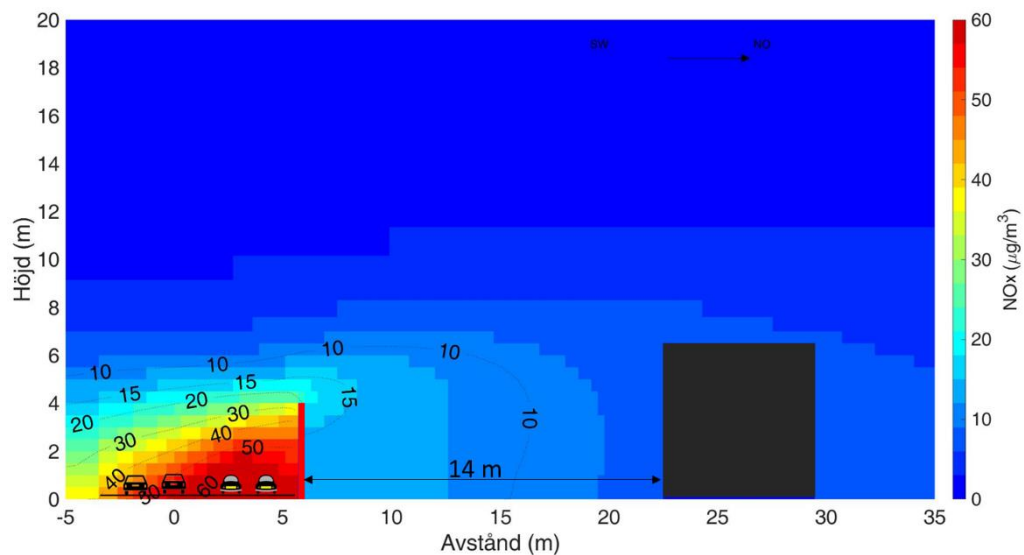


Bullerskärmaras inverkan på luftkvaliteten

Modellberäkningar 2021 och 2022

Christer Johansson, Beatrice Säll och Daniel Schlesinger



Utfört på uppdrag av Trafikverket

SLB-analys, Februari 2023

SLB 20:2023



Uppdragsnummer	2020060
Daterad	2023-03-03
Handläggare	Christer Johansson
Status	Granskad av Michelle Benyamine, Jesper Lindgren TRV

Förord

Denna utredning är genomförd på uppdrag av Trafikverket (FOI portföljen Bygga) av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. Detta är den tredje rapporten från projektet och den har sammanställts av Christer Johansson, Beatrice Säll och Daniel Schlesinger.

Uppdragsgivare för utredningen är Michelle Benyamine-Remahl vid Trafikverket.

Innehåll

Sammanfattning	2
Syfte	2
CFD modellering Bergslagsvägen	2
Tester av den förenklade modellen (RLINE)	2
Modellering Norrortsleden med RLINE	3
Minskad hälsopåverkan med bullerskärmar	3
Diskussion med slutsatser	4
Inledning	5
CFD modellering Bergslagsvägen	6
Miskam modellen.....	6
Modellen RLINE	13
Känslighetstester av RLINE	13
Haltförändring beroende på geometrin.....	15
Effekt av meteorologiska förhållanden	17
Olika stabilitet.....	17
Vindhastighet och -riktning.....	17
Slutsatser från känslighetstesterna med RLINE modellen.....	19
Modellering Norrortsleden med RLINE	20
Minskad hälsopåverkan med bullerskärmar	23
E20 Västertorp/Fruängen.....	23
Befolkningsexponering	25
E18 Hägernäs/Viggbyholm	26
Befolkningsexponering	27
Diskussion med slutsatser	28
Skärmar kan bidra till minskad befolkningsexponering.....	28
Höga skärmar krävs för att minska exponeringen på gång och cykelbanor nära vägar	28
Det krävs höga skärmar för att det ska vara en effektiv åtgärd minska luftföroreningshalterna	28
Referenser	30
Bilaga. Känslighetstester med RLINE modellen	31

Sammanfattning

Syfte

Utredningen har genomförts i syfte att kvantifiera betydelsen av bullerskärmar för att förbättra luftkvaliteten bakom skärmarna. Denna delrapport redovisar resultaten från modellberäkningar vid Bergslagsvägen och Norrortsleden. Dessutom redovisas en analys av den förenklade modellens känslighet för olika meteorologiska förhållanden samt hur befolkningsexponering och hälsoeffekter påverkas med skärmar längs E4 respektive E18.

CFD modellering Bergslagsvägen

En 3-dimensionell strömningsmodell (CFD: Computational Fluid Dynamics) har använts för att undersöka effekten av bullerskärmen längs Bergslagsvägen. Beräkningarna har analyserat variationen i halterna beroende på höjd över marken och avstånd från skärmen samt hur halterna påverkas av:

- skärmens höjd (2m, 4m samt utan skärm)
- hur fordonsemissionerna är fördelade
- närliggande byggnaders effekt

På höjder lägre än skärnhöjden har bullerskärmen en avskärmande effekt på haltbidraget från Bergslagsvägen. En 4 m hög skärm har större avskärmande effekt än en 2 m hög skärm. Den 4 m höga skärmen leder också till högre halter på vägbanan på grund av den större avskärmningen. I fallet med en 2 m hög bullerskärm syns att halterna som ansamlas på vägbanan till följd av skärmens avskärmande effekt spillas över skärmen och halterna i ett område direkt bakom skärmen blir högre med skärm än utan. I fallet med ett 4 m hög skärm syns inte samma överspill utan halterna är lägre med bullerskärm än utan trots att halterna på vägbanan är betydligt högre än utan skärmen. Däremot sprids halterna in över ett större område där skärmen tar slut. För att minska exponeringen för cyklister bekom skärm krävs minst 4 m hög skärm.

Halternas relativa variationer beroende på avstånd från skärmen är samma för NO_x och PM10 om man antar att det bara är utspädningen på grund av luftens turbulens som påverkar halterna, dvs ingen deposition på skärm eller andra ytor. Halten på 2 m höjd bakom en 2 m hög skärm beräknas vara högre än utan skärm på upp till ca 13 m från skärmen. I zonen 3 m bakom skärmen är haltskillnaden som högst, ca 30 % högre med skärm än utan. På avstånd längre än 13 m från skärmen är halten ca 6 % lägre med skärm än utan för båda ämnena. För en 4 m hög skärm är halten lägre med än utan skärm oavsett avstånd från skärmen. Störst minskning beräknas ca 10 m från skärmen med 20 % lägre halt med än utan skärm.

Tester av den förenklade modellen (RLINE)

RLINE modellen, som är en del i en amerikansk modell Aermod, har implementerats i Airviro systemet och testats dels för att kontrollera att modellen ger rimliga resultat, dels för att se hur känsliga resultaten är för olika parametrar. Testerna har gjorts över en plan, homogen yta för att renodla testerna så att inga topografiska effekter påverkar meteorologin och halterna. Kvalitativt överensstämmer resultaten från RLINE med resultaten baserat på CFD beräkningarna.

- Generellt förändras halterna nedvinds från en bullerskärm genom att de förs med luften över skärmen, fördelas horisontellt och vertikalt och späds ut.
- Haltändringarna på olika höjder och avstånd beror på skärnhöjden och meteorologiska förhållanden med komplexa – icke-linjära – samband.
- Jämfört med halterna utan skärm är halterna på 2 m höjd nedvinds från en skärm generellt högre inom en kort distans bakom om skärmen som beror på skärmens höjd och de meteorologiska förhållandena. Halterna är lägre på större avstånd med undantag av vissa meteorologiska

förhållanden då haltminskningen är som störst på en viss distans efter skärmen och avtar därefter. Under vissa speciella vindförhållanden med en vind som är 90 grader (vinkelrät) i förhållande till skärmen med vindhastigheten 8 m/s eller vind med en komponent längs med skärmen, kan skärmen t o m ge upphov till halter som är högre än eller samma som utan skärm på vissa avstånd ≥ 100 m. Nettoeffekten av en skärm på årsmedelvärdena beror på förekomsten av olika meteorologiska förhållanden under det aktuella året.

- Avståndet mellan körfältet och skärmen visar sig ha liten betydelse för halterna bakom skärmen för avstånd mellan 1 och 2 skärnhöjder.
- Modellen genererar högre halter än utan skärm uppvindts från skärmen på ca $\frac{3}{4}$ skärnhöjd över marken på grund av att halterna tvingas upp med luften.

I stort sett stämmer dessa resultat (kvalitativt) med vad som skulle förväntas baserat på studier publicerade i den vetenskapliga litteraturen.

Modellering Norrortsleden med RLINE

Modellberäkningar med RLINE har jämförts med uppmätta halter i anslutning till skärmen vid Norrortsleden. För att kunna jämföra beräkningarna med uppmätta halter definierades ett antal kriterier:

- Endast vardagar (data från 25 februari – 31 maj 2022)
- Endast sydliga vindar med vindriktningar mellan 110 och 230 grader med vindhastigheter > 1.5 m/s, enligt mätningarna vid Norrortsleden (mät punkt S)
- Endast värden då NO_x halterna på NV sidan (bakom skärmen) är $> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Med dessa kriterier är överensstämmelsen mellan modellen (RLINE) och uppmätta halter mycket bra. Determinationskoefficienten R^2 är 0.7 och lutningen 0.70 ± 0.24 utan bias.

Det betyder att modellen verkar ge rimliga kvantitativa effekter av en bullerskärm på halterna av inerta ämnen. Modellen kan inte ta hänsyn till depositionsprocesser eller vegetationseffekter.

Minskad hälsopåverkan med bullerskärmar

För att illustrera potentiella hälsovinsten av minskad luftföroreningsexponering (i detta fall kväveoxider, NO_x) med bullerskärmar längs statliga motorvägar genomfördes beräkningar över större befolkade områden, söder och norr om E20 och E18. Beräkningarna avser ett årsmedelvärde 2 meter över marken och har genomförts med olika höjd på skärmen: 2 m, 4 m, 6 m och 8 m, samt även utan skärm. De simulerade bullerskärmarerna löper 2 meter från väggkanten längs hela vägsträckningen. Beroende på skärmens höjd så kan halterna vara något högre med skärm än utan, men mer än några tiotal meter från skärmen så är halterna 2 meter över marken lägre med skärm än utan skärm och det detta gäller även för en skärm som bara är 2 meter hög. Med en 4 meter hög skärm är halterna mellan 5 % och 10 % lägre och med en 8 meter hög skärm 10 % till 20 % lägre jämfört med utan skärm. Minskningen är lite större söder om E20 och E18 jämfört med norr om, vilket skulle kunna bero på frekventare förekomster av något lägre vindhastigheter och/eller något mer stabila meteorologiska situationer vid nordliga vindar jämfört med sydliga.

Även om förändringen i de befolkningsviktade halterna är liten så blir påverkan på antal färre förtida dödsfall inte försumbar – i alla fall med en skärm som är 4 meter eller högre. I fallet med E20 beräknas ca 5 färre förtida dödsfall per 100 000 invånare med 4 meter hög skärm. Med en 8 meter hög skärm uppskattas 13 färre förtida dödsfall per 100 000 invånare. För E18 beräknas upp till 10 färre förtida dödsfall per 100 000 invånare med 8 meter höga skärm på ena sidan av motorvägen.

Med skärmar på båda sidorna kan effekten bli dubbelt så stor beroende på var folk bor i förhållande till vägen.

Diskussion med slutsatser

Våra tester vid Norrortsleden visar att implementationen av RLINE i Airviro systemet ger god överensstämmelse med mätningarna. RLINE är att det går relativt lätt att applicera modellen för att få en uppfattning om hur skärmar kan påverka årsmedelhalter och även befolkningens exponering i ett större beräkningsområde. Implementeringen i Airviro systemet innebär att man för varje väglänk specificerar höjden på skärmen, avstånd från vägmitt och på vilken sida av vägen som skärmen är placerad. I stort sett stämmer dessa resultat (kvalitativt) med vad som skulle förväntas baserat på studier publicerade i den vetenskapliga litteraturen. Jämförelser med mätningar vid Norrortsleden visar att modellen ger rimliga kvantitativa effekter av en bullerskärm på halterna av inerta ämnen. Modellen kan inte ta hänsyn till depositionsprocesser eller vegetationseffekter, som framförallt kan ytterligare minska halterna av PM10.

RLINE modellen kan dock inte användas i komplexa situationer där topografi eller byggnader påverkar omblandningen. I sådana fall måste tredimensionella strömningsmodeller användas. Vi har demonstrerat hur CFD modellen MISCAM kan användas för att studera påverkan av en skärm längs Bergslagsvägen.

För hela befolkningen inom ett större tätbefolkat område omkring E20 i Västertorp/Fruängen och E18 i Hägernäs/Viggbyholm visar modellberäkningarna att skärmar minskar den genomsnittliga befolkningsexponeringen under ett helt år. Som påpekats så medför skärmar att trafikens bidrag till luftföroreningshalterna blir högre på höjder högre än skärmhöjden jämfört med utan skärm. Eftersom cyklisters inandningszon är 2 - 3 meter över marken så kan en 2 - 3 meter hög skärm medföra högre exponeringshalter för cyklisterna längs cykelbanor nära bullerskärmar jämfört med utan skärm. För att säkerställa att cyklisternas exponering inte ökar med skärmar måste skärmarna vara minst 4 meter höga. Men detta beror också på avståndet mellan cykelbanan och skärmen.

Hälsoytan med bullerskärmar för att förbättra luftkvaliteten och därmed minska hälsoeffekterna jämfört med att t ex sänka dubbdäcksandelen eller fordonshastigheten har analyserats genom att beräkna befolkningens exponering i ett tätbefolkat område runt E20. Bullerskärmars effekter på halterna, som uppkommer på grund av utsläppen längs E20, varierar i området beroende på de meteorologiska förhållandena (vindriktning, vindhastighet och stabilitet). I närområdet till E20 kan halterna öka något med skärmar jämfört med utan, men på längre avstånd blir de lägre med skärmar (beroende på höjden på skärmen och meteorologin). Sänker man istället utsläppen genom att sänka dubbdäcksandelen blir haltminskningen proportionell mot utsläppsminskningen i hela området – relativa förändringen av den lokala trafikens utsläppsbidrag blir samma i hela området. I fallet med E20 skulle 4 och 8 m höga skärmar (på ena sidan motorvägen) minska befolkningsexponeringen (och därmed hälsoeffekterna associerade med exponeringen) med 4 % respektive 12 % jämfört med utan skärmar. Med skärmar på båda sidorna av motorvägen minskar halterna med ca dubbelt så mycket (8 % respektive 25 %). En minskad dubbdäcksandel från 60 % till 50 % eller minskad hastighet från 80 km/h till 70 km/h skulle minska befolkningsexponeringen för PM10 med 16 %. Både bullerskärmar, minskad dubbdäcksanvändning och minskade hastigheter skulle även minska bullerexponeringen.

Inledning

Detta är delrapport nr 3 inom ramen för projektet ”Bullerskärmar som åtgärd mot höga halter av luftföroreningar” finansierat av Trafikverket (diarienumr TRV 202/101103). Projektet syftar till att med hjälp av mätningar och beräkningar undersöka höjd på och utformning av skärmar så att skärmar längs med högtrafikerade vägar minskar höga halter av luftföroreningar. Målen är att kvantifiera och ta fram förenklad modell för beräkning av betydelsen av skärmar för luftkvalitet längs med statligt vägnät, samt med hjälp av modell kartlägga befintliga och framtida sträckor där skärmar kan användas som åtgärd.

