areakällor kan beskrivas med en gaussisk fördelning. Det vill säga halten i tvärsnittet av plymen från ett utsläpp beräknas i enlighet med en normalfördelning i höjd- och sidled. För varje meteorologiskt fall (konstant vindhastighet och vindriktning) antas steady-state, det vill säga balans råder mellan utsläppen och utspädningen av luftföroreningarna så att koncentrationen är konstant.

En plym som släpps ut högt upp i luften från en skorsten och har fritt svängrum kommer enligt en gaussisk fördelning sprida sig beskrivet likt ovan, men utsläpp från fordon som sker nära marken kommer istället spridas likt figur 7 nedan. Det vill säga att den del av plymen som sprider sig nedåt kommer i modellen hamna under marken (eller deponeras på marken) och därför inte finnas med i beräkningarna. I AERMOD-modellen reflekteras plymen mot marken med hjälp av en imaginär plym som gör att det som skulle hamnat under eller deponerat på marken i stället hamnar i luften ovanför marken och bidrar till halterna.



Figur 7: Schematisk bild över spridningen från en trafiklinjekälla till en intilliggande park, där x och z är avståndet medvind och vertikalt, medan y är riktningen på trafikflödet (Xing & Brimblecombe, 2018).

AERMOD är en modell som rekommenderas av amerikanska EPA (motsvarande Naturvårdsverket) att användas i samband med olika luftkvalitetsplaner och tillståndsärenden avseende utsläpp från industrier och andra anläggningar. Modellen kan ta hänsyn till hur halterna påverkas av bullerskärmar, men den delen av modellen är ännu inte en del av den AERMOD-modell som US EPA rekommenderar. Den är implementerad i luftövervakningssystemet (Airviro) på SLB-analys vid Miljöförvaltningen. I samma system finns indata till modellen i form av meteorologi, trafikdata, emissioner och även data från luftföroreningmätningarna. Modellen beräknar halterna på olika avstånd bakom skärmen beroende på skärmens höjd samt ett antal andra parametrar (figur 8).



Figur 8: Schematisk bild över ett urval av de parametrar som matats in i modellen för att få fram NO_x -halterna.

Under modelleringen studerades tre olika skärnhöjder; 2, 4 och 7 meter. NO_x -halterna studerades sedan 2 meter ovanför marken bakom skärmen för olika scenarier med och utan skärm, samt olika typer av meteorologiska förhållanden. För att identifiera vilka faktorer som kan komma att påverka resultaten så skapades 18 konstgjorda meteorologiska scenarion (tabell 1) där man kan ändra en faktor i taget. Vindriktningen var konstant, 180° , det vill säga sydlig vind, däremot så ändrades vindhastigheten mellan 2, 4 och 8 m/s samt den vertikala temperaturgradienten (stabiliteten) i luften, för att undersöka hur föroreningshalterna påverkades av det. Genom att kombinera vindhastigheten i kolumn ett med den vertikala temperaturgradienten i kolumn tre räknas Monin Obukhov-längden (LMO) ut, som syns i kolumn fyra. Varje LMO motsvarar en stabilitetsklass som kan ses i kolumn 5.

I resultatdelen av denna rapport kommer inte alla 18 meteorologiska fall redovisas utan ett från varje stabilitetsklass (mycket stabil (VS), stabil (S), instabil (U), mycket instabil (VU)) väljs ut för att det ska bli lättare att se rent visuellt (tabell 2). Övriga fall hamnar resultatmässigt däremellan.

Tabell 1: Meteorologiska data som användes i modellen

Vindhast. 20m (m/s)	Temp. 5m (°C)	Diff.temp. 20-5m (°C)	LMO (m)	Stabilitets klass	Vindriktn. 20m (°)	Globstrålning (W/m ²)	STD vert. vind 51 m	STD vindriktn. 20m	Rel. fukt. 4 m (%)
2,0	10	-1,00	-20	VU	180	100	0,5	10	80
2,0	10	-0,60	-38	VU	180	100	0,5	10	80
2,0	10	-0,20	-360	U	180	100	0,5	10	80
2,0	10	0,20	44	VS	180	100	0,5	10	80
2,0	10	0,60	11	VS	180	100	0,5	10	80
2,0	10	1,00	10	VS	180	100	0,5	10	80
4,0	10	-1,00	-82	VU	180	100	0,5	10	80
4,0	10	-0,60	-161	U	180	100	0,5	10	80
4,0	10	-0,20	-1507	U	180	100	0,5	10	80
4,0	10	0,20	221	S	180	100	0,5	10	80
4,0	10	0,60	95	VS	180	100	0,5	10	80
4,0	10	1,00	57	VS	180	100	0,5	10	80
8,0	10	-1,00	-357	U	180	100	0,5	10	80
8,0	10	-0,60	-691	U	180	100	0,5	10	80
8,0	10	-0,20	-6118	U	180	100	0,5	10	80
8,0	10	0,20	927	S	180	100	0,5	10	80
8,0	10	0,60	424	S	180	100	0,5	10	80
8,0	10	1,00	271	S	180	100	0,5	10	80

Tabell 2: Data som används för de olika modellerade fallen

Stabilitet	Vindhast. 20m (m/s)	Difftemp 20-5m (°C)	LMO (m)
Mycket stabil	2	0,2	44
Stabil	4	0,2	221
Instabil	8	-0,2	-6118
Mycket instabil	4	-1	-82

Körningarna med de olika skärnhöjderna jämfördes också med fall utan skärm. I modellen fick en skärnhöjd på 0,3 meter representera fallen utan skärm. Detta eftersom z_0 , ett mått på ytans råhet och ojämnhet, på platsen är cirka 0,3 meter.

I modelleringen användes endast utsläpp från norra körbanan närmast skärmen. Detta innebär endast en föroreningsplym vilket blir enklare för modellen att modellera samt att det blir lättare att jämföra med andra studier då de flesta andra studierna också använt en plym. Hade både norra och södra körbanan använts hade man haft två plymer med olika avstånd från skärmen och olika utbredning vilket försvårar analysen av resultatet.

En liknande modellering likt den beskriven ovan gjordes även med verkliga meteorologiska data och trafikflöde under 3 månader. Meteorologiska data är från 2020-02-01–2020-04-30 och trafikflödet är baserat på mätningar som Stockholms stad har genomfört på Bergslagsvägen under en vecka i november 2018. Här användes dock båda körfälten, både det norra och södra och de ingående parametrarna anpassades för att få det så likt verkligheten som möjligt.

Insamling av mätdata

Halter av NO_x samlades in på tre mätstationer vid Bergslagsvägen 120–122. En står 10 meter bakom skärmen (figur 9), samt två på vardera sida av vägen utan skärm, även de 10 meter från skärmen respektive vägen. Genom att ha mätare på samma avstånd från vägen med och utan bullerskärm framför så kan man se hur skärmen påverkar halterna av föroreningar. Olika meteorologiska parametrar mäts också i mätskåpen, bland annat vindriktning, vindhastighet och temperatur.

Mätinstrumentet för kväveoxider heter Environnement S.A (AC31M-LCD) och det använder sig en kemiluminescensmetod för att mäta NO_x -halten. Luften tas in via ett intag där NO_2 konverteras till NO , sedan tillsätts ozon (O_3) som reagerar med NO och framkallar en ljusreaktion. Ljusintensiteten är proportionell mot mängden NO_x och NO i luften. NO_2 -koncentrationen fås sedan fram genom att subtrahera mängden NO_x ($\text{NO}_2 + \text{NO}$) med mängden NO .



Figur 9: Mätskåp som mäter bland annat NO_x -halter.

Mätningarna påbörjades 4 mars och beräknas pågå i cirka tre månader där kontinuerlig mätning sker med 15-minutersmedelvärden. På grund av examensarbetets tidsbegränsning hann dock inte all data analyseras.

Passiva mätare användes också (figur 10). Detta är små mätare som lätt kan sättas upp på mer svåråtkomliga ställen där mätskåpen inte kan placeras. De är lite enklare och samlar in föroreningsdata över en period (vanligtvis en vecka) och sedan räknar ut medelvärdet från den perioden. Dessa sattes ut på sex olika ställen där de mätte halter en vecka i taget innan de togs ner, skickades in för analys och nya sattes upp. De första sex mätarna sattes upp 24 mars, togs ner en vecka senare och nya sattes upp. Detta gjordes en gång till innan de också togs ned efter en vecka. Alltså finns mätvärden för tre veckor från dessa passiva provtagare.



Figur 10: Bilder på de passiva mätarna. Till vänster själva mätaren som suger in luft genom hålen. Till höger när den är uppsatt på en ställning med en kopp som regnskydd ovanpå.

Placeringen av både de passiva provtagarna samt mätskåpen ses i tabell 3 & figur 11.

Tabell 3: Tabell över de passiva provtagarnas placering

Mätare	1	2	3	4	5	6
Avstånd	0,2m framför skärm	1m bakom skärm	17m bakom skärm	40m bakom skärm	1m utan skärm	40m utan skärm



Figur 11: Karta över mätområdet som visar mätskåp (grön) och passiva provtagare (gul) (Google Maps, 2021d)

Analys av mätdata & jämförelse med modell

Passiva mätare

Efter att de passiva mätarna plockats ned skickades de in för analys. Analysen ger ett medelvärde för varje passiv mätare under den tiden som den satt uppe, totalt 18 medelvärden, tre för varje plats. Denna data slogs ihop och ett medelvärde räknades ut för hela perioden för att se hur de genomsnittliga totala halterna avtar med avstånd från skärmen. Det är dock viktigt att poängtera att halterna från de passiva mätarna inte bara kommer från Bergslagsvägen utan de kan också påverkas av andra källor runtomkring vid andra vindriktningar än just sydlig.

Mätskåp

Vid analys av mätdata från de kontinuerliga mätarna i mätskåpen användes data från hela mätperioden (4/3–20/5 2021) med endast sydlig vind (135–225°). Sedan gjordes en linjär regression mellan halterna och en trendlinje med linjens ekvation med ett 95% konfidensintervall (KI) togs fram. Med hjälp av dessa värden får man fram ett resultat för hur stor effekt skärmen har.

Jämförelse mellan modell och mätningar

Vid jämförelse av mätdata och modell användes perioden 30/3–16/4 2021. Perioden valdes då det fanns tillgängliga trafikdata som användes i modelleringen för att få ett resultat så likt verkligheten som möjligt och att jämförelsen med mätdata blir så bra som möjligt.

Två olika metoder användes. I den första användes enbart timmar då vindriktningen var 135–225°. För modellen användes modellerad vindriktning vid Bergslagsvägen medan mätdata nyttjade uppmätt vindriktning vid Bergslagsvägen. Uppmätta NO_x-halter på norra sidan subtraherades med de på södra sidan, detta för att säkerställa att det precis som i modellen endast är NO_x från Bergslagsvägen som

bidrar till halterna bakom skärmen. Endast tidpunkter där halterna på norra sidan var större än på södra användes, annars blir halterna negativa vilket inte är realistiskt och ger felaktiga resultat längre fram. Sedan räknades en kvot ut mellan NO_x -halterna med skärm och utan skärm för varje tidpunkt, både för modellerade och uppmätta värden. Detta för att få fram effekten av skärmen vid varje tidpunkt. Av kvoterna räknades sedan medelvärde ut med ett konfidensintervall på 95%. Det var dessa två som jämfördes med varandra. Här jämförs alltså inte specifika timmar med varandra utan modell och mätdata kan ha olika många tidpunkter med vindriktning inom det specifika vindintervallet. Det är medelvärdet mellan modell och mätdata som jämförs.

I andra metoden användes endast tidpunkter när vindriktningen var 170–190°. Effekten av skärmarna för modellerade och uppmätta data räknades ut på samma sätt som i första metoden men här tillämpades uppmätt vindriktning för både modell och mätdata. Detta för att kunna jämföra NO_x -halter vid specifika timmar med varandra via linjär regression. Linjär regression genomfördes mellan modellerade och uppmätta värden och en trendlinje med linjens ekvation med ett 95% KI togs fram. Detta visar hur väl halterna från modell och mätare korrelerar och om de ger liknande resultat.

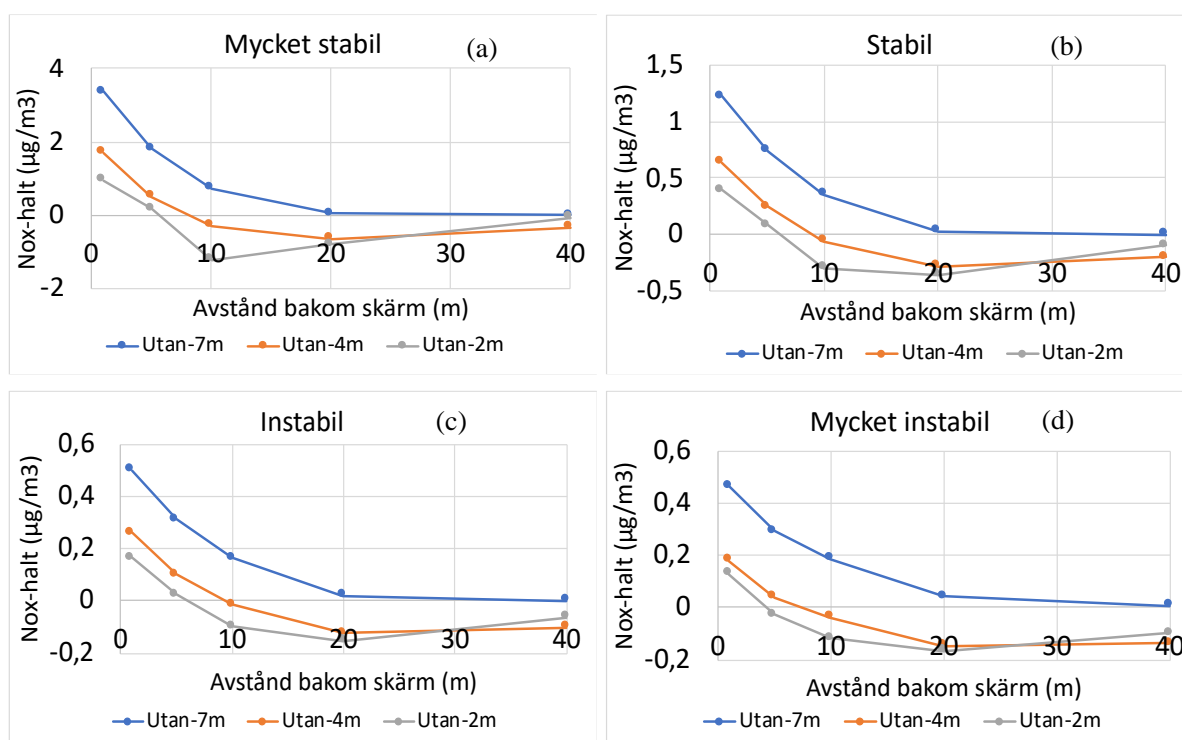
Resultat

Modellering

I figur 12 visas skillnad i NO_x -halt mellan utan skärm och med skärm vid olika stabilitet, skärnhöjder och avstånd från skärmen. Där syns tydligt att bullerskärmar har en effekt på halterna av NO_x i marknivå (2 meter) bakom skärmen. Jämförs de olika skärnhöjderna syns det att högre skärm ger en större reduktion av NO_x samt att minskningen är som störst närmast skärmen och sedan avtar med avstånd.