Inledningsvis genomfördes en sammanställning av kunskapsläget baserat på en litteraturstudie med fokus på vetenskapliga publikationer under de senaste 20 åren (delrapport nr 1). Halter av partiklar, (PM10) kväveoxider (NO) och kvävedioxid (NO₂) har mätts i anslutning till skärmar längs Bergslagsvägen och Norrortsleden. Resultaten redovisas i delrapport 2.

I denna delrapport redovisas beräkningar av skärmars påverkan på luftföroreningshalter. Syftena är att analysera hur halterna, på olika höjd över marken och avstånd från skärmen, påverkas av höjden på skärmen under olika meteorologiska förhållanden. Beräkningarna jämförs med mätningarna. Dessutom har den potentiella betydelsen av skärmar längs motorvägar (E20 och E18) för befolkningens exponering och hälsa analyserats.

CFD modellering Bergslagsvägen

Miskam modellen

Modellen MISKAM (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell) (<http://www.lohmeyer.de/en/node/195>) har använts för att undersöka effekten av bullerskärmen längs Bergslagsvägen. Modellen är en så kallad CFD-modell (CFD=Computational Fluid Dynamics) och är ett avancerat modellverktyg som används för att beräkna luftföroreningshalter i miljöer med komplicerad geometri som t.ex. bullerskärm, stadsbebyggelse, eller tunnelmynningar.

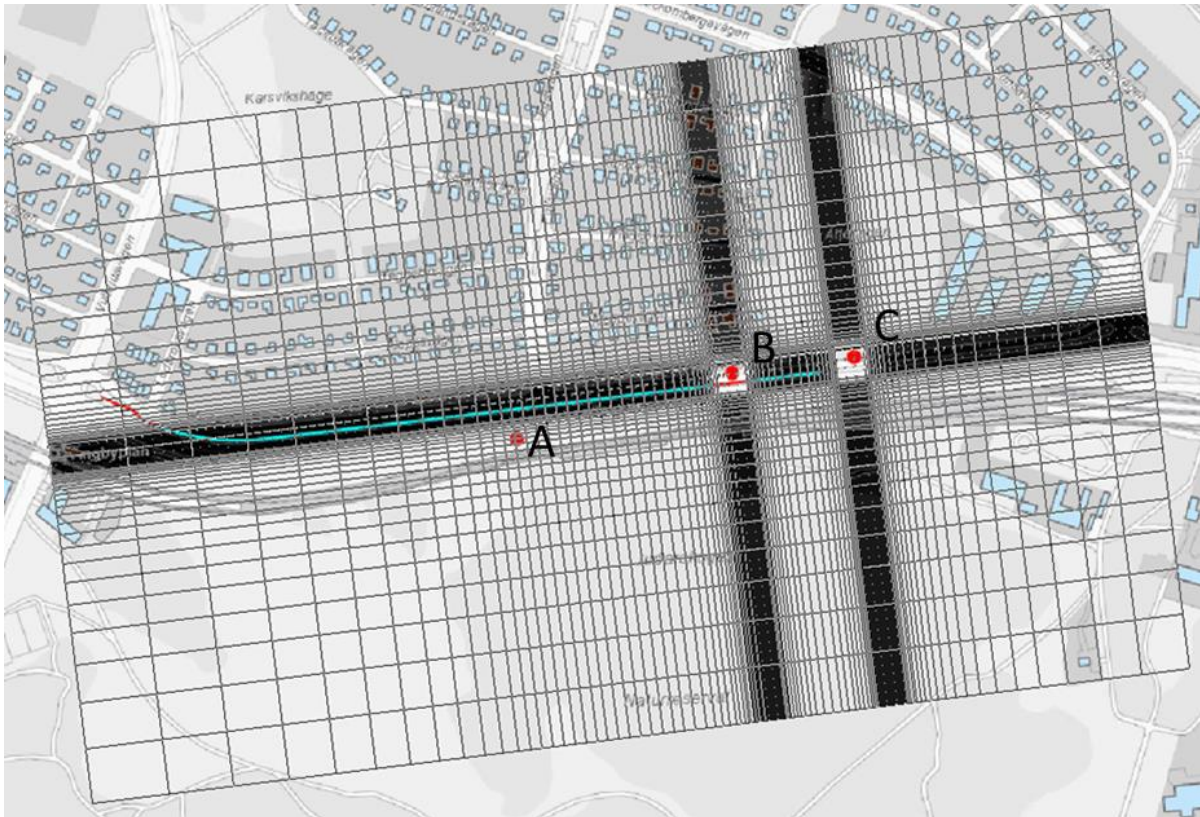
Beräkning av haltnivåer kan göras från markplan upp till flera vertikala nivåer. Beräkningarna tar inte hänsyn till utskjutande strukturer hos bebyggelsen, som t.ex. balkonger, portik, eller liknande, vars geometriska omfattning är på samma skala som modellens upplösning. Kvaliteten på indata är mycket viktigt för tillförlitligheten på resultatet.

Beräkningsdomän och upplösning

Beräkningsdomän är det område för vilket beräkningarna utförts. Domänen i denna utredning har en horisontell utbredning på 800 x 1000 meter. Upplösningen i både vertikal och horisontell led varierar beroende på läge i beräkningsområdet, med högst upplösning i områdena kring de två mätstationerna norr om Bergslagsvägen, se Figur 1.

Olika scenarier har undersökts med olika högsta upplösning. Beräkningar har gjorts utan topografi, detta eftersom det är skärmens påverkan på sin omgivning som studeras. Det kan förekomma topografiska effekter som inte fångas av beräkningarna men i det här fallet ser de inte ut att vara avgörande vid skärmen och topografins påverkan på detta relativt lilla område är likartad med eller utan skärm.

Skärnhöjdens betydelse för halterna har undersökts genom jämförelser mellan beräkningar för två olika skärnhöjder, 2m och 4m, samt utan bullerskärm. Påverkan på halterna från parametern fordonsturbulens har undersökts. Betydelsen av höjden på det vertikala skiktet, i vilket fordonsemissionerna är jämt fördelade, har också undersökts. Beräkningarna där påverkan av skärmens höjd och form samt byggnadernas effekt har undersökt har gjorts med horisontell upplösning med gridrutor som är som minst 0,3 m x 0,3 m och 0,5 m i vertikal led. Beräkningarna där parametrarna för fordonsturbulens och höjden på det vertikala skiktet varierades är gjorda med horisontell upplösning med gridrutor som är som minst 1 m x 1 m och 0,5 m i vertikal led.



Figur 1. Beräkningsgriddet med varierande gridstorlek. De mörka fälten har hög upplösning och högst upplösning är i det i området kring mätstationerna (de röda prickarna B och C) norr om Bergslagsvägen där de mörka fälten korsar varandra.

Strömningsberäkningar och emissioner

Strömningsberäkningar genomfördes för 36 olika vindriktningar, 0° , 10° , 20° o.s.v. Vindhastigheten sattes till 10 m/s på 100 meters höjd över marken. Detta resulterade i 36 olika tredimensionella strömningsfält. För var och ett av dessa strömningsfält beräknades spridningen av luftföroreningar från vägtrafiken inom beräkningsområdet. Vid vindriktningen 180° , dvs sydlig vind, blåser det rakt från Bergslagsvägen på skärmen. Denna vindriktning har därför studerats eftersom det är den situation då skärmen utsätts för störst haltbidrag från vägen.

Emissionerna från vägnätet representeras i beräkningarna av så kallade volymkällor. Inom volymerna, antas utsläppen från fordonen vara homogent fördelade och momentant omblandade. Två höjder på volymkällorna har undersökts för att undersöka betydelsen av parametern vertikala skiktet. Höjderna som undersöktes var 1 m och 3 m. Emissionerna i volymkällorna baseras på en fordonsmängd på Bergslagsvägen som är 22 227 fordon som årsmedeldygn.

Meteorologi

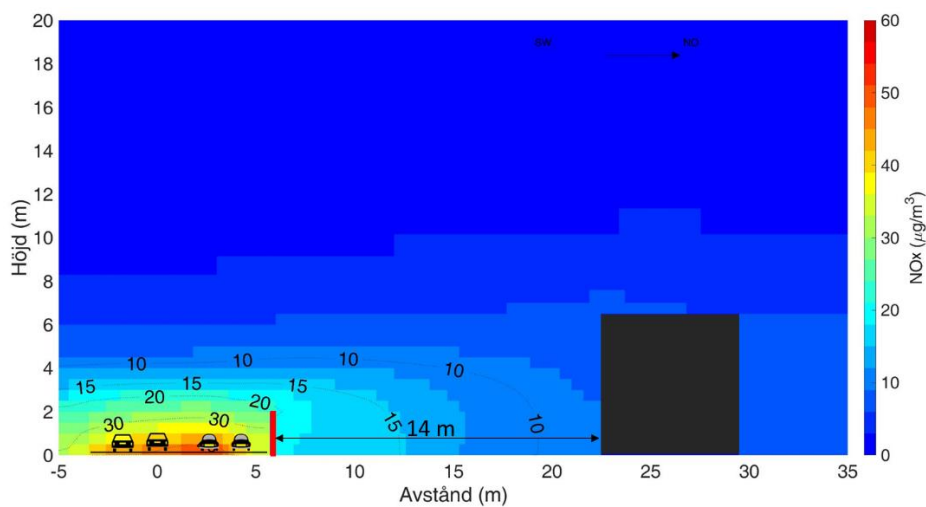
MISKAM har en funktion som gör det möjligt att utifrån meteorologiska mätdata göra en statistisk skalning av de beräknade spridningsfallen och få fram en beräknad årsmedelhalt. De meteorologiska mätningarna har hämtats från en 50 meter hög mast i Högdalen i södra Stockholm. När luftföroreningshalter jämförs med miljö kvalitetsnormer ska halterna vara representativa för ett normalår. Som indata till den statistiska omskalningen i MISKAM har därför meteorologiska mätdata från en tioårsperiod (1998 - 2008) använts.

Den statistiska skalningen baseras på uppmätt vindriktning, vindhastighet och luftens temperaturskiktning. Luftens skiktning är viktig eftersom den har stor inverkan på den vertikala omblandningen och därmed hur luftföroreningar sprids i höjded. Vid neutral skiktning är den höjdmässiga temperaturförändringen sådan att vertikala luftrörelser är opåverkade, det vill säga de varken dämpas eller förstärks. Stabil skiktning innebär att den vertikala omblandningen motverkas. Vid instabil skiktning gynnas vertikal omblandning, och luftföroreningarna späds ut snabbt.

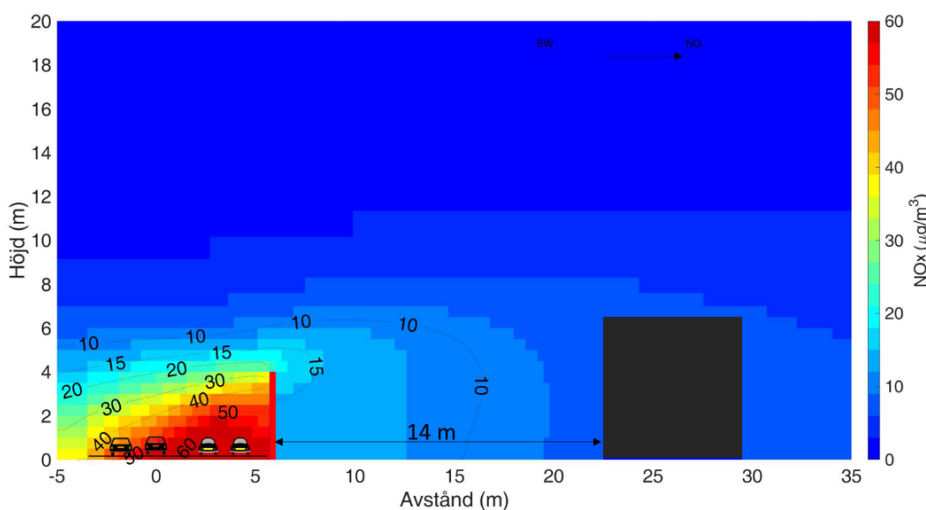
Haltbidrag från vägen

Beräknade halter av årsmedelvärdet av NO_x från statistiska skalningen av Miskam-beräkningarna redovisas i Figur 2 – Figur 3.

På höjder lägre än skärnhöjden har bullerskärmen en avskärmande effekt på haltbidraget från Bergslagsvägen. En 4 m hög skärm har större avskärmande effekt än en 2 m hög skärm. Det 4 m höga skärmen leder också till högre halter på vägbanan på grund av den större avskärmningen.

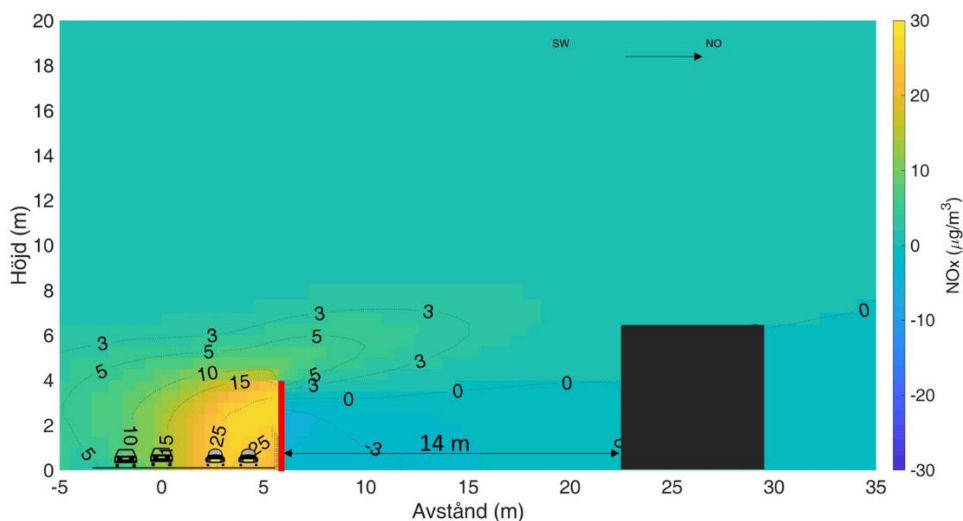


Figur 2. Modellerat haltbidrag för NO_x som årsmedelvärde med en 2 m hög skärm.



Figur 3. Modellerat haltbidrag för NO_x som årsmedelvärde med en 4 m hög skärm.

Figur 4 redovisar skillnaden i haltbidrag mellan 4 m hög skärm och 2 m hög skärm. Bakom skärmen, på lägre höjd än skärmhöjden är haltbidraget lägre när skärmen är 4 m hög jämfört med när det är 2 m hög.