En 7 meter hög skärm reducerar halterna ända bort till 40 meter bakom skärmen, även om den största effekten syns inom 20 meter från skärmen. En 4 och 2 meter hög skärm reducerar halterna upp till 10 respektive 5 meter, sedan blir skillnaderna negativa i figuren. Detta innebär att efter dessa avstånd är halterna utan skärm lägre än med skärm vilket visar att halterna avtar snabbare med avståndet utan skärm. Vid cirka 20 meters avstånd för en 7 meter hög skärm och 40 meters avstånd för 4 och 2 meter hög skärm är skillnaderna så små att bakgrundshalt har uppnåtts.

I graferna syns också att stabilitetsförhållandena i luften påverkar utspädningen av NO_x , då reduktionen blir större vid mer stabila förhållanden, även om mönstret är detsamma över alla grafer. Det kan förklaras av att vid instabila förhållanden blandas luften vertikalt både utan och med skärm, skärmens bidrag till vertikala omblandningen blir alltså mindre betydelsefull. Vid stabila förhållanden hämmas den vertikala luftomblandningen och skärmens effekt på den vertikala luftomblandningen blir då större jämfört med fallet utan skärm.



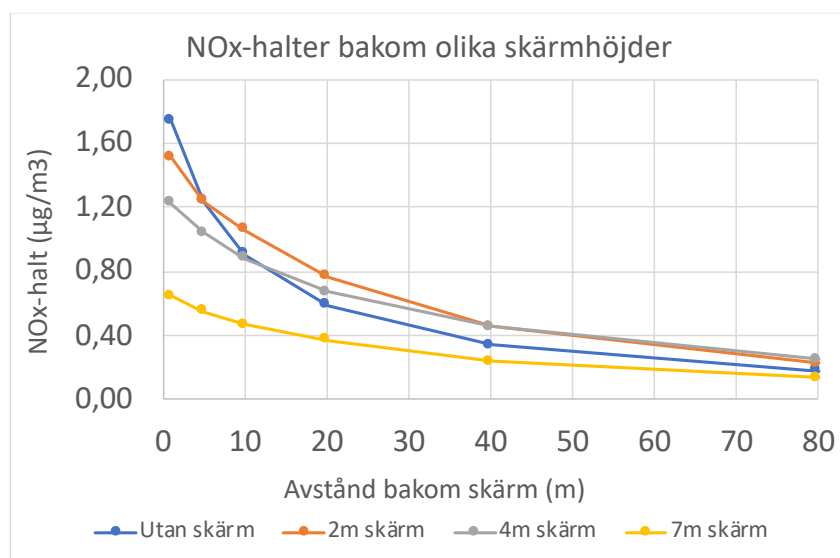
Figur 12: Skillnad i NO_x -halt mellan utan skärm och med skärm för mycket stabilt (a), stabilt (b), instabilt (c) och mycket instabilt (d) förhållande vid olika skärnhöjder och avstånd från skärmen vid 2 meters mätthöjd.

Studerar kvoterna mellan de olika skärnhöjderna, det vill säga den procentuella effekten en skärm har jämfört med utan följer de liknande mönster som figur 12. En 7 meter hög skärm har över 90% effekt precis bakom skärmen för att sedan sjunka till cirka 70% vid 40 meters avstånd. En 4 meter hög skärm har cirka 40–50% effekt precis bakom för att sedan sjunka till cirka 10 meter där den når noll. För 2-metersskärmen är effekten något lägre, cirka 25–30% precis bakom för att sedan sjunka och nå noll vid cirka 5 meters avstånd. För modellerade värden syns alltså en effekt av skärmen upp till 2,5–3 skärnhöjder (H) bakom skärmen.

Det är inte bara skärnhöjden som kan tänkas påverka halterna av luftföroreningar. Även vindhastigheten spelar stor roll. Halterna bakom skärmen, oavsett höjd är upp till cirka 75% lägre vid vindhastigheter på 8 m/s jämfört med 2 m/s. Detta då högre vindhastighet ofta ger mer turbulent omblandning och spridning av föroreningarna.

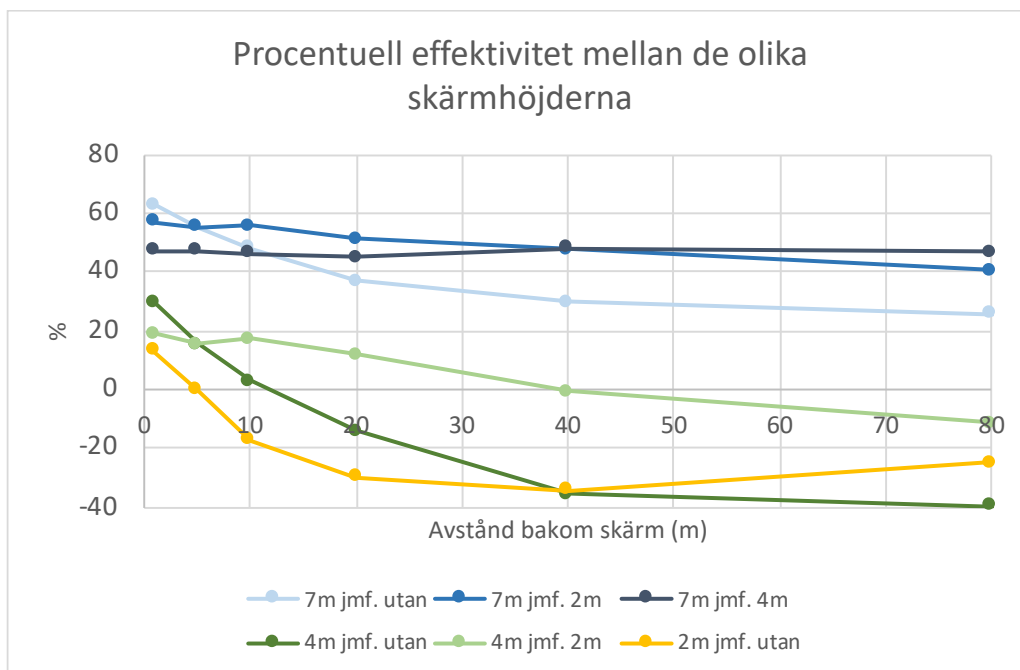
Verklig modellkörning

I modelleringen med verkliga väder- och trafikförhållanden (figur 13) avtar NO_x -halterna med avstånd för alla skärnhöjder och når en liknande halt efter cirka 40 meter. Intressant är att 7-metersskärmen är den enda som kontinuerligt har lägre halter än fallet utan skärm, medan 2- och 4-metersskärmarna endast har lägre halter 5–10 meter bakom. Detta stämmer väl överens med modellkörningarna med de olika meteorologiska fallen i sektionen ovan.



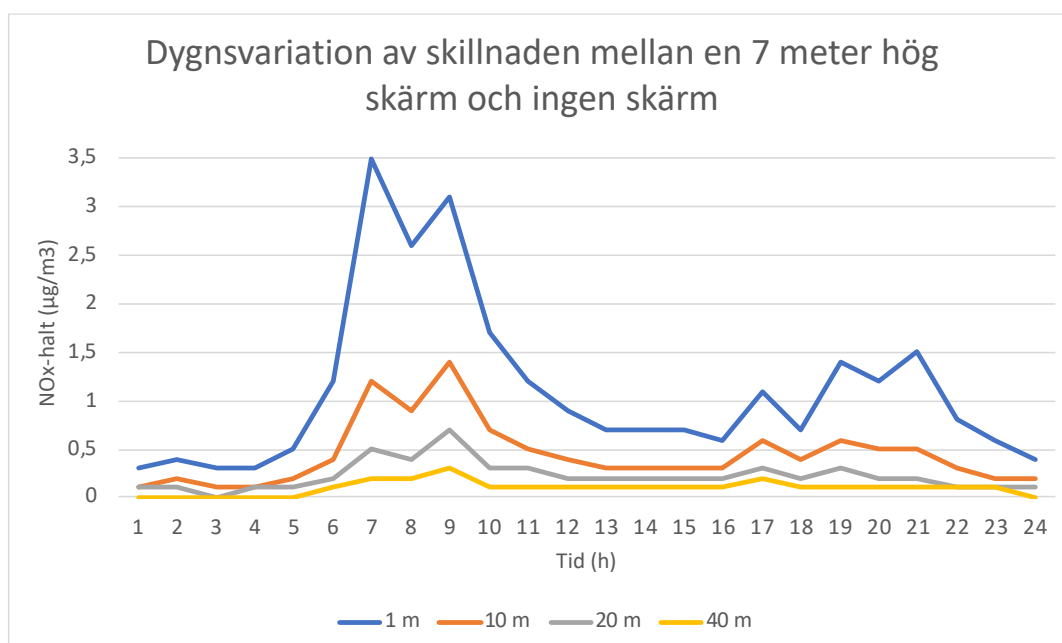
Figur 13: NO_x -halter vid olika avstånd bakom skärmen med olika skärnhöjder vid 2 meters mätthöjd

Figur 14 nedan visar att det i medeltal är cirka 25–60 % lägre halter bakom en 7 meter hög skärm jämfört med utan och effekten blir lägre med ökande avstånd (ljusblå). Med en 4 meter hög skärm är effekten cirka 30 % närmast skärmen men efter 10 meter uppvisar fallet med skärm högre halter än i fallet utan skärm (mörkgrön). Liknande resultat syns vid användandet av en 2 meter hög skärm men här är effekten ännu lägre och effekten blir negativ redan efter 5 meter (gul). I denna modellering ger alltså en skärm, oavsett höjd ger en sänkning av halterna precis bakom skärmen. Vill man ha effekt även på längre avstånd måste man ha en högre skärm. Man ser också att en 7 meter hög skärm är cirka 40–60 % mer effektiv att reducera halterna jämfört med de lägre skärnhöjderna (mörkblåa) och att den 4 meter höga skärmen är mer effektiv än 2-metersskärmen inom 40 meters avstånd (ljusgrön).



Figur 14: Procentuell effektivitet mellan olika skärmhöjder vid 2 meters mätthöjd

Något som kan vara intressant att veta är när effekten av skärmen är som störst. Människor rör sig ute mest under dagtid och det är då högst effekt är mest önskvärt. Rent procentuellt kan skillnaden vara störst på natten men halterna är då mycket lägre, medan skillnaden i absoluthalt är större en annan tidpunkt på dagen. Nedan (figur 15) syns att skillnaden i absoluthalt mellan en 7 meter hög skärm och ingen skärm är som högst under morgon- och kvällsrusningen. Reduktionen av halterna är alltså störst då flest människor vistas ute.



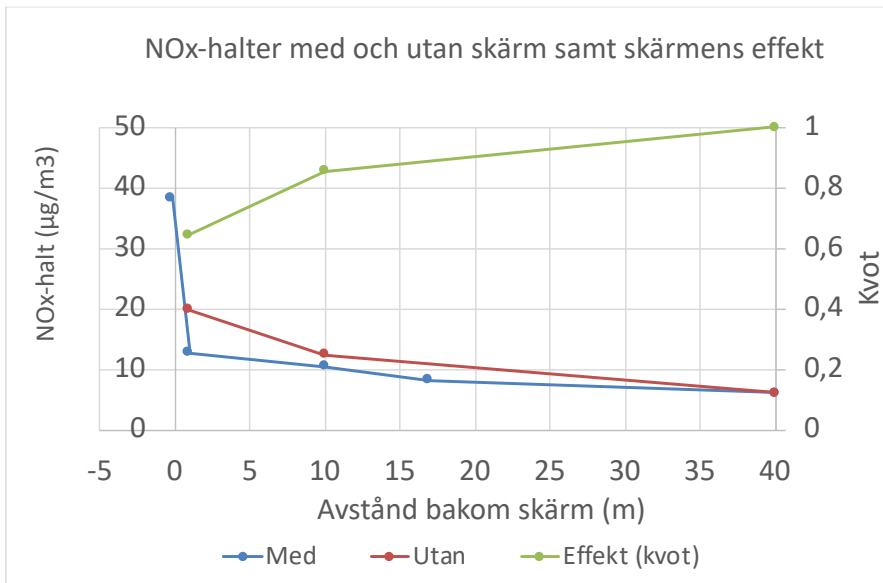
Figur 15: Dygnsvariation av skillnaden mellan en 7 meter hög skärm och ingen skärm vid olika avstånd bakom skärmen

Mätdata

Passiva mätare

Nedan (figur 16) syns medelvärdet för de passiva mätarna under de tre veckor som de satt uppe, dessutom har ett mätvärde från den kontinuerliga mätningen vid 10 meter lagts in för att få en bättre gradient. I grafen finns även en linje som visar effekten av skärmen.

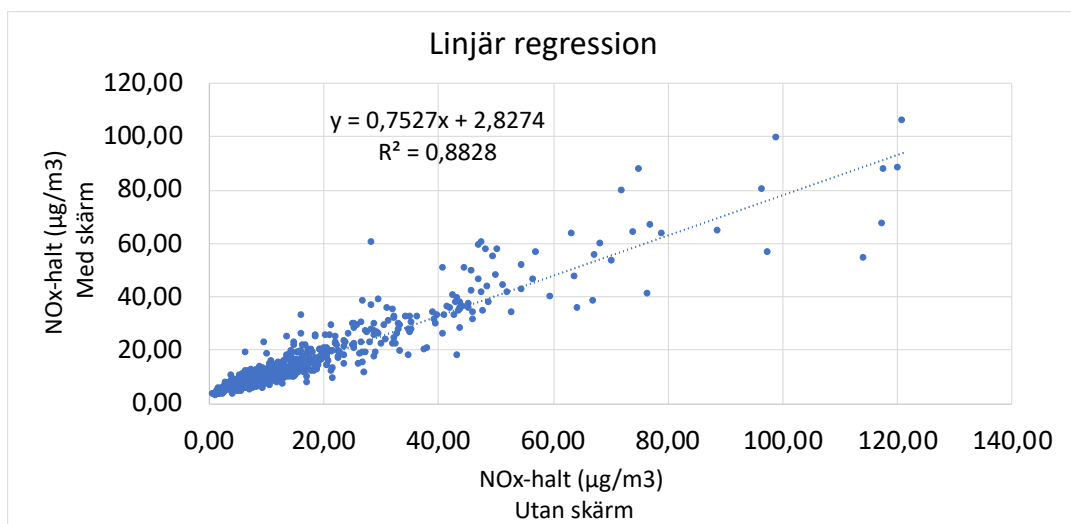
Grafen visar att mätarna utan skärm kontinuerligt har högre värden än de bakom skärmen, ända bort till 40 meter där halten är lika. Effekten är som störst närmast skärmen för att sedan sjunka med ökat avstånd. Detta är i linje med modelleringarna som presenterades tidigare i rapporten (figur 12 & 14).