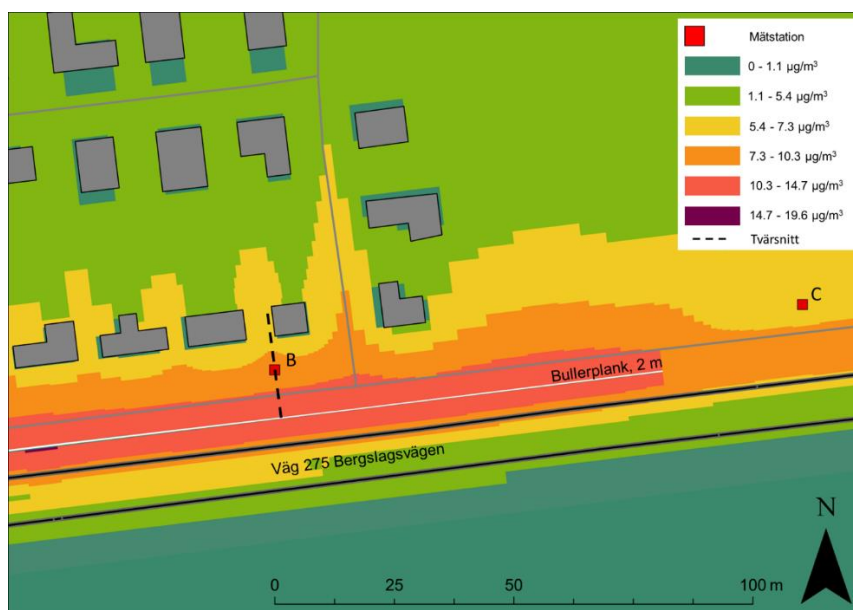


Figur 4. Skillnaden i haltbidrag för NO_x som årsmedelvärde mellan en 4 m hög skärm och 2 m hög skärm.

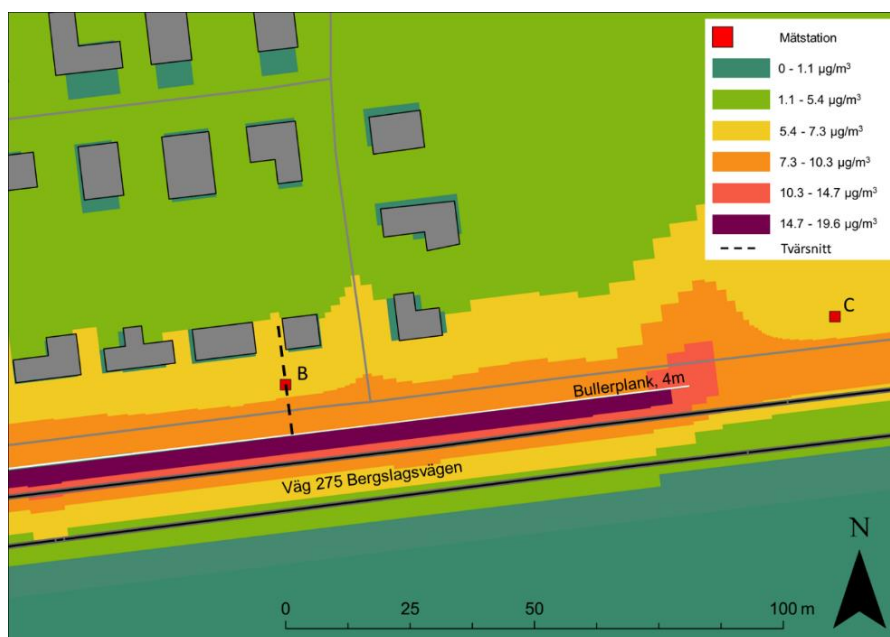
Vid sydlig vind 1.5–2 m höjd över marken

Beräknade NO_x-halter 1.5–2 m över marken vid sydlig vind för skärmhöjderna 2 m och 4 m samt utan bullerskärm redovisas i Figur 5-Figur 7.

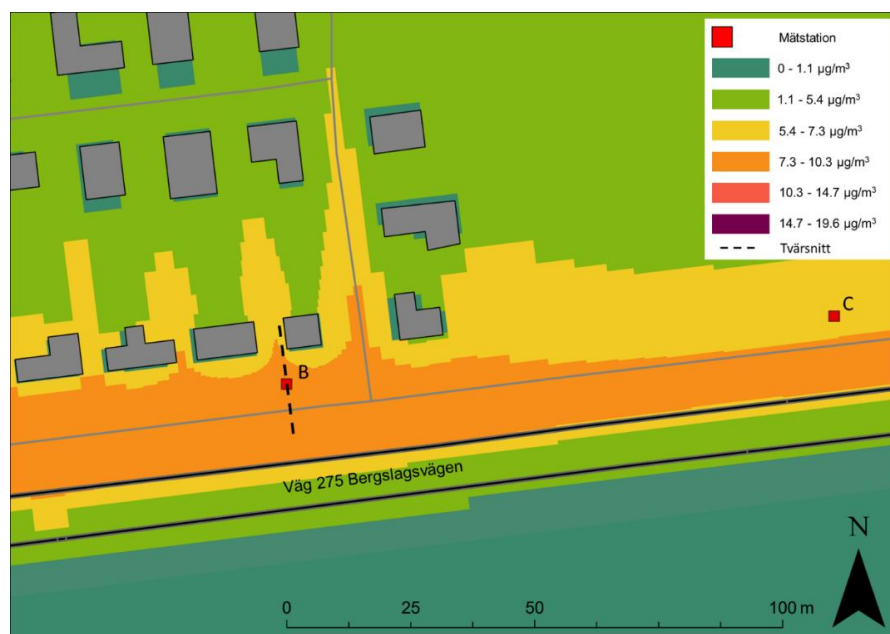
I fallet med en 2 m hög bullerskärm syns att halterna som ansamlas på vägbanan till följd av skärmens avskärmande effekt spiller över skärmen och halterna i ett område direkt bakom skärmen blir högre med skärm än utan. I fallet med en 4 m hög skärm hålls inte samma överspill utan halterna är lägre med bullerskärm än utan trots att halterna på vägbanan är betydligt högre än utan skärmen. Däremot sprids halterna in över ett större område där skärmen tar slut.



Figur 5. NO_x-halter 1.5–2 m över marken vid sydlig vind för en 2 m hög skärm. Streckad linje markerar det tvärsnitt där halterna analyserats i Figur 8.



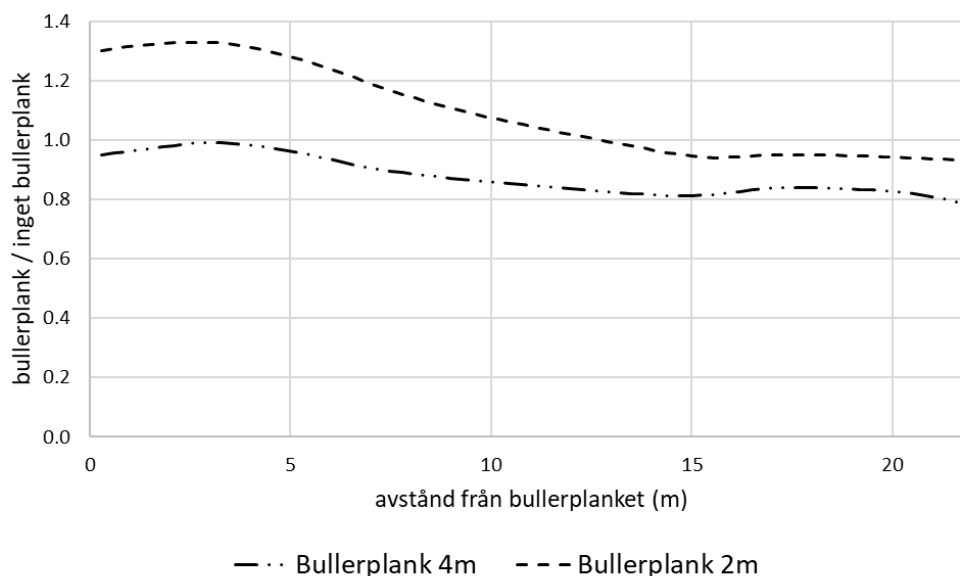
Figur 6. NO_x -halter 1.5–2 m över marken vid sydlig vind för en 4 m hög skärm. Streckad linje markerar det tvärsnitt där halterna analyserats i Figur 8.



Figur 7. NO_x -halter 1.5–2 m över marken vid sydlig vind utan bullerskärm. Streckad linje markerar det tvärsnitt där halterna analyserats i Figur 8.

Figur 8 visar kvoten av NO_x -halten vid sydlig vind mellan bullerskärm och ingen skärm, för skärnhöjder på 4 m respektive 2 m, 1.5–2 m höjd ovan mark i tvärsnittet som är markerat i Figur 5-Figur 7. Halten bakom en 2 m hög skärm beräknas vara högre än utan skärm på ett avstånd från skärmen upp till ca 13 m för både NO_x och PM_{10} . I zonen 3 m bakom skärmen beräknas haltskillnaden vara som högst, ca 30 % högre med skärm jämfört med utan. På avstånd längre än 13 m från skärmen beräknas halten vara ca 6 % lägre med skärm än utan för båda ämnena. För en 4 m hög skärm beräknas halten vara lägre med

än utan skärm oavsett avstånd från skärmen. Störst minskning beräknas ca 10 m från skärmen, 20% lägre halt med än utan skärm.



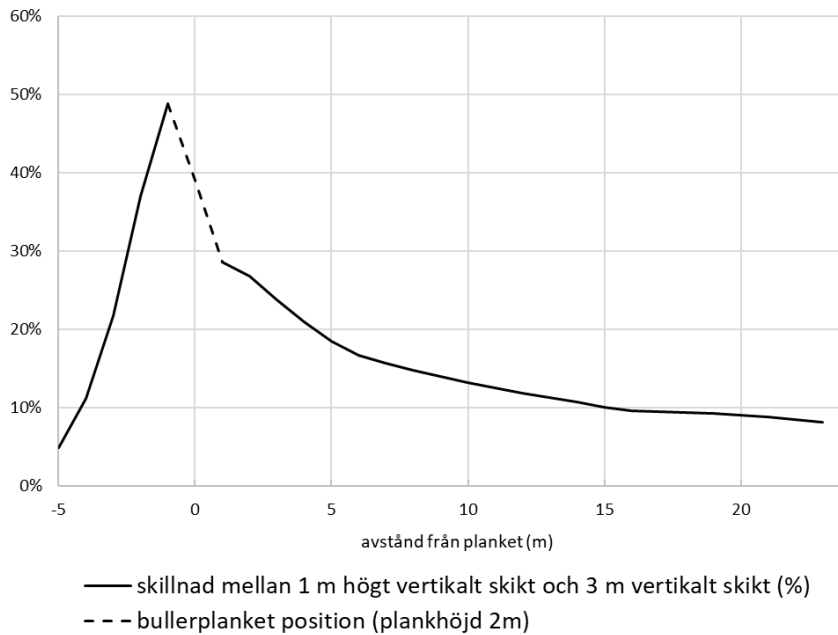
Figur 8. Kvoten av NO_x -halten vid sydlig vind mellan 4 m hög respektive 2 m hög bullerskärm och ingen skärm, 1.5–2 m ovan mark.

Om man istället jämför halten på vägsidan av skärmen med sidan som vetter från vägen är halten lägre på sidan som vetter från vägen med båda de undersökta skärnhöjderna. Halten av NO_x och PM_{10} beräknas vara ca 20 % lägre direkt invid skärmen på läsidan jämfört med på vägsidan för en 2 m hög skärm och ca 50 % lägre för en 4 m hög skärm. Även tidigare studier har beräknat halter på läsidan av skärmen, som är betydligt lägre än på vägsidan. Haltskillnaden varierar beroende på bl.a. skärmens utformning.

Omgivande villabyggelse har en viss påverkan på halterna på läsidan av skärmen mellan skärmen och byggnaderna, NO_x -halten på läsidan av en 2 m hög skärm beräknas vara ca 3–4 % högre när byggnaderna finns med i beräkningen.

Känslighetstester av MISKAM

Figur 9 visar den procentuella haltskillnaden för NO_x mellan 1 m och 3 m högt vertikalt skikt i vilket fordonsemissionerna är jämt fördelade 1.5–2 m ovan mark för en 2 m hög skärm. Minskad höjd på det vertikala ger högre halter på vägsidan av skärmen eftersom volymen som emissionerna kan spädas ut i minskar. Även på läsidan av skärmen på är halten högre då det vertikala skiktet är lägre.



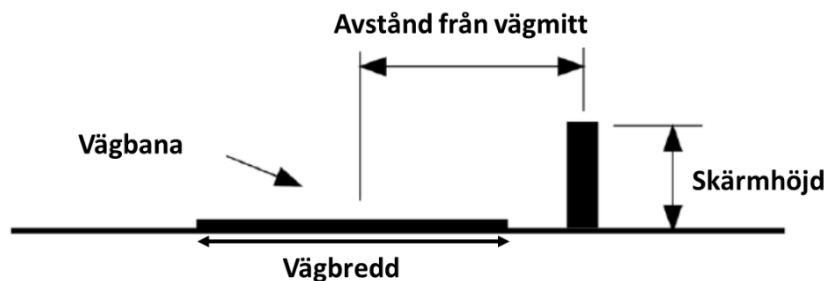
Figur 9. Procentuella skillnaden i NO_x -halten mellan 1 m och 3 m högt vertikalt skikt i vilket fordonsemissionerna är jämt fördelade 1.5 - 2 m ovan mark för en 2 m hög skärm. Streckad linje motsvara positionen för skärmen.

Då fordonsturbulensen ökar minskar halterna. Haltminskningen av NO_x för en given skärmhöjd är i princip konstant med avståndet från skärmen. Effekten av varierande av fordonsturbulensens två parametrar resulterade i 2 – 20 % skillnad i NO_x -halterna jämfört med om ingen fordonsturbulens togs med i beräkningen för skärmhöjd 2 m. Fordonsturbulensen beräknas vid en statistisk bearbetning av beräkningsresultatet. Kvantitativa påverkan av fordonsturbulensens effekt skulle dock behöva utredas mer, men detta ligger utanför projektet.

Modellen RLINE

Modellen RLINE (Research Line Source Dispersion Model) har som tidigare nämnts implementerats i Airviro för att kunna användas i olika utredningar av bullerskärmars effekter. I denna utredning används en utveckling av RLINE modellen, som är en del i Aermod (AMS/EPA Regulatory Model, Aermod, 2021) och som ursprungligen utvecklats av Snyder et al. (2013) och vidare utvecklats med komplettering av skärmars effekter av Schulte et al. (2014) och Amini et al. (2016). Modellen har sedan uppdaterats vid några tillfällen, senast under våren 2022 baserat bl a på vindtunnelstudier av Francisco et al (2022). Uppdateringarna beskrivs i Model Change Bulletin (MCB) 16, AERMOD version 22112 (April 22, 2022).

Trafikens emissioner fördelas över hela vägens bredd 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.