Figur 16: Medelvärde av uppmätta halter från passiva provtagare (-2, 1, 17, 40 m) och mätskåp (10 m) under perioden 24/3–14/4 samt effekten av skärmen jämfört med utan.

Mätskåp

I figur 17 visas en linjär regression gjord av mätdata från de kontinuerliga mätningarna med ett 135–225° vindintervall. X-axeln visar halten utan skärm och y-axeln med skärm. Lutningen är $0,75 \pm 0,02$, vilket innebär att effekten av skärmen på 10 meters avstånd är 23–27 %, och interceptet, linjens skärning på y-axeln, är $2,8 \pm 0,5$. I detta fall bör interceptet vara så nära 0 som möjligt men att konstanten är högre innebär att det kan finnas systematiska fel, till exempel att mätarna inte är exakt kalibrerade eller att ena mätaren påverkas av något som den andra inte gör. Att R^2 värdet är 0,88 är också bra eftersom ju närmare 1 R^2 -värdet är ju bättre korrelerar de två olika dataserierna.



Figur 17: Linjär regression mellan uppmätta NO_x-halter med och utan skärm

Jämförelse mellan modell och mätningar

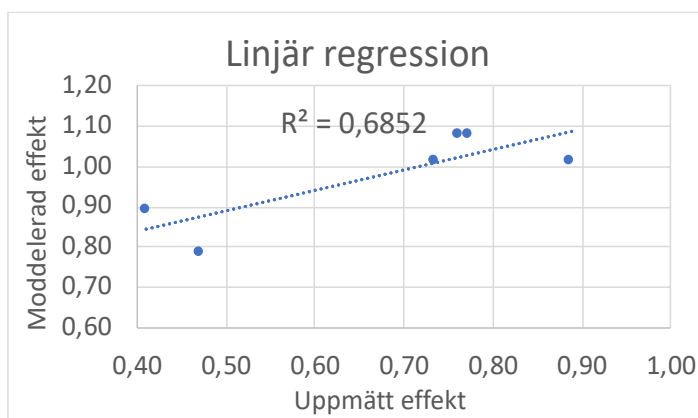
Vid jämförelse mellan modell och mätningar användes två metoder. Första metoden där data filtrerades utifrån ett 135–225° vindintervall visade resultatet nedan (tabell 4)

Tabell 4: Medelvärde med 95% KI av skärmens effekt för uppmätta och modellerade data

	Mätdata	Modell
Medelvärde	0,94	0,997
Konfidensintervall	0,18	0,041
Medel ± 95% KI	0,76-1,12	0,956-1,038

Varken för mätdata eller modell är medelvärdet skilt från 1 vilket innebär att en 2 meter hög skärm inte har någon signifikant effekt på NO_x-halterna 10 meter bakom skärmen vid den valda vindriktningen. Mätdata och modell stämmer alltså överens i den här jämförelsen.

Den andra metoden där linjär regression användes gav resultatet nedan (tabell 5 & figur 18).



Tabell 5: Kvoterna mellan med skärm och utan skärm för modellerade och uppmätta data. Samt medelvärde och 95% KI.

	Mätning	Modell
2021-04-01 20:00	0,47	0,79
2021-04-07 22:00	0,77	1,08
2021-04-08 01:00	0,41	0,89
2021-04-12 21:00	0,89	1,02
2021-04-12 22:00	0,74	1,02
2021-04-13 18:00	0,76	1,08
MEDEL	0,67	0,98
95% KI	0,15	0,09
Medel ± 95% KI	0,52-0,82	0,89-1,07

Figur 18: Linjär regression

Här syns att den uppmätta effekten är signifikant skilt från 1 medan modellen inte är det. Detta innebär att vid 170–190° vindriktning 10 meter bakom skärmen säger mätvärdena att skärmen har en effekt medan modellen säger att det inte finns någon effekt. Här stämmer alltså inte mätvärden och modell överens. Dock är R^2 -värdet i figur 18 bra. $R^2 = 0,6852$ innebär att modellen kan förklara cirka 69 % av variationerna i mätdata.

Med hjälp av dessa två jämförelser kan man konstatera att hypotesen *”jämförelser med mätningar visar att osäkerheten i de beräknade halterna med den testade beräkningsmodellen är mindre än 50%”* stämmer då medelvärdena ligger inom 50 % från varandra. Det finns dock en del viktiga osäkerheter och dessa kommer att diskuteras under avsnittet diskussion.

Diskussion

Modellering

Gällande modelleringen av de 18 olika meteorologiska fallen får man ha i åtanke att modelleringen är genomförd under "perfekta" förhållanden. Vinden är exakt sydlig och blåser i jämn hastighet och de övriga meteorologiska parametrarna är satta och ändras inte under körningens gång. Dessutom är trafikflödet konstant under dygnet för att inte det ska påverka resultatet. Man vill bara se skärmens påverkan och hur effekten potentiellt ändras med ändrad meteorologi. Utöver det så används bara den körbanan närmast skärmen och inte båda körriktningarna på Bergslagsvägen. Detta för att få en uniform föroreningsplym istället för två olika, vilket kan vara svårare att analysera. Endast föroreningarna från Bergslagsvägen modelleras, övriga föroreningar med andra ursprungskällor tas inte hänsyn till. Indata till modellen är alltså inte representativa för verkliga förhållanden

Intressant är ändå att körningen som pågår i 3 månader och som har med många av de verkliga parametrarna såsom trafikflöde och meteorologi uppvisar liknande resultat som körningarna med de fiktiva fallen. Hur långt bakom skärmen effekten sträcker sig för vardera skärnhöjd stämmer överens och hur stor effekten är för varje skärnhöjd är också liknande. Effekten är något lägre för modellkörningen med verkliga parametrar, men det är väntat då den omfattar alla typer av vind- och väderförhållanden och inte bara sydlig vind som bör ge störst effekt. Generellt ger ändå modellen med de olika meteorologiska fallen och modellen när man sätter in verkliga parametrar med varierande meteorologiska förhållanden liknande resultat vilket är positivt.

Positivt är också att modelleringen visar att skillnaden i absolut halt av NO_x bakom en 7 meter hög skärm och ingen skärm i figur 15 är som störst när halterna är som störst och när flest människor är ute och rör sig. Detta indikerar att skärmen skyddar människor mot höga föroreningshalter när det behövs som mest.

Något att ha i åtanke om man i framtiden planerar att uppföra bullerskärmar för att minska föroreningshalter är hur långt bakom skärmen man vill att effekten ska synas. I dessa modellerade fall är det endast 7-metersskärmen som kontinuerligt ger lägre halter än utan skärm vilket kan vara bra om man vill skydda ett lite större område bakom skärmen. Vill man bara skydda folk som går på en trottoar precis bakom skärmen och inte har några boende eller annat längre bort som kan påverkas av de förhöjda halterna som uppstår längre bort från skärmen kanske det räcker med en lägre skärm. Finns det däremot många som vistas, bor, arbetar eller går i skola längre bort från skärmen kan det vara så att en skärm leder till högre halter där jämfört med utan skärm. Detta backas även upp av tidigare forskning vilket går att läsa i bakgrunden. Även om skillnaderna i absolut halt är små på längre avstånd så kan det ändå ha betydelse för den samlade hälsoeffekten om många fler människor blir exponerade av förhöjda luftföroreningshalter på längre avstånd än några få precis vid skärmen.