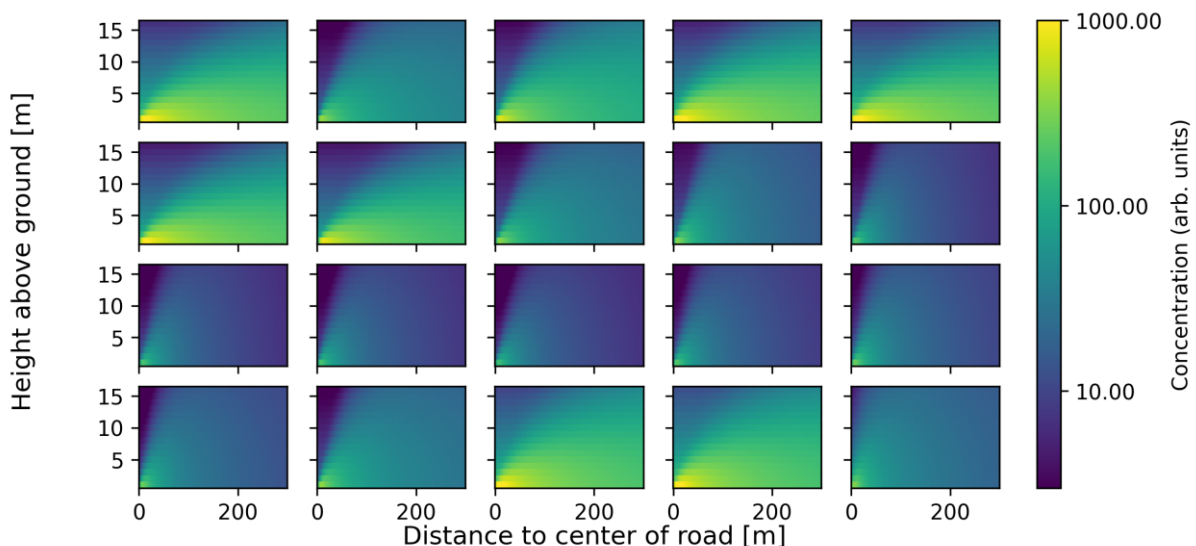


Figur 10. De parametrar som specificeras när man ska använda modellen är vägens bredd, avstånd från vägmitt till skärm, skärmens höjd samt på vilken sida av vägen som skärmen är placerad.

Känslighetstester av RLINE

Vi har genomfört en rad känslighetstester med syfte dels att belysa de viktigaste faktorerna som påverkar resultaten, men också för att säkerställa att modellens resultat är i överensstämmelse med vad man skulle förvänta sig.

Känslighetsanalysen genomfördes i en idealiserad geometri med en rak väg i ost-västlig utsträckning och en bullerskärm på 2577 meter längd norr om (nedvinds) körfältet på öppen terräng. Tester gjordes med avseende på skärmens höjd, avståndet mellan vägen och bullerskärmen, vindriktning och vindhastighet samt luftens stabilitet. Alla känslighetsberäkningar med RLINE/Aermod modellen genomfördes med en fast upplösning på 1 meter i alla riktningar och en domänstorlek på 100 m längs med vägen, 300 m från vägmitt och 16 m i vertikal riktning. För skärnhöjder 0 (dvs utan skärm), 2, 4, 6, 8 m kördes 20 olika meteorologiska fall som redovisas i detalj i bilagan. Håltfördelningarna visas här beroende på avståndet nedvinds från väg (mitten av vägen). Halterna på körfältet uppavinds från skärmen analyseras inte i känslighetstesterna.



Figur 11: Haltfälten utan bullerskärm för 20 meteorologiska fall som redovisas i detalj i bilagan. Vindhastigheten ökar från vänster till höger (1, 2, 4, 6, 8 m/s). Rad 1 och 2 visar resultat för sydlig vind (180°), rad 3 och 4 sydvästlig vind (225°). Raderna 1 och 3 avser stabil skiktning, 2 och 4 avser instabil skiktning.

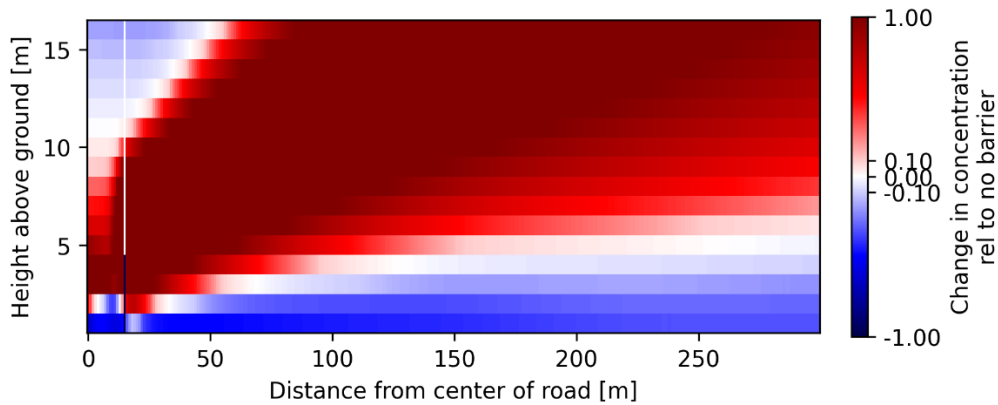
Figur 11 visar haltfälten, dvs haltfördelningen som funktion av både höjd över marken och avstånd från mitten av vägen, utan bullerskärm. Halterna fördelas ostört endast beroende på rådande meteorologiska förhållanden. Sambanden mellan halterna och dessa förhållanden är dock komplexa och icke-linjära: För sydlig vind under stabila förhållanden är halterna som högst vid en vindhastighet på 1, 6 och 8 m/s. Under instabila förhållanden och för sydvästlig vind är däremot halterna som högst vid 4 och 6 m/s vindhastighet.

Resultat från simuleringarna visas i det följande som ändring av halterna relativ till motsvarande haltfördelningen utan skärm:

$$\text{Relativ haltändring} = \frac{\text{Halt med skärm} - \text{halt utan skärm}}{\text{Halt utan skärm}}.$$

Positiva värden betyder således högre halter än utan skärm, negativa värden lägre halter än utan skärm. I detta avsnitt presenteras slutsatser från känslighetsanalysen, men fler figurer med fler meteorologiska fall finns i bilagan.

Figur 12 visar haltförändringen relativt till halterna utan skärm för ett exempel med en skärnhöjd på 4 m, 6 m/s sydlig vind (180°). Halterna över och direkt bakom skärmen är mycket högre jämfört med scenariot utan skärm där halterna är som högst nära marken (Figur 11). Resultaten visar att luftföroreningarna lyfts upp över skärmen och fördelas därefter vertikalt och nedvinds samtidigt som det sker en utspädning (i överensstämmelse med resultaten som presenteras i Schulte et al. 2014). Intill skärmen uppvinds sker en uppvirvling av luften vilket ger upphov till högre halter på ca 3/4 skärnhöjden och minskade halter nära marken.



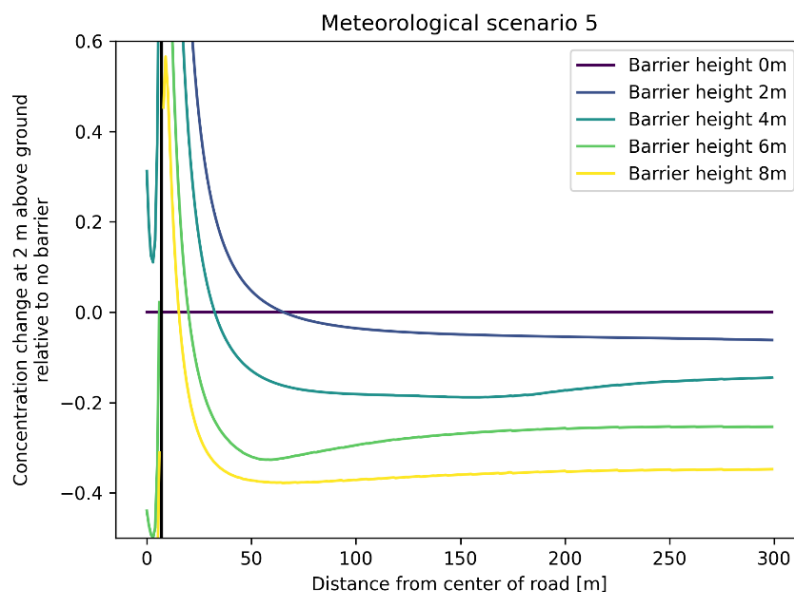
Figur 12: Haltförändring relativt till halterna utan skärm. Vertikala axeln visar höjd över marken i meter, horisontella axeln visar avståndet till vägmitt (skärm vid 16 m). Här visas ett exempel för skärmhöjd 4 m och sydlig (180° från vänster till höger) vind med hastighet 6 m/s.

Haltförändring beroende på geometrin

Haltändringar relativt till utan skärm visas som fält t ex i Figur 12. Detta fält innehåller information om bl a haltändringar för 16 olika höjdnivåer. För att underlätta följande diskussioner visas det haltändringar på en höjdnivå mellan 1 - 2 m som anses vara mest relevant för människors exponering. Haltändringarna på 2 m kan sedan visas som funktion av avståndet från vägmitt (t ex Figur 13). Generellt ger en skärm upphov till högre halter än utan skärm för höjdnivåer över skärmhöjden då halterna lyfts upp med vinden och transporteras över skärmen.

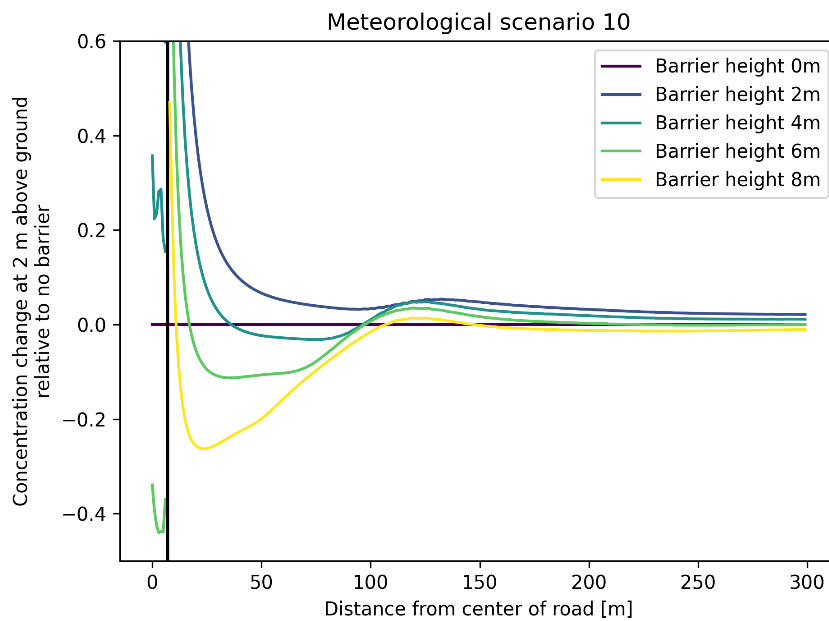
Olika höjder av skärm

Känslighetstester har genomförts med skärmhöjder på 0 (dvs utan skärm), 2, 4, 6 och 8 m. Skärmhöjden styr, bland andra parametrar, hur högt luften tvingas upp för att passera skärmen. Föroreningar sprids därför nedvinds från skärmen liksom från en källa på en högre höjd. På 2 meter höjd över marken kan halterna, beroende på meteorologiska förhållanden, bli betydligt lägre än halterna utan skärm (Figur 13) men kan i vissa fall även bli högre vid större avstånd till skärmen (Figur 14).



Figur 13: Jämförelse av haltändringar på 2 m över marken för olika skärmhöjder under meteorologiska förhållanden som ger upphov till tydligt minskade halter bakom skärmen. Meteorologiskt scenario: neutral-stabil, sydlig vind på 8 m/s.

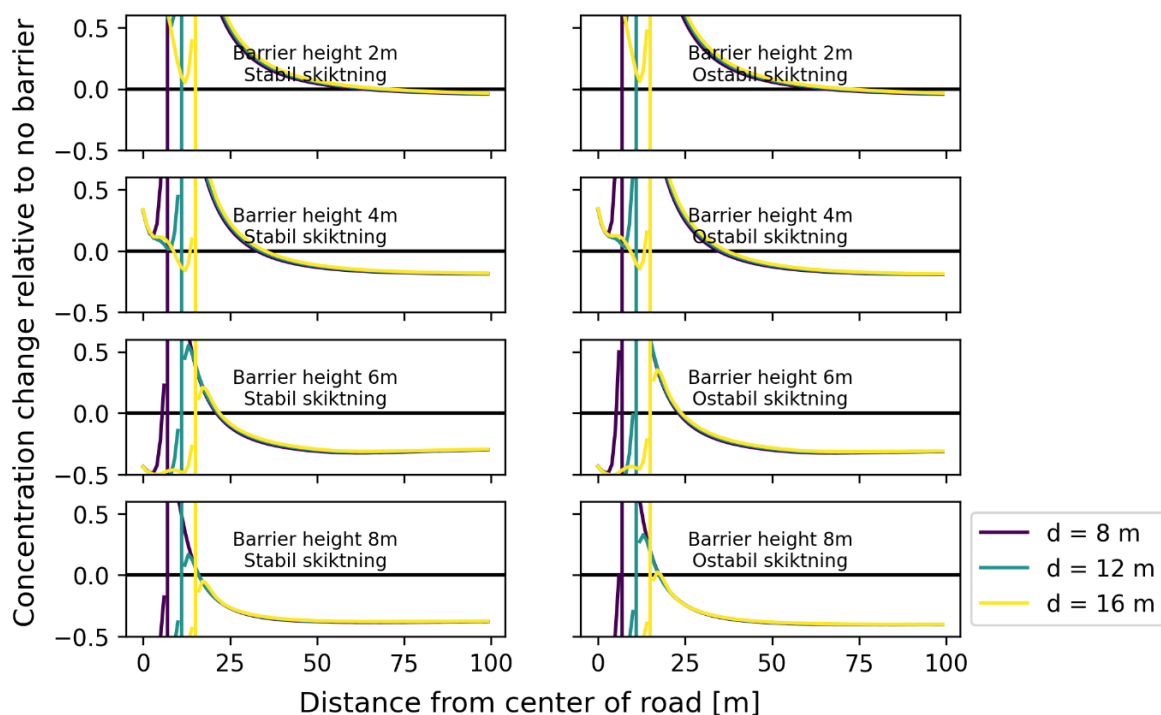
Generellt observeras en minskning av halterna för avstånd från mellan 10 m (skärnhöjd på 8 m) och 70 m (skärnhöjd på 2 m) nedvinds från skärmen under stabila och instabila förhållanden med sydliga vindar (exempel för neutral-stabila förhållanden och sydlig vind på 8 m/s visas i Figur 13). I vissa fall med stabila förhållanden och vindar med en komponent parallellt med skärmen samt neutral-instabila förhållanden och sydlig vind på 8 m/s är halterna lägre än utan skärm mellan skärmen och ca 100 m nedvinds för skärnhöjderna 4, 6, och 8 m, medan halterna är högre än utan skärm för en skärnhöjd på 2 m och för skärnhöjder 4 och 6 m på ett avstånd större än ca 100 m nedvinds från skärmen (Figur 14).



Figur 14: Jämförelse av haltändringar på 2 m över marken för olika skärnhöjder under meteorologiska förhållanden som ger upphov till både minskade och förhöjda halter bakom skärmen, beroende på avståndet. Meteorologiskt scenario: neutral-instabil, sydlig vind på 8 m/s.

Olika avstånd mellan vägmitt och skärmen

Resultat för tre olika avstånd på 8, 12, och 16 m mellan vägmitt och skärmen visas i Figur 15. Haltändringarna är relativt okänsliga för skärmens position förutom intill skärmen uppvinds och inom ett begränsat avstånd nedvinds från skärmen. Vid stabila förhållanden sjunker den maximala haltskillnaden direkt bakom (nedvinds) skärmen med större avstånd till vägen och minskar sedan nästan oberoende av skärmens position. För sydvästlig vind på 8 m/s skiftas haltändringsprofilerna för en skärnhöjd på 4 m bara med skärmpositionen utan att ändra profilen. För skärnhöjderna på 2, 6 och 8 m är det förhållandet mellan höjdnivån på 2 m och skärnhöjden som påverkar hur halterna nära skärmen ändras samtidigt som profilerna skiftas med skärmpositionen.



Figur 15: Jämförelse av haltändringarna relativt till utan skärm för tre olika avstånd (vertikala linjer i respektive färg) $d = 8, 12, 16$ m mellan vägmitt och skärmen, för skärnhöjd (uppifrån och ner) 2, 4, 6 och 8 m, ett stabilt meteorologiskt scenario (vänster) och ett ostabilt scenario (höger)

Effekt av meteorologiska förhållanden

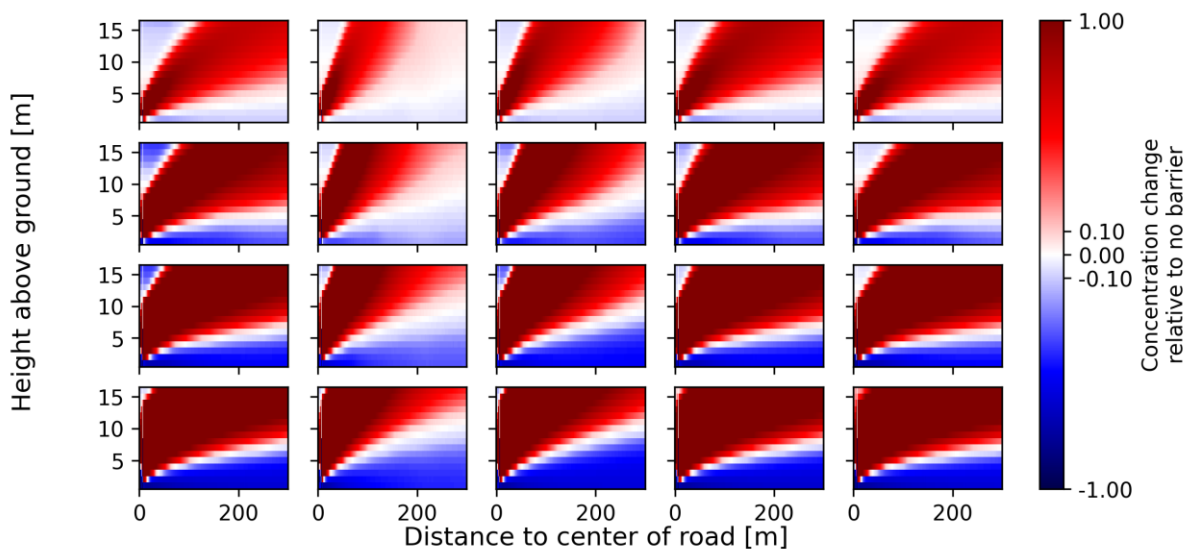
Olika stabilitet

Stabiliteten av luftskiktning i atmosfäriska gränsskiktet är ett viktigt mått för hur bra luften blandas om i vertikala riktningen. Den vertikala temperaturgradienten ("difftemp") samt vindhastigheten är parametrarna som styr den atmosfäriska stabiliteten. Vid instabila förhållanden blandas luften bra både uppåt och nedåt vilket kan leda till att halter som tvingats upp vid ett skärm kan komma ner till marken igen vid ett större avstånd nedvinds från skärmen. Under neutrala förhållanden är vertikala omblandningen svag medan den är begränsad för stabila förhållanden. Som mått för stabiliteten används här en s k Monin-Obukhov längden, L_{MO} , och meteorologiska scenarion i simuleringarna klassas enligt denna karakteristiska längden (Breedt et al. 2018) (se bilaga).

Vindhastighet och -riktning

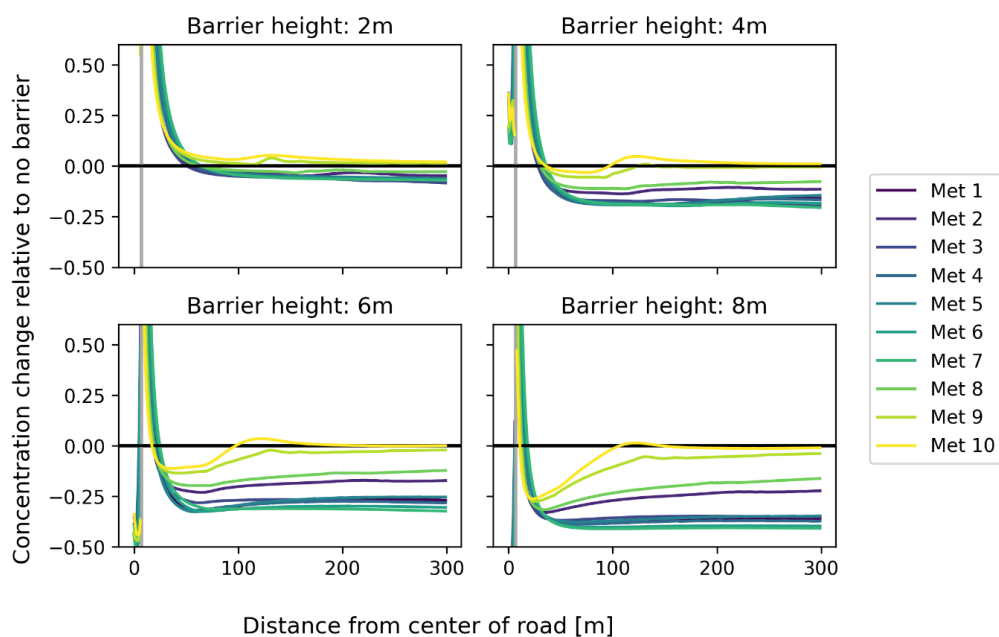
Känslighetstester genomfördes för vindhastigheter på 1, 2, 4, 6 och 8 m/s. Med högre vindhastighet förs halterna längre nedvinds samtidigt som det späds ut allt mer och fördelas även i vertikala riktningen, beroende på meteorologiska förhållanden, se Figur 18 (stabila förhållanden). Dessutom uppstår starkare virvlar framför skärmen som höjer halterna uppvids skärmen över körfältet på ca $\frac{3}{4}$ skärnhöjden.

Vindriktningen påverkar halterna nedvinds från skärmen där halterna kan bli högre än eller samma som utan skärm ca 100 m nedvinds från skärmen under stabila förhållanden med sydvästlig vind (45° mot skärmen, se bilagan). Däremot ökar halterna på samma avstånd för sydlig vind bara vid en vindhastighet på 8 m/s. Figur 16 visar förändringarna i halfältet nedvinds från skärmen för olika skärnhöjder (uppifrån och ner: 2, 4, 6 och 8 m) och olika vindhastigheter (vänster till höger: 1, 2, 4, 6 m/s). Halterna lyfts från körfältet över skärmen, fördelas nedvinds på en högre höjd jämfört med scenarion utan skärm och späds samtidigt ut med växande avstånd från källan.



Figur 16: Förändringar i halfältet relativ till halterna utan skärm. Vindstyrkan ändras från vänster till höger (1, 2, 4, 6, 8 m/s) under stabila meteorologiska förhållanden (scenario 1 - 5). Skärnhöjden ändras i vertikal riktning uppifrån och ner (2, 4, 6, 8 m).

Simuleringarna visar att variationen mellan meteorologiska scenarion blir starkare med högre skärnhöjd, se Figur 17 som visar skillnaden i halter 2 meter över marken med jämfört med utan skärm. Med en 8 m hög skärm är halterna betydligt lägre jämfört med utan skärm även på längre avstånd från skärmen – upp emot 40 % lägre några hundra meter från skärmen. Motsvarande skillnad för en skärm på 2 m höjd varierar mellan +10 och -10 %, för alla scenarion som simulerades. De scenarion som ger upphov till högre halter nedvinds från skärmen motsvarar neutral-instabila meteorologiska förhållanden och med sydliga vindar på 6 och 8 m/s (nettoeffekten av en skärm för ett årsmedelvärde beror på förekomsten av olika meteorologiska förhållanden på den aktuella platsen och exempel visas senare i denna rapport).



Figur 17: Variation av halförändringar på 2 m över marken för olika meteorologiska scenarion och skärnhöjder. Gråa vertikala linjerna visar skärmens position.

Slutsatser från känslighetstesterna med RLINE modellen

- Generellt förändras halterna nedvinds från en bullerskärm genom att de förs med luften över skärmen, fördelas horisontellt och vertikalt och späds ut.
- Haltändringarna på olika höjder och avstånd beror på skärnhöjden och meteorologiska förhållanden med komplexa - icke-linjära - samband (exempel för årsmedelvärde visas längre fram i rapporten för E20 och E18)
- Jämfört med halterna utan skärm är halterna på 2 m höjd över marken nedvinds från en skärm generellt
 - högre inom en kort distans bakom om skärmen som beror på skärnhöjden (ca 10 m för en skärnhöjd på 8 m, 70 m för en skärnhöjd på 2 m, men detta avstånd varierar beroende på meteorologin och de topografiska förhållandena)
 - lägre på större avstånd med undantag av vissa meteorologiska förhållanden då haltminskningen är som störst på en viss distans efter skärmen och avtar därefter: Sydlig vind med hastighet 8 m/s eller vind med en komponent längs med skärmen, här sydvästlig vind, kan ge upphov till halter som är högre än eller samma som utan skärm på vissa avstånd ≥ 100 m.
- Avståndet mellan skärmen och körfältet visar sig ha liten betydelse för halterna bakom skärmen för avstånd mellan 1 och 2 skärnhöjder.
- Modellen genererar högre halter än utan skärm uppvinds från skärmen på ca $\frac{3}{4}$ skärnhöjd över marken på grund av att halterna tvingas upp med luften (se även under avsnittet där resultaten från modelleringen med CFD modellen används ovan).

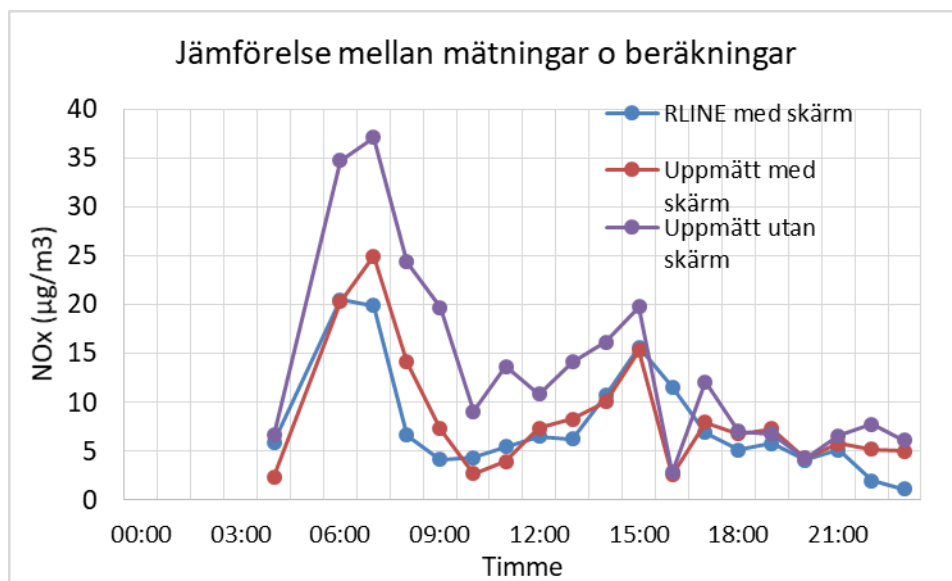
Modellering Norrortsleden med RLINE

Modellberäkningar jämförs med uppmätta halter vid Norrortsleden. Platsen, skärmens höjd, placering av mätstationer etc framgår av rapporten med presentation av mätningarna (Norman & Elmgren, 2023). Utsläppen från trafiken längs väg 265 Norrortsleden baseras dels på Trafikverkets trafikräkningar på flera platser väster och öster om mätplatsen längs 265:an, dels på emissionsfaktorer enligt HBEFA 4.1 för 2020. De beräknade halterna baseras på Trafikverkets mätningar av antalet fordon varje timme i östlig och västlig riktning (se SLB 51:2022).

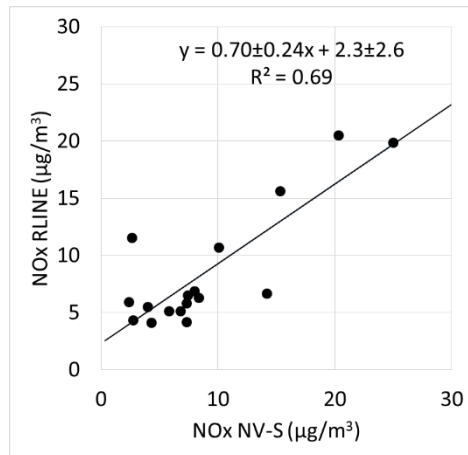
För att kunna jämföra beräkningarna med uppmätta halter, skillnaden i uppmätt halt mellan norra och södra sidan, definierades ett antal kriterier:

- Endast vardagar (data från 25 februari – 31 maj 2022)
- Endast sydliga vindar med vindriktningar mellan 110 och 230 grader med vindhastigheter > 1.5 m/s, enligt mätningarna vid Norrortsleden (mätpunkt S)
- Endast värden då NO_x halterna på NV sidan (bakom skärmen) är > $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

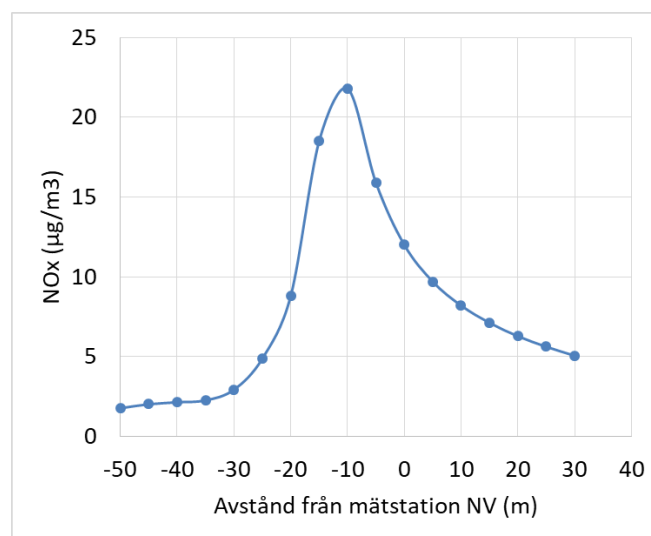
Med dessa kriterier är överensstämmelsen mellan modellen (RLINE) och uppmätta halter mycket bra, vilket framgår av Figur 18 och Figur 19. Determinationskoefficienten R^2 är 0.69 och lutningen 0.70 ± 0.24 . Interceptet är inte signifikant skilt från origo. Figur 18 visar också att de uppmätta halterna utan skärm är högre än med skärm (för detaljerad redovisning av resultaten från mätningarna, se Norman & Elmgren, 2023).