Mätdata

Både de passiva och kontinuerliga mätningarna visar att en 2 meter hög skärm har effekt. De passiva mätningarna visar att skärmen har effekt ända upp till 40 meter bakom skärmen med cirka 20% effekt vid 10 meters avstånd och mätskåpen visar cirka 25% effekt vid samma avstånd. Detta stämmer inte överens med modelleringar som endast uppvisar en effekt upp till 5 meter bakom skärmen för en 2 meter hög skärm. Anledningarna till att dessa två metoderna inte stämmer överens kan vara många. Dels kan det bero på att modellen endast tar hänsyn till halterna som kommer från Bergslagsvägen. Mätarna mäter

alla halter i luften oavsett varifrån de kommer. Sen är modellen, som tidigare diskuterats inte helt och hållet representativ för verkliga förhållanden och alla parametrar som kan tänkas påverka resultaten där. Mer om det kommer att diskuteras i nästa sektion.

Jämförelse mellan modell och mätningar

Modellen är som diskuterades ovan, trots dess många ingångsparametrar, väldigt förenklad jämfört med verkligheten. Även mätdata kan ha en rad felkällor. Till att börja med är omgivningen inte helt slät vilket antas i modellen. I verkligheten är terrängen kuperad, det finns träd, buskar och annan växtlighet, trafik på smågatorna bakom skärmen och inte minst så finns det hus som kan påverka omblandningen av föroreningar. Osäkerheter finns också när det kommer till uppmätt vindhastighet och vindriktning. Vid väldigt låga vindhastigheter kan turbulensen som skapas av fordonen vara större än ”bakgrundsvinden” vilket kan ge missvisande resultat. Det är alltså väldigt viktigt att vara så noggrann som möjligt när man väljer vilka parametrar som ska användas i modelleringen för att få det så likt verkligheten som möjligt. Parametrar som visat sig vara viktiga i det här arbetet är framför allt meteorologiska indata så som vindhastighet och -riktning, stabilitet och z_0 -värde (ytans råhet). Är ytans naturliga råhet 0,3 meter finns en naturlig turbulens i luften på grund av det. Sätter man då skärnhöjden till 0 kan det ge missvisande resultat då man i princip förutsätter att marken är helt jämn och att det inte sker någon turbulent omblandning av luften utan skärm, vilket leder till överskattning av halterna. Dessutom tar inte modellen hänsyn till den turbulens som kan skapas av fordonen, vilket också har betydelse för att spåda ut luftföroreningarna.

En av de större bristerna med mätdata och när man ska jämföra dem med modelleringen i det här arbetet är att mängden mätdata var för liten. Det beror främst på att tillfällena med sydlig vind var få. Vädret är inget man kan påverka men hade projektet haft obegränsat med tid hade det varit önskvärt med längre mätserier för att få ett mer tillförlitligt resultat och säkrare slutsatser.

Vid jämförelse mellan modell och mätdata så stämde de överens i det fallet med breda vindintervall, där jämförelsen visade att ingen effekt av en 2 meter hög skärm fanns på 10 meters avstånd, medan de inte var samstämmiga i det smala vindintervallet. Att de inte stämde överens i det senare fallet beror antagligen på bristen på mätdata då det bara fanns sex tidpunkter att jämföra mellan. Linjära regressionen som gjordes hade ändå ett relativt högt R^2 -värde vilket pekar mot att de korrelerar hyfsat väl med varandra. Undersöker man dessutom tidigare forskning som har utvärderat denna modell visar resultaten att modellen stämmer relativt väl överens med mätdata där (Amini m.fl., 2016; Schulte m.fl., 2014).

Jämförelse med tidigare forskning

Precis som i tidigare forskning som gicks igenom i inledningen av denna rapport så blir resultatet även här att halterna av luftföroreningar, eller mer specifikt, NO_x , generellt sett minskar bakom skärmen. Hur långt denna zon sträcker sig bakom skärmen beror som sagt på skärmens höjd. Generellt sett gav i inledningen granskade artiklar (Amini m.fl., 2016; Baldauf m.fl., 2016; Bowker m.fl., 2007; Ghasemian m.fl., 2017; Hagler m.fl., 2011, 2012; Heist m.fl., 2009; Hoogwerff m.fl., 2010; Ning m.fl., 2010) upp till 60 % minskning med hjälp av skärmar vilket stämmer väldigt bra överens med modelleringen med verkliga parametrar i denna rapport där effektiviteten precis bakom skärmen var mellan cirka 15-60% (figur 14) för att sedan sjunka med avstånd. Modelleringen med de olika väderfallen (figur 12) uppvisar samma mönster men med en mycket större spridning på effektiviteten, mellan cirka 25–95%. Detta kan

möjligtvis bero på att man med de specifika väderfallen kan få mer extrema resultat i och med att man kan ändra på olika parametrar för att få väldigt specifika och gynnsamma väderförhållanden medan det i körningen med verkliga parametrar är ett medelvärde under 3 månader med många olika verkliga vädersituationer. Att jämföra mätdata med tidigare forskning blir komplicerat då osäkerheterna som sagt är stora på grund av litet underlag men potentiellt syns en effekt uppemot cirka 20–40% vilket skulle stämma överens med tidigare forskning.

Som väntat så avtar dessutom effektiviteten med avstånd från skärmen och högre skärm ger högre effektivitet, precis som i många andra artiklar, bland annat Amini m.fl., 2016 (figur 2). Bowker m.fl., 2007 och Ning m.fl., 2010 har dessutom sett att föroreningshalter bakom en skärm minskar långsammare än i fallet utan skärm och att plymen som trycks upp av skärmen sjunker ned mot marken efter ett visst avstånd bakom skärmen vilket ger en högre halt föroreningar där jämfört med utan skärm. Detta är något som syns i den verkliga körningen i denna rapport (figur 13) där halten är som högst närmast vägen utan skärm men sedan snabbt sjunker och faktiskt ger lägre halter än 2- och 4-metersskärmen från cirka 5–10 meter och längre bort. I figur 12 så syns det dessutom att mellan cirka 10 och 40 meters avstånd bakom skärmen så är skillnaden negativ för 2 och 4 meter höga skärmar, det vill säga att halterna är högre med skärm jämfört med utan vilket tyder på att något sorts "plymnedfall" kanske sker där eller att halterna helt enkelt avtar snabbare utan skärm om vinden får blåsa obehindrat. Detta resultat delas dock inte av exempelvis de passiva mätarna som visar effekt av skärmen ända upp till 40 meter.

De allra flesta artiklar, liksom denna rapport, undersöker endast helt vertikala bullerskärmar men skärmar kan även byggas i andra geometriska former. Detta undersöktes nyligen av Huertas m.fl., 2021. De genomförde modelleringar inte bara med vertikala skärmar utan också vinklade och böjda (bilaga 1). De fann att en ellipsformad skärm som är böjd mot vägen gav den största effekten jämfört med utan skärm. Kanske detta är något som kan undersökas i framtida rapporter och potentiellt kan användas som en åtgärd mot luftföroreningar längs hårt trafikerade vägar

Andra åtgärder

Det finns i grunden två olika typer av åtgärder mot luftföroreningar. Den ena minskar utsläppen från källan medan den andra minskar den mängd som redan finns i luften. Att minska utsläppen från källan är ofta en mer långsiktig och permanent lösning men tar ofta längre tid att genomföra och implementera medan åtgärder såsom bullerskärmar kan genomföras relativt snabbt men inte löser orsaken till själva problemet.