Figur 18. Jämförelse mellan uppmätt och modellberäknad (RLINE) genomsnittlig dygnsvariation av NO_x bakom skärmen vid Norrortsleden. Endast vardagar, sydliga vindar (110-230 grader) med vindhastighet > 1.5 m/s enligt mätningarna vid Norrortsleden S, samt NO_x halter vid NV > $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

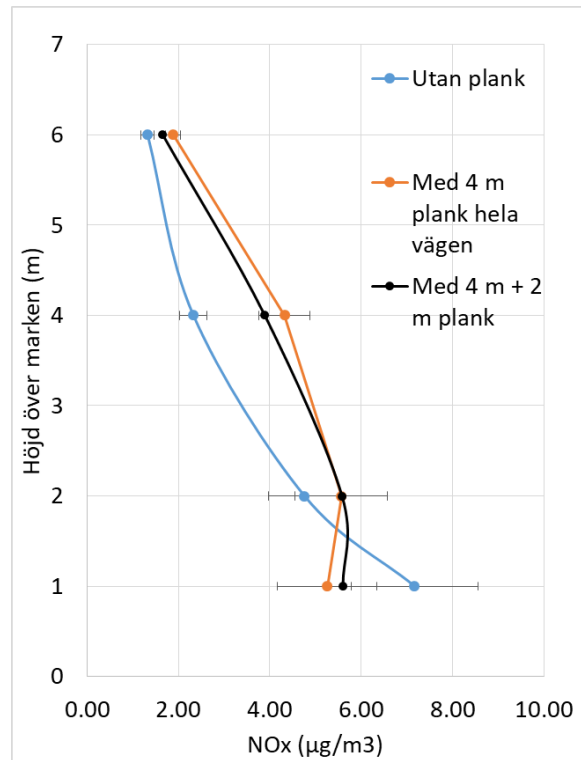


Figur 19. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade NO_x halter bakom skärmen vid Norrortsleden. Halterna på södra sidan har dragits ifrån de uppmätta halterna bakom skärmen för att få vägens bidrag till halterna. RLINE har använts för de beräknade halterna (samma data som Figur 18) med NO_x halter $> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ samt endast vindar mellan 110 och 230 grader och vindhastigheter $> 1.5 \text{ m/s}$. 95 procentiga konfidensintervall anges för lutning och intercept.



Figur 20. Beräknade medelhalter av NO_x 2 m över marken på olika avstånd från mätstationen, NV (placerad bakom skärmen vid 0 meter i figuren; negativa avstånd betyder söder om mätstationen och positiva norr om mätstation). Medelvärden för alla timmar som uppfyller kriterierna i Figur 19.

Enligt modellen kommer luftföroreningarna från trafiken att bli högre med skärm än utan ovanför skärmhöjden. Figur 21 visar hur halterna varierar med höjden för ett 4 m hög skärm enligt RLINE. Redan för höjder över ca 2 meter över marken är de modellberäknade halterna något högre med skärm jämfört med utan skärm. En meter över marken är halterna lägre med skärmen. OBS att detta är medelvärden som inte exakt motsvarar förhållandena i Figur 18. Mer detaljerade analyser av hur halterna påverkas på olika höjder av olika skärmhöjder framgår av avsnittet ovan (Känslighetstester av RLINE).



Figur 21. Genomsnittliga modellberäknade NO_x halter på olika höjd över marken på mätplatsen bakom skärmen ("NV"). Beräkningarna avser fallen utan skärm, med 4+2 m skärm (aktuell konfiguration) och bara 4 m skärm hela vägen och gäller för endast sydliga vindar (80-260 grader) med vindhastighet > 1 m/s enligt de meteorologiska mätningarna vid Norrortsleden S.

Minskad hälsopåverkan med bullerskärmar

För att illustrera potentiella hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering (i detta fall kväveoxider, NO_x) med bullerskärmar längs statliga motorvägar genomfördes beräkningar över större befolkade områden omkring E20 och E18. Beräkningar har genomförts med olika höjd på skärmen: 2 m, 4 m, 6 m och 8 m, samt även utan skärm. Upplösningen i beräkningarna är 50 m x 50 m och halterna beräknas på 2 meters höjd över marken. Meteorologiska data kommer från Högdalenmasten och utgörs av 360 typiska väderfall (klimatologi) som viktas utifrån frekvens baserat på förhållandena under 1993-2010.

Förändringen i de befolkningsviktade halterna beräknades för fallet med respektive utan skärm av olika höjd. Befolkningsdata har 100 meters upplösning och avser befolkningen år 2020 enligt uppgifter från SCB. Dessutom beräknades antal sparade förtida dödsfall med skärm jämfört med utan skärm. Antal dödsfall (ΔN) beräknades baserat på relativa risken (RR) 1.08 per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_x och en incidens på 1329 dödsfall per 100 000 personer per år i enlighet med Oudin et al. (2021):

$$\Delta N = \text{Incidens} \times \left(1 - \exp\left(-\frac{\ln(RR)}{10} \Delta C\right) \right)$$

Där ΔC är skillnaden mellan den befolkningsviktade koncentrationen utan skärm och jämfört med koncentrationen med skärm.

E20 Västertorp/Fruängen

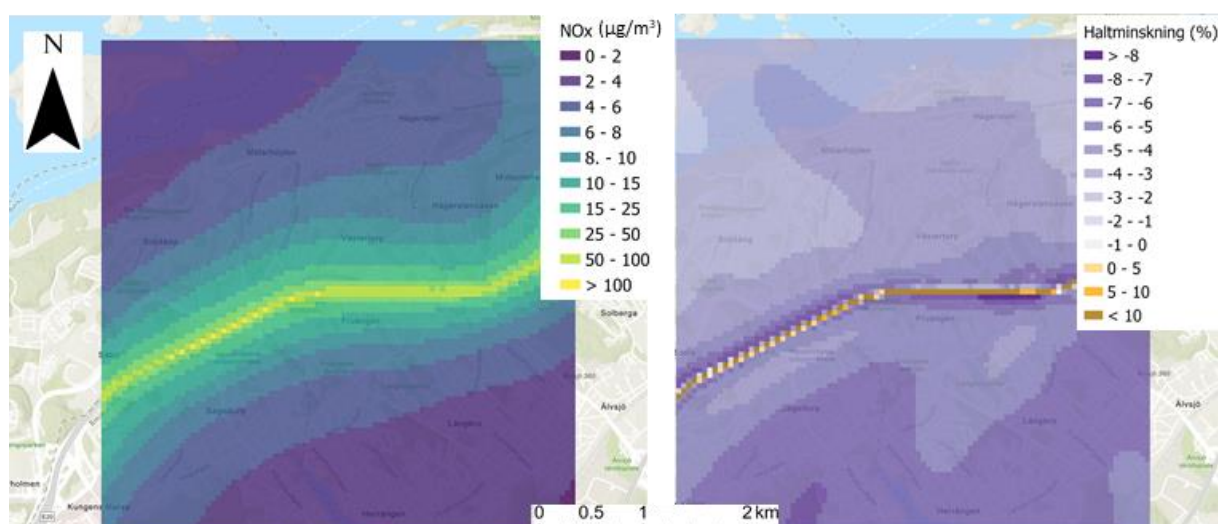
Området omkring E20 framgår av Figur 22 nedan. Området är 4.5 km x 4.7 km och den simulerade bullerskärmen löper 2 meter från väggkanten på norra sidan längs hela vägsträckningen som ingår i beräkningsområdet. Dessutom gjordes beräkningar för fall skärmar på båda sidorna av motorvägen, 2 meter från väggkant norr respektive söder om vägen i västlig respektive östlig riktning.

Det bor 372 718 personer inom beräkningsområdet och befolkningstätheten är 15 325 invånare per kvadratkilometer, vilket visar att detta är en tätbefolkad del av Sverige (i hela Stockholms stad är befolkningstätheten 5 228 invånare per kvadratkilometer).

Figur 23 visar den geografiska variationen i NO_x halterna med en 4 m hög skärm på norra sidan av E20 samt den procentuella minskningen i halten jämfört med utan skärm. Minskningen varierar mellan 1 % och ca 10 % och är lite större söder om E20. Enligt känslighetstesterna med RLINE ökade skärmens påverkan på halterna vid tillfällena med låga vindhastigheter och stabila väderförhållanden. Detta skulle kunna vara en förklaring till varför de procentuella minskningarna är större söder om E20, dvs frekventare förekomster av något lägre vindhastigheter och/eller något mer stabila meteorologiska situationer vid nordliga vindar jämfört med sydliga.

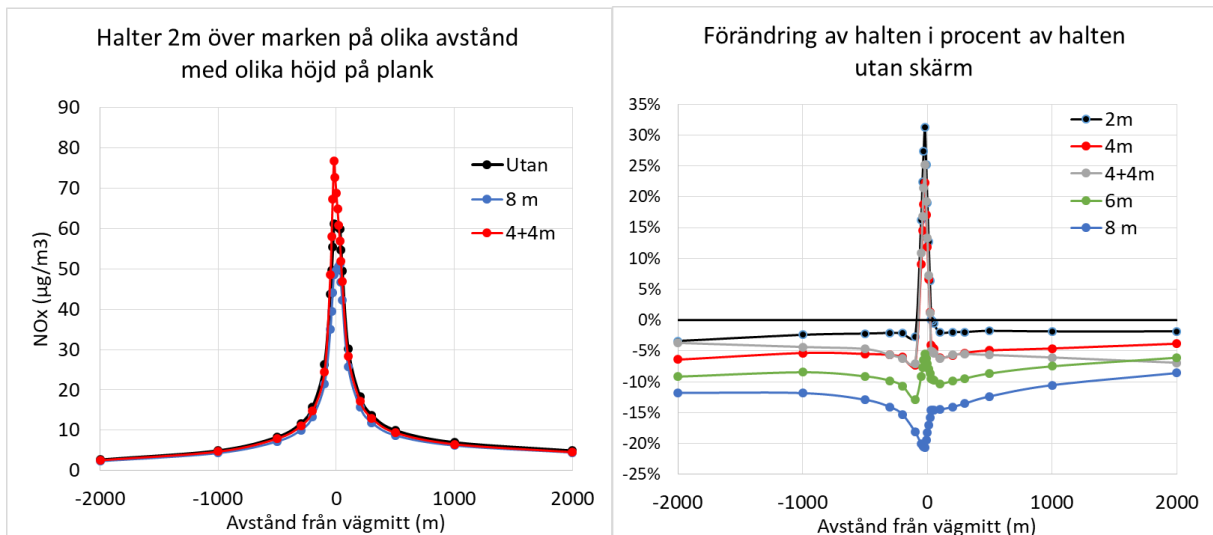


Figur 22. Beräkningsområdet omkring E20 med bullerskärm på norra sidan av vägen 2 meter från väggkanten längs hela sträckan.



Figur 23. Exempel på den genomsnittliga geografiska variationen i NO_x halterna och procentuella minskningen i halten (jämfört med utan skärm) för alla väderfall i klimatologin med en 4 m skärm på norra sidan av motorvägen (E20).

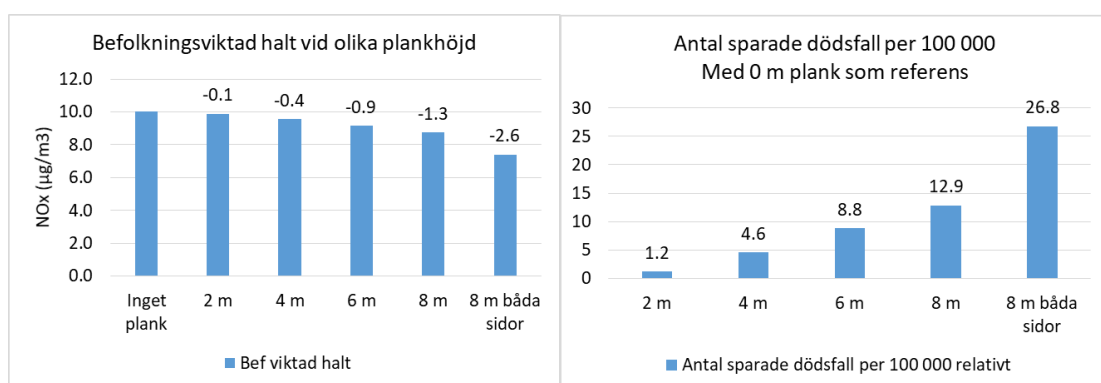
Beräkningarna av halterna 2 meter över marken blir högre nära vägen med skärmar som är lägre än ca 6 meter (Figur 24). I detta fall kan halterna vara några tiotal procent högre i jämförelse med halterna utan skärm. Men mer än 30 – 50 meter från skärmen så är halterna lägre med skärm än utan skärm och det detta gäller även för en skärm som bara är 2 meter hög. Med en 4 meter hög skärm är halterna i detta nord-sydliga snitt mellan 5 % och 10 % lägre och med en 8 meter hög skärm 10 % till 20 % lägre jämfört med utan skärm (se Figur 24). De absoluta halterna på olika avstånd beror på hur stora trafikens utsläpp är (i detta fall är det 2020 års trafikflöden och fordonssammansättning som ligger till grund för beräkningarna).



Figur 24. Beräknade absoluta halter och haltförändringen i procent av halten utan skärm med olika skärnhöjder på olika avstånd från E20. Samtliga halter avser 2 meter över marken och är avser ett nord-sydligt snitt för 360 väderfall med olika vindriktningar och vindhastigheter som är typiska för området. Avser skärmar på ena sidan av motorvägen.

Befolkningsexponering

Trots att halterna blir högre med skärm på nivå 2 meter ovan mark nära vägen så minskar den totala befolkningens exponering när man även tar hänsyn till de som bor inom ett större område på större avstånd från vägen. Även om förändringen i de befolkningsviktade halterna är liten så blir påverkan på antal färre förtida dödsfall inte försumbar – i alla fall med en skärm som är 4 meter eller högre. I fallet med E20 beräknas ca 5 färre förtida dödsfall per 100 000 invånare med 4 meter hög skärm. Med en 8 meter hög skärm uppskattas 13 färre förtida dödsfall per 100 000 invånare. Med skärmar på båda sidorna av motorvägen sparas ungefär dubbelt så många förtida dödsfall – med 8 m hög skärm på båda sidorna uppskattas 27 färre förtida dödsfall jämfört med 13 för en 8 m hög skärm på ena sidan.

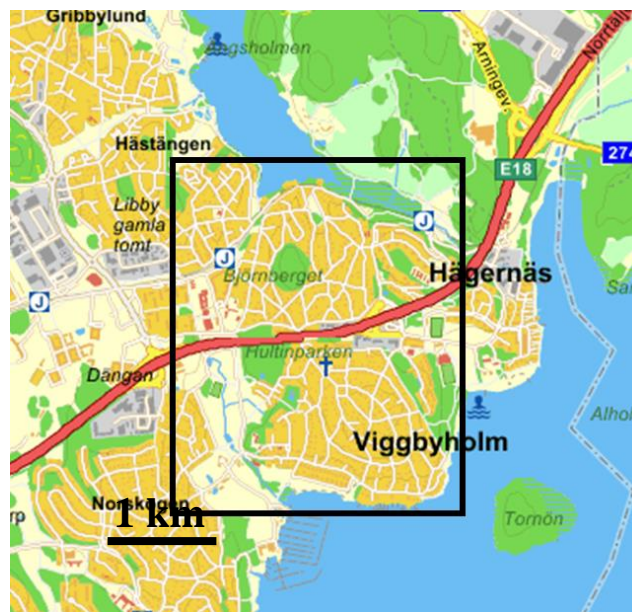


Figur 25. Befolkningsviktad NO_x halt för med olika höjd på skärm längs E20 samt antal färre förtida dödsfall per år inom beräkningsområdet.