Bergslagsvägen är en någorlunda central väg med god förbindelse till kollektivtrafiken. Många av de som kör bil där skulle möjligtvis kunna ta kollektivtrafik istället. En studie skulle kunna genomföras där man undersöker var bilarna som kör på Bergslagsvägen kommer ifrån och var de ska, hur ser resmönstren ut och om man skulle behöva utöka eller förändra kollektivtrafiken på något sätt för att fånga upp en del av de som kör bil i dagsläget. En annan åtgärd är att förnya fordonsflottan. Detta kan uppnås med hjälp av exempelvis skatter, avgifter eller bonusar. Detta är inte något Trafikverket kan genomföra utan det måste ske genom lagändringar från riksdagen. Exempelvis så är ett av etappmålen i Sveriges klimatmål "Begränsad klimatpåverkan" att utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter ska ha minskat med minst 70% till 2030 jämfört med 2010 (Sveriges Miljömål, 2020).

Ovan nämnda åtgärder minskar utsläppen från källan men det finns också åtgärder för att minska de halter som redan finns i luften. Exempelvis kan man leda om trafiken så att utsläppen blir mer utspridda över en större yta eller bygga över vägen så att det blir en tunnel istället. Båda dessa två är väldigt omfattande och kräver stora logistiska insatser och kan bli väldigt dyra. Lars Anders Karlberg (2011)

på tidningen Ny Teknik refererar till Svevia som har tagit fram statistik kring kostnader för olika transportvägar. De menar att en 1 kilometer lång motorväg i tunnel kostar 1 miljard kronor att bygga. Att gräva ner den 660 meter långa vägsträcka längs Bergslagsvägen som har en bullerskärm skulle alltså kosta cirka 660 miljoner kronor i 2011 års pengavärde, vilket är cirka 718 miljoner kronor idag (Statistiska Centralbyrån, u.å.). Andra åtgärder som man gör inne i städer och tätbebyggda områden såsom införande av miljözoner och gånggator som ett medel för att minska trafiken är dessutom inte applicerbara på en större väg som Bergslagsvägen.

En åtgärd som är något lättare att genomföra och inte kräver något från förarna själva är att sätta upp gröna barriärer. En grön barriär är växter och träd som står längs vägen, som ska ha samma funktion som en bullerskärm samtidigt som det är estetiskt tilltalande. Det är inget som undersökts i den här rapporten, men en del av den tidigare forskningen som gicks igenom i inledningen har gjort detta (Ghasemian m.fl., 2017; Hagler m.fl., 2012). Där är resultatet att gröna barriärer ofta är väldigt osäkra och kan variera på grund av en mängd olika variabler. Vad man sett är att barriärer med högre densitet, det vill säga växtlighet som står tätt och har ett tätt lövtäcke har liknande effekt som skärmar men att effekten blir sämre ju lägre densiteten blir. Detta är bra att ha i åtanke om man planerar gröna barriärer i Sverige då träd och buskar under en stor del av året inte har några löv vilket gör att barriären skulle få försämrad funktion. Halterna kan till och med öka kring den gröna barriären då växtligheten minskar turbulensen i luften och bromsar upp vinden som inte kan sprida ut föroreningarna lika effektivt.

En annan relativt enkel åtgärd är dammbindning. Då sprids ett medel på vägarna som håller kvar dammet där så att det inte suspenderas upp i luften. Dammbindningen hjälper dock endast mot fasta partiklar såsom PM_{2.5} och PM₁₀, medan gaser så som NO_x inte påverkas. Bullerskärmar har den fördelen att de både kan minska gasformiga och partikulära föroreningar.

I inledningen nämndes ungefärlig tid och kostnad att uppföra en bullerskärm. Jämför man det med ovan nämnda åtgärder så kan man dra slutsatsen att sätta upp bullerskärmar således är något som man kan göra relativt fort, det kräver inte lika omfattande logistiska insatser såsom att gräva ned eller bygga om vägar och kostar dessutom inte lika mycket. Dessutom är resultatet mer säkert och jämnt fördelat över året än om man endast hade planterat växtlighet. De har även potentialen att minska halterna av både gasformiga och partikulära föroreningar vilket inte dammbindning har samtidigt som buller minskar. Dock kan halterna bli högre på längre avstånd bort från skärmen då föroreningarna sprids över ett större område, men det är något som det behövs mer forskning kring.

Slutsats

Bullerskärmar reducerar NO_x -halterna bakom skärmarna. Hur mycket beror på en mängd faktorer, bland annat höjd på skärmen, trafikflöde, meteorologi och hur långt bakom skärmen man undersöker. Just meteorologi är en av de viktigare parametrarna då den påverkar turbulensen i luften som i sin tur påverkar spridningen av föroreningar. I modelleringen i detta arbete ger en 7 meter hög skärm en minskad halt NO_x under hela det undersökta avståndet (40 meter), med störst effekt de första 20 meterna medan en 2 och 4 meter hög skärm ger minskad halt inom respektive 5–10 meter. Mätningarna hade lite för få data för att kunna dra några säkra slutsatser men resultaten pekar ändå mot att den undersökta skärmen minskar halterna bakom skärmen med cirka 30%. Hur höjden påverkar reduktionen av NO_x har undersökts i modelleringen och resultatet visar klart och tydligt att en högre skärm ger en lägre halt bakom skärmen.

Efter att ha studerat tidigare forskning, undersökt effektiviteten av bullerskärmar samt kostnader och uppförandetid och jämfört det med andra åtgärder så som gröna barriärer och tunnlar står det klart att bullerskärmar är en åtgärd som har påvisad effekt på föroreningshalter bakom skärmen samtidigt som det är jämförelsevist billigt och snabbt att uppföra. Det är dessutom en lösning som har dubbel effekt då den minskar de flesta typer av luftföroreningar men även buller. Dock kan halterna potentiellt bli högre på längre avstånd då föroreningsplymen trycks uppåt av skärmen och sprids över ett större avstånd varför det är viktigt att undersöka hur befolkningen är utspridd i området kring skärmen.

Dataunderlaget är lite litet för att kunna dra en säker slutsats kring huruvida modell och mätdata stämmer överens i det studerade fallet längs Bergslagsvägen. Men den data som samlades in i det här arbetet tycks ändå peka emot att modellen och mätdata generellt sett stämmer överens och den gör ett hyfsat bra jobb med att förutsäga variationerna i mätdata. Detta stärks med hjälp av att tidigare forskning har visat att modellen gör ett bra jobb med att förutsäga mätdata. Dessutom är osäkerheterna i mätdata jämfört med modellerade mindre än 50 %, vilket är kravet för användning av modeller för att kontrollera miljö kvalitetsnormer. En av de större skillnaderna är ändå att modelleringarna generellt visar effekt på kortare avstånd bakom skärmen medan mätningarna visar effekt på längre avstånd.

Sammanfattningsvis visar det sig att alla hypoteserna som ställts upp i inledningen av arbetet stämmer även om det finns reservation för osäkerheter kring den sista.

Något som hade varit intressant att undersöka vidare är hur bebyggelse bakom skärmen påverkar vindarna och turbulensen vilket påverkar spridningen av föroreningarna. Samt om spridningen av föroreningar av skärmarna över ett större område kan öka befolkningens exponering och hälsopåverkan. Detta kräver en mer avancerad modell och var inget som det fanns plats eller tid för i detta arbete. Mer forskning på gröna barriärer i vårt nordiska klimat är också av intresse då det har potential att minska föroreningar men samtidigt vara estetiskt tilltalande och uppfylla många ekosystemtjänster.