E18 Hägernäs/Viggbyholm

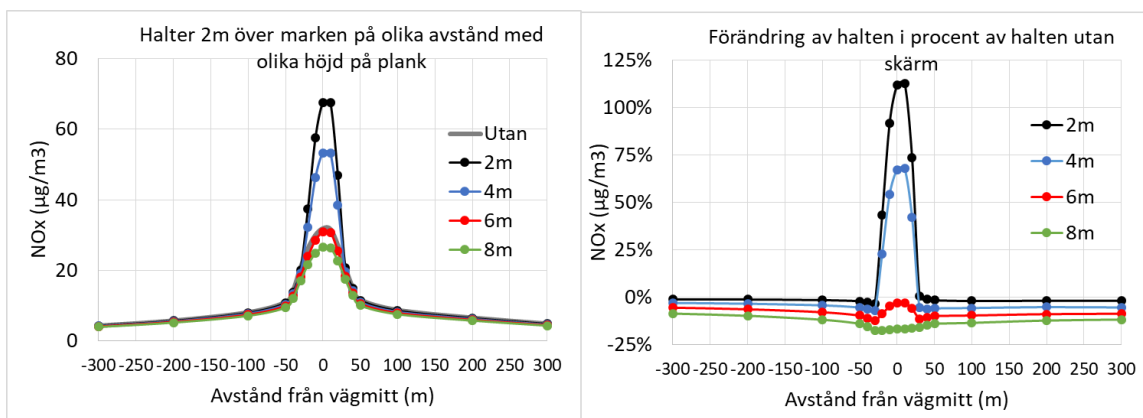
Området omkring E18 framgår av Figur 26 nedan. Området är 1.7 km x 1.95 km och den simulerade bullerskärmen löper 2 meter från vägkanten på norra sidan längs hela vägsträckningen som ingår i beräkningsområdet.

Det bor 31 229 personer inom beräkningsområdet och befolkningstätheten är 9 421 invånare per kvadratkilometer.



Figur 26. Beräkningsområdet omkring E18 med bullerskärm på norra sidan av vägen 2 meter från vägkanten längs hela sträckan.

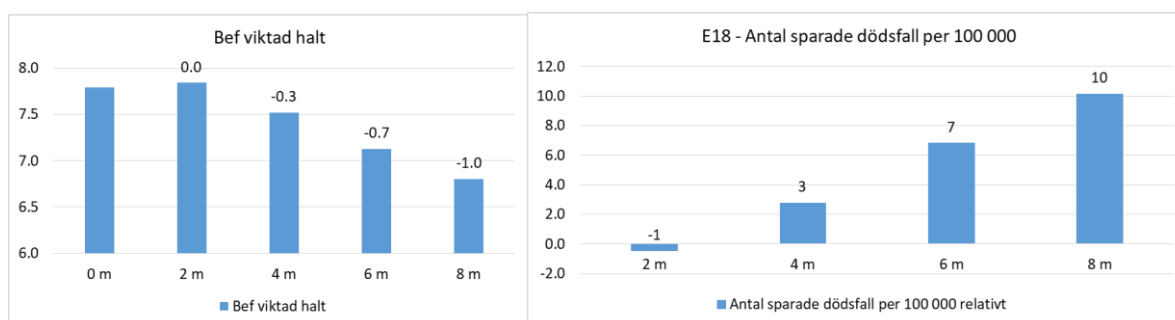
Precis som vid E20 visar beräkningarna av halterna 2 meter över marken att halterna blir högre nära vägen med skärmar som är lägre än ca 6 meter (Figur 27). Halterna är upp till drygt 100 % högre med 2 m skärm på båda sidorna i jämförelse med halterna utan skärm. Men mer än några tiotal meter från skärmen så är halterna lägre med skärm än utan skärm och det detta gäller även för en skärm som bara är 2 meter hög. Med en 4 meter hög skärm är halterna mellan 5 % och 10 % lägre och med en 8 meter hög skärm 10 % till 20 % lägre jämfört med utan skärm.



Figur 27. Beräknade absoluta halter och haltförändringen i procent av halten utan skärm med olika skärnhöjder på olika avstånd från E18. Samtliga halter avser 2 meter över marken och är genomsnitt för 360 väderfall med olika vindriktningar och vindhastigheter som är typiska för området. Avser skärmar på ena sidan av motorvägen.

Befolkningsexponering

Förutom i fallet med 2 m höga skärmar minskar den totala befolkningens exponering när man även tar hänsyn till de som bor inom ett större område på större avstånd från vägen (Figur 28). Förändringarna är små, som mest 1 µg/m³ med 8 meter höga skärmar. I detta fall beräknas upp till 10 färre förtida dödsfall per 100 000 invånare med 8 meter höga skärmar på en sida av motorvägen.



Figur 28. Befolkningsviktad NO_x halt för med olika höjd på skärm längs E18 samt antal färre förtida dödsfall per år inom beräkningsområdet.

Diskussion med slutsatser

Tidigare publicerade studier har visat att den förenklade modellen RLINE fungerar bra i laboratoriestudier (vindtunnlar) och tillfredställande i vissa fältförsök men man har efterlyst fler jämförelser med mätningar i verkliga trafiksituationer. Våra tester vid Norrortsleden visar att implementationen av RLINE i Airviro systemet ger god överensstämmelse med mätningarna (Figur 18).

Fördelen med RLINE är att det går relativt lätt att applicera modellen för att få en uppfattning om hur skärmar kan påverka årsmedelhalter och även befolkningens exponering i ett större beräkningsområde. Implementeringen i Airviro systemet innebär att man för varje väglänk specificerar höjden på skärmen, avstånd från vägmitt och på vilken sida av vägen som skärmen är placerad. I Östra Sveriges luftvårdsförbunds system finns sedan all information om trafiken, fordonssammansättningen, emissionsfaktorerna och meteorologiska indata som behövs för beräkningarna. RLINE modellen kan dock inte användas i komplexa situationer där topografi eller byggnader påverkar omblandningen. I sådana fall måste tredimensionella strömningsmodeller användas. Vi har applicerat CFD modellen MISKAM för att studera påverkan av skärmen längs Bergslagsvägen, som kantas av enskilda villor.

Skärmar kan bidra till minskad befolkningsexponering

Resultaten från modellberäkningarna med skärmar längs E4 och E18 indikerar att befolkningsexponeringen minskar. Anledningen är att höga skärmar intill vägarna medför att den vertikala omblandningen (utspädningen av föroreningarna) ökar så att halterna i marknivå minskar. Givetvis är det svårt (nästan omöjligt) att säkerställa om dessa resultat stämmer. Som alltid med modellberäkningar finns det många osäkerheter.

De beräknade halterna avser 2 meter över marken utan hänsyn till att befolkningen bor på olika höjd över marken i olika höga hus. Eftersom skärmar medför att luftföroreningarna blandas om vertikalt så att halterna blir högre på högre höjd jämfört med utan skärm så kan det vara så att de som bor högre upp i hus får högre exponering (t ex när de öppnar fönster eller vistas på balkonger). Samtidigt ventileras moderna hus via luftintag som sitter på taken vilket kan påverka inomhushalterna. Befolkningsdata som använts avser 100 meters rutor utan information om den vertikala fördelningen av befolkningen. För de som vistas utomhus i marknivå indikerar modellberäkningarna dock att exponeringen minskar.

Ett annat exempel är att man ibland har bullerskärmar efter vägar där det ligger höga hus (lång sträcka med sluten bebyggelse) relativt nära (t ex Nynäsvägen). I det fallet så kanske det kan vara så att en hög skärm försämrar luftkvaliteten nära husen på grund av minskad utspädning – det blir en slags gaturumseffekt beroende på skärmarnas höjd och avståndet mellan skärmarna och husfasaderna. Men det skulle krävas mer detaljerad modellering och helst mätningar under längre tid för detta utreda detta.

Höga skärmar krävs för att minska exponeringen på gång och cykelbanor nära vägar

Som påpekats flera gånger så medför skärmar att trafikens bidrag till luftföroreningshalterna blir högre på högre höjd över marken jämfört med utan skärm. Eftersom cyklisters inandningszon är drygt 3 meter över marken så kan en 2 – 3 meter hög skärm medföra högre exponeringshalter jämfört med utan skärm. För att säkerställa att cyklisternas exponering inte ökar med skärmar måste skärmarna vara minst 4 meter höga.

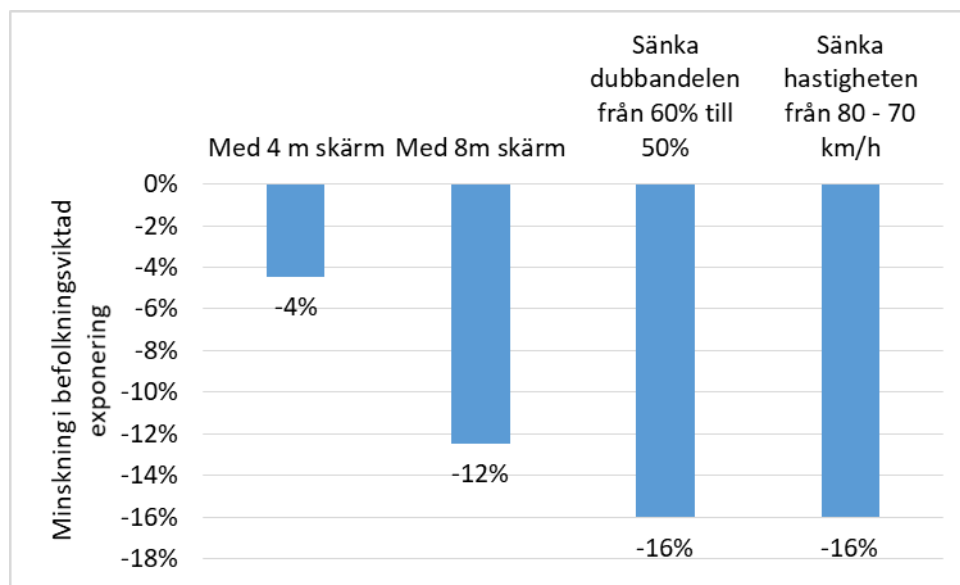
Det krävs höga skärmar för att det ska vara en effektiv åtgärd minska luftföroreningshalterna

Exemplet med E20 visar att totala befolkningens exponering minskar, men minskningen i halterna blir inte jämnt fördelade över hela beräkningsområdet på grund av att skärmens påverkan på halterna beror

på de meteorologiska förhållandena (vindriktning, vindhastighet och stabilitet). Det betyder att minskningen i befolkningens exponering blir lite olika beroende befolkningstätheten i förhållande till minskningen av halterna. Men för E20 minskar de befolkningsviktade halterna i hela området med 4 % respektive 12 % med 4 respektive 8 m höga skärmar jämfört med utan skärm. Med skärmar på båda sidorna av vägen minskar halterna med det dubbla. Även om beräkningarna ovan avser NO_x halter så blir de relativa förändringarna desamma eller eventuellt lite större för PM10 eftersom de grova partiklarna även kan minska på grund av något ökad deposition med skärmar. (OBS att minskningarna endast avser minskningarna på grund av bidraget från trafiken på E20, dvs inte minskningar av de totala halterna, som ju också beror på alla andra källors bidrag och intransporten).

Dessa minskningar tack vare skärmar kan jämföras med att istället minska utsläppen från trafiken längs E20. I det fallet minskar de lokala halterna proportionellt mot minskningen i utsläppen, med samma proportion jämnt fördelat i hela området. Om man t ex antar att dubbdäcksandelen längs hela vägsträckningen minskar från 60 % till 50 % så uppskattas utsläppen och därmed befolkningens exponering för PM10 minska med ca 16 %. Om man antar att hastigheten kunde minska från 80 km/h till 70 km/h längs hela vägsträckningen skulle befolkningens exponering också minska med ca 16 %.

Tilläggs kan också att både bullerskärmar, minskad dubbdäcksandel och minskade fordonshastigheter även bidrar till att minska bullernivåerna och dess hälsopåverkan.



Figur 29. Minskning av den befolkningsviktade exponeringen för beräkningsområdet E20 (Figur 22) med 4 och 8 m skärm jämfört med utan skärmar och jämfört med att sänka slitageemissionerna av PM10 genom att sänka dubbdäckandelen eller minska hastigheten. Avser skärmar på ena sidan av vägen - med skärmar på båda sidorna av vägen blir minskningen dubbelt så stor.

Referenser

1. AERMOD, 2021. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD) U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC (2021) Report No. EPA-454/B-21-001. <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod>
2. 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>
3. Breedt, H. J., Craig, K. J., Jothiprakasham, V. D. (2018). Monin-Obukhov similarity theory and its application to wind flow modelling over complex terrain. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 182, pp 308-321. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.09.026>
4. Francisco et al., 2022. Observations and parameterization of the effects of barrier height and source-to-barrier distance on concentrations downwind of a roadway. *Atmospheric Pollution research*, 13, 101385, 2022.
5. Oudin, A., Forsberg, B., Malmqvist, E. Hälsövinster med att uppnå miljömålet frisk luft. Umeå universitet, Institutionen för folkhälsa och kliniskmedicin, Avdelningen för hållbar hälsa. Umeå universitet 901 87 Umeå. ISSN-nr 2003-3281 Folkhälsa och klinisk medicin i Umeå rapporterar. Nr 2, 2022.
6. 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>
7. SLB 51: 2022. Utvärdering av mätningar 2021 och 2022.
8. Snyder, M.G., Venkatram, A., Heist, D.K., Perry, S.G., Petersen, W.G., Isakov, V. RLINE: a line source dispersion model for near-surface releases. *Atmos. Environ.*, 77 (2013), pp. 748-756.

SLB-rapporter finns att hämta på: www.slb.nu

Bilaga. Känslighetstester med RLINE modellen

Meteorologi

Nedan redovisas de olika meteorologiska scenarion som användes i känslighetsanalysen av RLINE modellen. Parametrarna som varierar är difftemp (styr stabilitet av luftskiktning), vindhastighet och vindriktning. Här används Monin-Obukhov längden, L_{MO} , som mått för stabiliteten och scenarion klassas enligt Tabell 2.

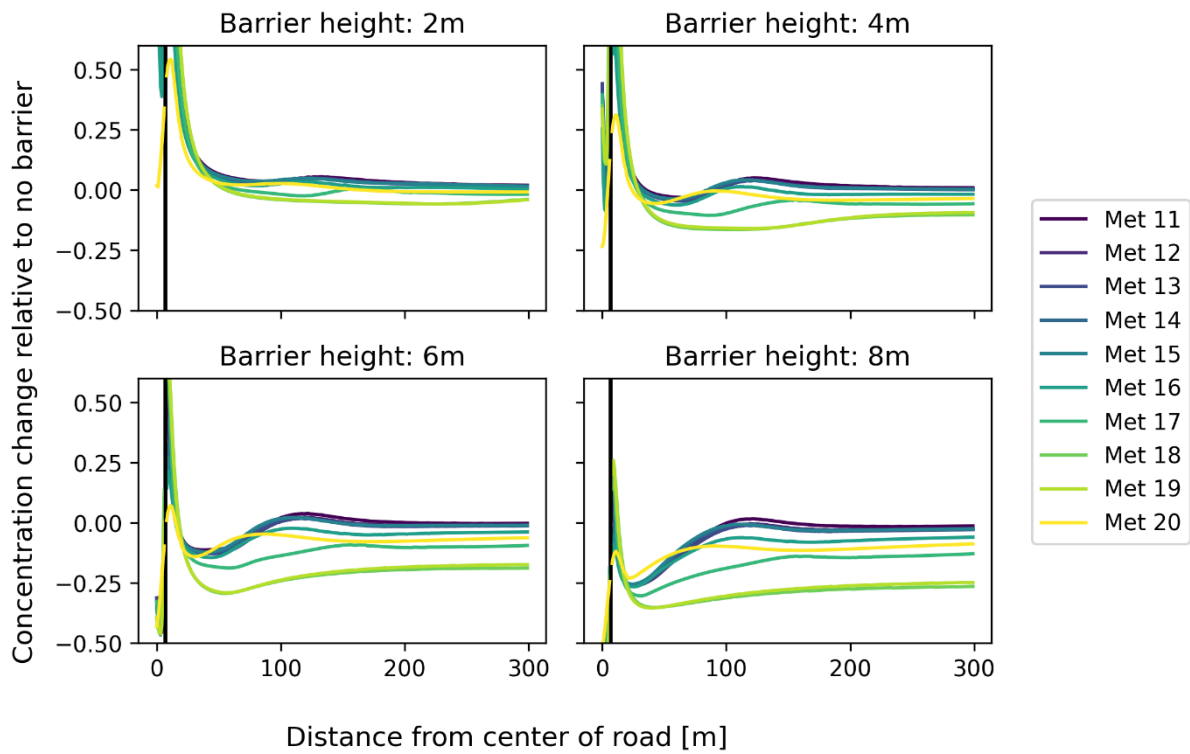
Tabell 1: Meteorologiska scenario som används i känslighetsanalysen av RLINE modellen. Stabilitetsklassificering enligt Tabell 2.

Meteo. scenario	Difftemp 20 - 5 m deg.C	Vind hastighet m/s	Vind riktning deg.M	u^* m/s	w^*	L_{MO} m	Stabilitetsklass
1	0,2	1,00	180	0,067	0	15,9	Mycket stabil
2	0,2	2,00	180	0,153	0	43,4	Mycket stabil
3	0,2	4,00	180	0,463	0	217,2	Nära neutral stabil
4	0,2	6,00	180	0,752	0	506,4	Neutral
5	0,2	8,00	180	1,03	0	910,7	Neutral
6	-0,2	1,00	180	0,162	0,386	-81	Mycket ostabil
7	-0,2	2,00	180	0,284	0,499	-353,2	Nära neutral ostabil
8	-0,2	4,00	180	0,543	0,733	-1480,1	Neutral
9	-0,2	6,00	180	0,807	0,945	-3366,7	Neutral
10	-0,2	8,00	180	1,073	1,138	-6009,5	Neutral
11	0,2	1,00	225	0,067	0	15,9	Mycket stabil
12	0,2	2,00	225	0,153	0	43,4	Mycket stabil
13	0,2	4,00	225	0,463	0	217,2	Nära neutral stabil
14	0,2	6,00	225	0,752	0	506,4	Neutral
15	0,2	8,00	225	1,03	0	910,7	Neutral
16	-0,2	1,00	225	0,162	0,386	-81	Mycket ostabil
17	-0,2	2,00	225	0,284	0,499	-353,2	Nära neutral ostabil
18	-0,2	4,00	225	0,543	0,733	-1480,1	Neutral
19	-0,2	6,00	225	0,807	0,945	-3366,7	Neutral
20	-0,2	8,00	225	1,073	1,138	-6009,5	Neutral

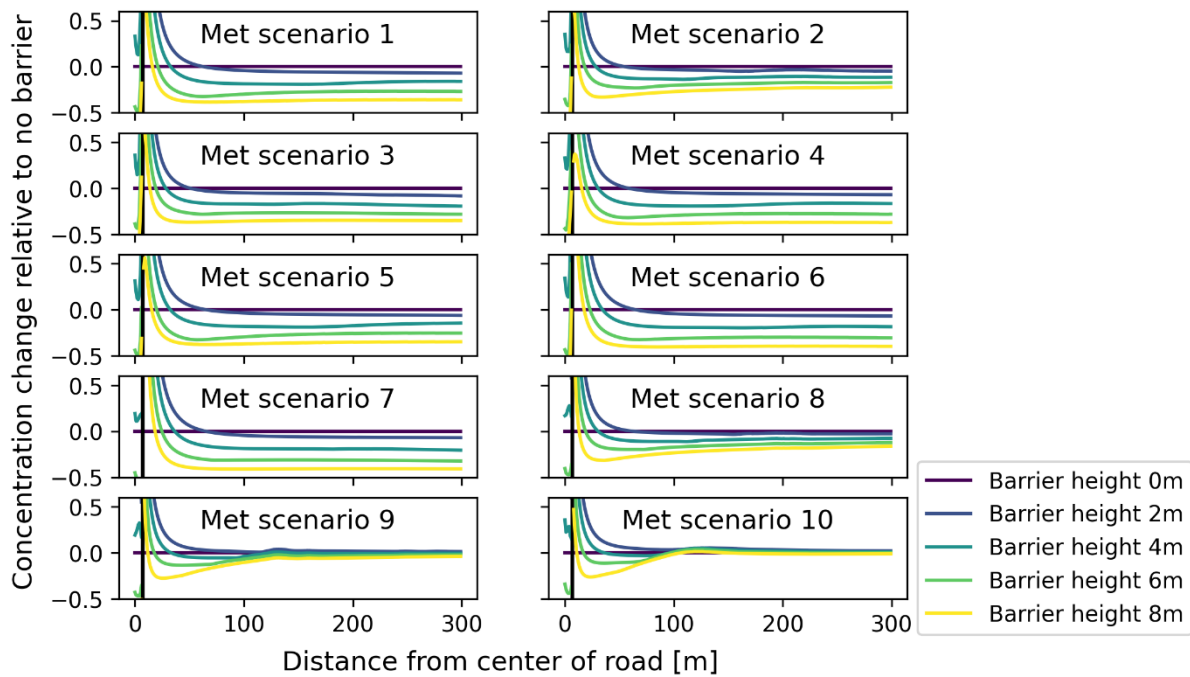
Tabell 2: Stabilitetsklassificering med hjälp av Monin-Obukhov längden L_{MO} (Breedt et al. 2018).

Very stable (vs)	$10 \leq L \leq 50$ m
Stable (s)	$50 \leq L \leq 200$ m
Near-neutral stable (nns)	$200 \leq L \leq 500$ m
Neutral (n)	$ L \geq 500$ m
Near-neutral unstable (nnu)	$-500 \leq L \leq -200$ m
Unstable (u)	$-200 \leq L \leq -100$ m
Very unstable (vu)	$-100 \leq L \leq -50$ m

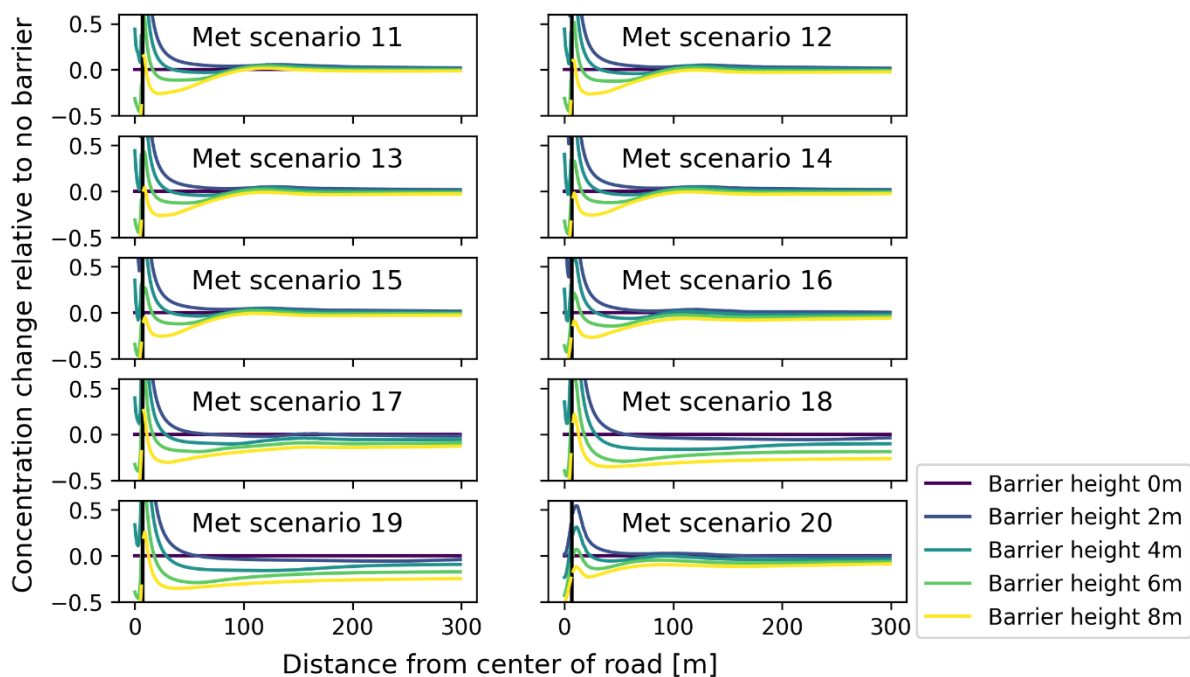
Haltändringar nedvind från ett bullerplank – kompletterande figurer



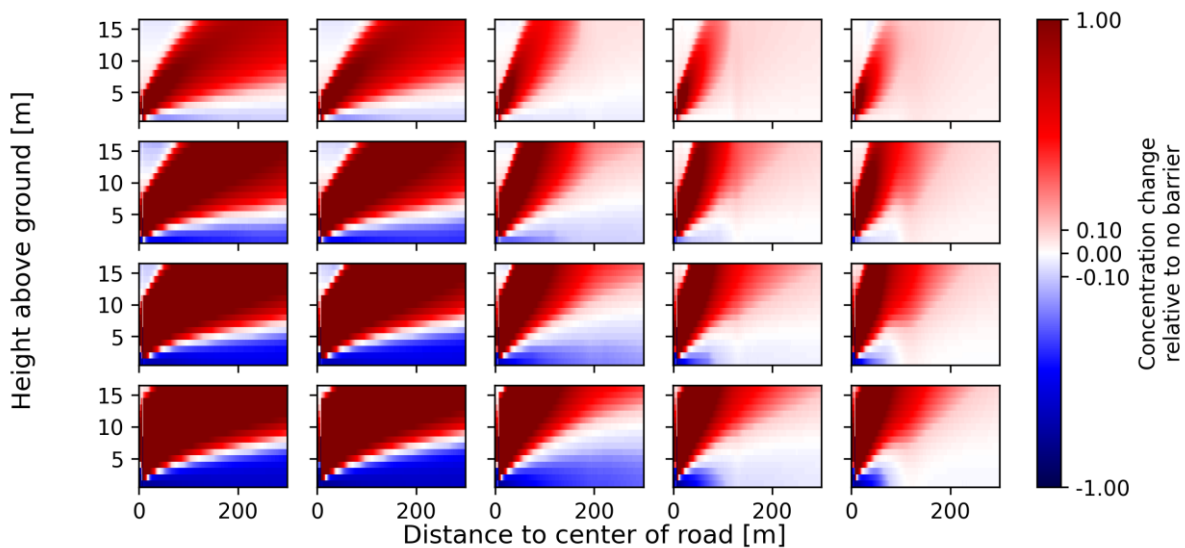
Figur 30: Samma som Figur 17 dock med sydvästlig vind (225°) istället för sydlig vind (180°).



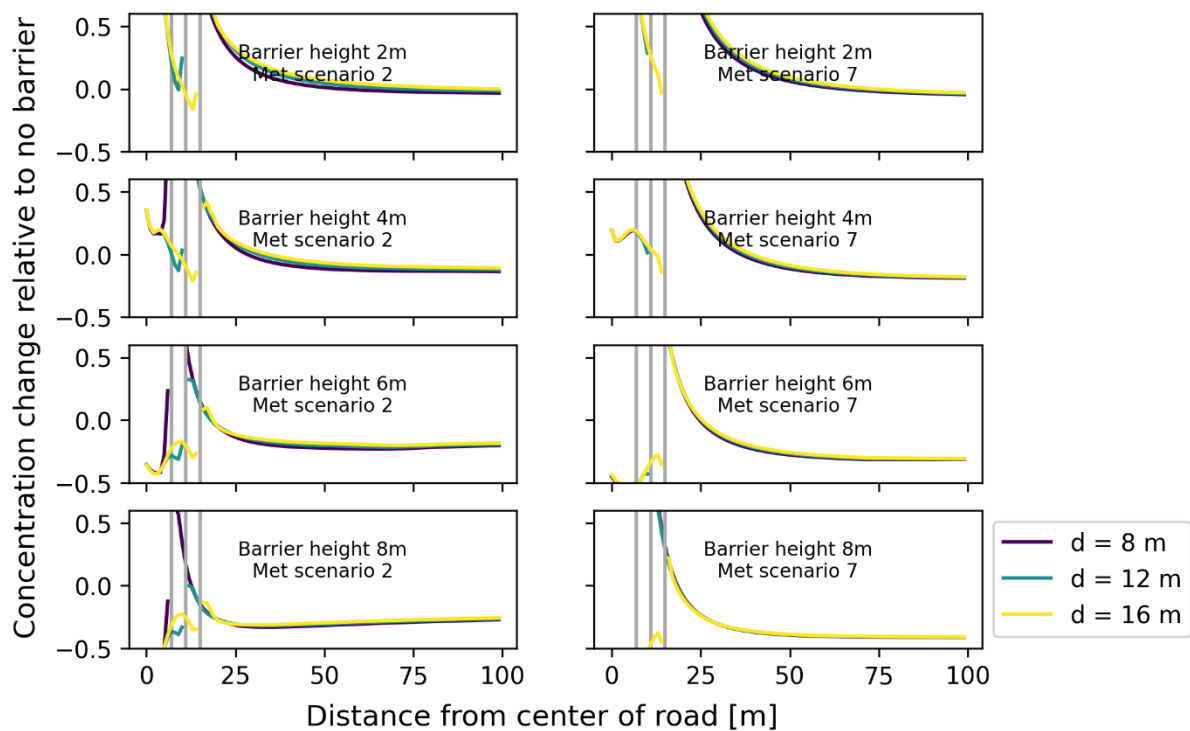
Figur 31: Haltförändringar som funktion av avståndet från vägmitt på 2 m över marken beroende på plankhöjden och för stabila (1 - 5) och ostabila (6 - 10) meteorologiska förhållanden.



Figur 32: Hålförändringar som funktion av avståndet från vägmitt på 2 m över marken beroende på plankhöjden och för stabila (11 - 15) och ostabila (16 - 20) meteorologiska förhållanden med sydvästlig vind istället för sydlig vind som i Figur 31.



Figur 33: Förändringar i halfältet relativt till halterna utan plank. Vindstyrkan ändras från vänster till höger (1, 2, 4, 6, 8 m/s) under ostabila meteorologiska förhållanden (scenario 6 - 10) istället för stabila scenarion som visas i Figur 16. Plankhöjden ändras i vertikal riktning uppifrån och ner (2, 4, 6, 8 m)



Figur 34: Jämförelse av haltändringarna relativt till utan plank för tre olika avstånd $d = 8, 12, 16$ m mellan vägmitt och planket, för plankhöjd (uppifrån och ner) 2, 4, 6 och 8 m, ett stabilt meteorologiskt scenario (vänster) och ett ostabilt scenario (höger). Meteorologiska scenarion skiljer sig från dem som visas i Figur 15.

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