Tack till...

Först och främst vill jag tacka mina två handledare; Michael Norman på SLB-analys och Christer Johansson på SLB-analys/Stockholms universitet. Ni har alltid varit tillgängliga att hjälpa mig och svara på mina frågor under hela arbetets gång, läst och kommenterat min rapport och kommit med hjälpsamma tips och idéer som har hjälpt mig framåt. Det här examensarbetet har definitivt inte varit lätt men ni gjorde det väldigt mycket lättare.

Max Elmgren på SLB-analys ska även ha ett tack för att han har hjälpt mig med uppsättning och insamling av de passiva provtagarna vid Bergslagsvägen.

Dessutom vill jag tacka Monica Waaranperä från Trafikverket som tidigt i projektet gav mig en introduktion till bullerskärmar och svarade på mina frågor och funderingar jag hade om dem. Ytterst hjälpsamt!

Sist men inte minst ett stort tack till alla föreläsare, studenter och andra personer som varit inblandade under de här två åren på masterprogrammet i miljö- och hälsoskydd. Jag har lärt mig massor av er och haft en fantastiskt rolig tid på programmet med er trots att en stor del av det tyvärr fick utföras hemifrån på distans.

Referenser

- Amini, S., Enayati Ahangar, F., Schulte, N., & Venkatram, A. (2016). Using models to interpret the impact of roadside barriers on near-road air quality. *Atmospheric Environment*, *138*(2016), 55–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.001>
- Baldauf, R. W., Isakov, V., Deshmukh, P., Venkatram, A., Yang, B., & Zhang, K. M. (2016). Influence of solid noise barriers on near-road and on-road air quality. *Atmospheric Environment*, *129*(2016), 265–276. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.01.025>
- Bowker, G. E., Baldauf, R., Isakov, V., Khlystov, A., & Petersen, W. (2007). The effects of roadside structures on the transport and dispersion of ultrafine particles from highways. *Atmospheric Environment*, *41*(2007), 8128–8139. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.06.064>
- Engqvist, E., Schödin, G.-I., & Thorén, L. (2006). *Råd och rekommendationer vid uppförande av bullerdämpande vallar och skärmar* (2006:94). Vägverket Region Skåne.
- 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*(2010), 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.012>
- Ghasemian, M., Amini, S., & Princevac, M. (2017). The influence of roadside solid and vegetation barriers on near-road air quality. *Atmospheric Environment*, *170*(2017), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.028>
- Google Maps. (2021a). [Map]. <https://www.google.se/maps/@59.3388916,17.9147814,960m/data=!3m1!1e3> (Hämtad 3/3-2021)
- Google Maps. (2021b). [Map]. <https://www.google.se/maps/@59.342448,17.9164388,120m/data=!3m1!1e3> (Hämtad 3/3-2021)
- Google Maps. (2021c). [Map]. https://www.google.se/maps/@59.3423263,17.9177181,3a,55.1y,27.03h,85.7t/data=!3m6!1e1!3m4!1sNCVldvOWqzUKH_L0vOLTnw!2e0!7i16384!8i8192 (Hämtad 3/3-2021)
- Google Maps. (2021d). [Map]. <https://www.google.se/maps/@59.3424652,17.9169363,224m/data=!3m1!1e3> (Hämtad 7/4-2021)
- Gustafsson, M., Lindén, J., Tang, L., Forsberg, B., Orru, H., Åström, S., & Sjöberg, K. (2018). *Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts* (Nr C317). IVL Swedish Environmental Research Institute. <http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1242584/FULLTEXT01.pdf>
- Hagler, G. S. W., Lin, M.-Y., Khlystov, A., Baldauf, R. W., Isakov, V., Faircloth, J., & Jackson, L. E. (2012). Field investigation of roadside vegetative and structural barrier impact on near-road ultrafine particle concentrations under a variety of wind conditions. *Science of the Total Environment*, *419*(2012), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.002>
- Hagler, G. S. W., Tang, W., Freeman, M. J., Heist, D. K., Perry, S. G., & Vette, A. F. (2011). Model evaluation of roadside barrier impact on near-road air pollution. *Atmospheric Environment*, *45*(2011), 2522–2530. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.030>
- Heist, D. K., Perry, S. G., & Brixey, L. A. (2009). A wind tunnel study of the effect of roadway configurations on the dispersion of traffic-related pollution. *Atmospheric Environment*, *43*(2009), 5101–5111. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.034>
- Hooghwerff, J., Tollenaar, C. C., & van der Heijden, W. J. (2010). *In-situ air quality measurements on existing and innovative noise barriers*. 129–139. <https://doi.org/10.2495/AIR100121>

- Huertas, J. I., Aguirre, J. E., Lopez Mejia, O. D., & Lopez, C. H. (2021). Design of Road-Side Barriers to Mitigate Air Pollution near Roads. *Applied Sciences*, 11(5), 2391. <https://doi.org/10.3390/app11052391>
- Johansson, C., & Lövenheim, B. (2020). *Effekt på PM10 av en bullerskärm i anslutning till GC-väg Tvärförbindelse Södertörn* (29:2020). SLB-Analys.
- Lars Anders Karlberg. (2011). *Så långt räcker 1 miljard*. Ny Teknik. <https://www.nyteknik.se/bygg/sa-langt-racker-1-miljard-6403890> (Hämtad 16/3-2021)
- McNabola, A., Broderick, B. M., & Gill, L. W. (2008). Reduced exposure to air pollution on the boardwalk in Dublin, Ireland. Measurement and prediction. *Environment International*, 34(2008), 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.07.006>
- Monica Waaranperä, Trafikverket. (2021, januari 21). *Samtal via zoom* [Personlig kommunikation].
- Monica Waaranperä, Trafikverket. (2021, februari 26). *E-post—Bullerskärmar* [Personlig kommunikation].
- Naturvårdsverket. (2020a). *Luftstatistik—Utsläpp av kväveoxider till luft från vägtransporter*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Kvaveoxider-utslapp-till-luft-fran-vagtransporter/> (Hämtad 18/5-2021)
- Naturvårdsverket. (2020b). *Miljö kvalitetsmålet Frisk luft*. <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Frisk-luft/> (Hämtad 7/12-2020)
- 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. *Atmospheric Environment*, 44(2010), 3118–3127. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.05.033>
- Schulte, N., Snyder, M., Isakov, V., Heist, D., & Venkatram, A. (2014). Effects of solid barriers on dispersion of roadway emissions. *Atmospheric Environment*, 97(2014), 286–295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.026>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (2:a uppl.). Wiley-Interscience.
- SMHI. (2020). *Sveriges klimat*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-1.6867> (Hämtad 26/1-2021)
- Statistiska Centralbyrån. (u.å.). *Prisomräknaren*. Sverige i siffror. <http://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/prisomraknaren/> (Hämtad 16/3-2021)
- Sveriges Miljömål. (2020). *Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter*. <https://sverigemiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-fran-inrikes-transporter/> (Hämtad 3/3-2021)
- Trafikverket. (2020). *Utvärdering av vägbulleråtgärder (Väg-BUSE)—Excelfil+manual*. Trafikverket. <https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/Prognos--och-analysverktyg/BUSE/> (Hämtad 1/3-2021)
- US EPA. (2017). *Air Quality Dispersion Modeling—Preferred and Recommended Models*. <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models> (Hämtad 15/12-2020)
- Xing, Y., & Brimblecombe, P. (2018). Dispersion of traffic derived air pollutants into urban parks. *Science of The Total Environment*, 622–623, 576–583. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.340>

