

SAMMANFATTANDE SLUTRAPPORT

Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan

Utmed E4/E20, tpl Hallunda – Vårby backe,
Botkyrka kommun



Trafikverket

Postadress: Solna Strand 98, Solna

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

Dokumenttitel: Projektsammanfattning: Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan

Författare: Jeffery Archer, Max Elmgren, Christer Johansson, Michael Norman, Michelle Benyammine Remahl

Dokumentdatum: 2022-08-23

Ärendenummer: TRV 2019/106348

Kontaktperson: Michelle Benyammine Remahl

Publikationsnummer: 2022:096

ISBN: 978-91-8045-051-5

Innehåll

Sammanfattning	5
English Summary	8
1	Bakgrund, syfte och mål 12
1.1	Inledning 12
1.2	Bakgrund..... 12
1.2.1	Luftkvalitet i Sverige och på aktuell sträcka..... 12
1.2.2	Åtgärden varierande hastighetsgränser (VH) 13
1.2.3	Tidigare försök med varierande hastighetsgränser 13
1.2.4	Trafikantbeteende och hastighetsefterlevnad..... 15
1.3	Syfte och mål 15
1.4	Projektplan och indelning i delmoment 17
2	Val av vägsträcka 20
2.1	Vägens utformning och standard..... 20
2.2	Trafik, luftkvalitet, miljö och trafiksäkerhet på sträckan 22
2.2.1	Trafik och klimatrelaterade utsläpp 22
2.2.2	Luftkvalitet 25
2.2.3	Trafiksäkerhet..... 26
2.2.4	Trafikstörande händelser 27
3	VH-funktionen 28
3.1	Styrning efter trafiktäthet 28
3.2	Framställan för godkännande av VH 29
3.3	Kommunikation om VH..... 29
3.4	Andra hastighetspåverkande besked 30
3.5	Budskap för bättre efterlevnad 30
4	VH: funktionsprestanda..... 32
4.1	Tekniska problem..... 32
4.2	Påslagsfrekvenser och tider för VH 32
5	Trafikpåverkan 35
5.1	Analys avseende hastighet och flöde 35

5.2	Andra hastighetspåverkande besked	35
5.3	Påverkan på medelhastighet	36
5.4	Fordonspassager under visning av VH	38
5.5	Påverkan på trafikflödet	38
5.6	Framkomlighet och restider	38
5.7	Trafiksäkerhet	40
5.8	Trafikstörande händelser	41
6	Effekter på luftkvalitet och klimat	41
6.1	Den uppmätta luftkvaliteten	41
6.2	Förväntade effekter	42
6.3	Effekter och effektpotential	43
6.3.1	Jämförelse med förväntade effekter	45
7	Samhällsekonomiska bedömningar	46
7.1	Samhällsekonomiska besparingar av luftkvalitet och klimat... 46	
7.2	Samhällsekonomiska effektbedömningar över en 20-årig investeringsperiod.....	46
7.2.1	Huvudanalys	47
7.2.2	Känslighetsanalys 1	48
7.2.3	Känslighetsanalys 2	49
8	Slutsatser	50
8.1	Övergripande slutsatser	50
8.2	Effekter på luftkvalitet och klimat	50
8.3	Styrning av VH	51
8.4	Hastighetsefterlevnad.....	51
8.5	Rekommendationer om fortsatt utredning.....	51

Sammanfattning

Hösten år 2019 inleddes forsknings- och innovationsprojektet: ”*Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät*”. Huvudsyftet har varit att utreda om trafikstyrning i form av varierande hastighetsgränser (VH) kan minska trafikens påverkan på luftkvalitet och klimatpåverkande utsläpp, samt hur trafikstyrning kan optimeras för att minska luftföroreningshalterna. Denna rapport sammanfattar det arbete som utförts i projektet. Arbetet beskrivs mer detaljerat i delrapporter 1-10. Medverkande i detta projekt, utöver Trafikverket, var SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm och MOVEA.

Metod, studieområde och upplägg

Trafikstyrningsåtgärden VH har använts internationellt i över 50 år men tillämpas sparsamt i Sverige, primärt som en trafiksäkerhetshöjande åtgärd och i vissa fall för att ge framkomlighetsförbättrande effekter. Tillämpningar är sällan riktade som en åtgärd för att förbättra luftkvalitet eller för att minska annan miljö- och hälsopåverkan.

Vägsträckan som studerats är E4/E20 mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja i Botkyrka kommun. Den 2,7 km långa högtrafikerade motorvägssträckan på utkanten av Storstockholm passerar ett tätbebyggt område som sedan tidigare haft problem med att uppfylla miljökvalitetsnormer (MKN) för utomhusluft. Framkomligheten och trafiksäkerheten är generellt god på sträckan men viss trängsel uppstår under rusningstider. Den skyltade hastigheten före införande av VH var 80 km/h, och efterlevnad av denna gräns har historiskt varit undermålig.

VH driftsattes på sträckan den 8 mars år 2021. Styrningen skedde efter ett förutbestämt trafikflödesvärde som avgör om ett tillstånd med ”tät trafik” uppnåtts. Om tröskeln överskrids sänks hastighetsgränsen från 80 till 60 km/h (VH60). Inför driftsättning genomfördes kommunikationsinsatser riktade mot trafikanter, polisen och berörda kommuner.

Den teoretiska påverkan av VH60-påslag på utsläpp av kväveoxider (NO_x), koldioxid (CO₂) samt kvävedioxidhalter (NO₂) beräknades för ett antal olika scenarier med hjälp av utsläppsdaten HBEFA 4.1. För att utvärdera den teoretiska effekten av alla påslag med varierande hastighetsgräns 60 km/h på icke avgas PM₁₀ och PM_{2.5} samt halter av PM₁₀, har NORTRIP-modellen använts.

Resultat

Efter införandet uppstod problem med olika delar av det tekniska systemet vilket gjorde att närmare 40 procent av alla beräknade påslag av den reducerade hastighetsgränsen 60 km/h (VH60) uteblev. Trots dessa problem passerade cirka 1,86 miljoner fordon vägsträckan i någon riktning då VH60 visades mellan mars och december år 2021.

Följden av perioder med tät trafik då VH60 visades jämfört med perioder då VH60 borde men inte visades blev en hastighetssänkning på cirka 6,0 km/h i norrgående och 5,5 km/h i sydgående riktning. Dessa resultat är aggregerade över

alla mätsnitt och körfält. Den förhållandevis låga effektnivån speglar bl.a. en ovillighet hos förare att anpassa hastigheten efter den skyltade gränsen och en avsaknad av hastighetsuppföljning. Hastighetsminskningen orsakade ökade restider, och den genomsnittliga trafikgenomströmningen minskade något.

Påverkan på genomsnittshastighet i kombination med antalet fordon och fordonssammansättningar var viktiga indata vid beräkning av luftkvalitet och klimatpåverkan. Utvärderingen visade inte på entydigt sjunkande luftföroreningshalter för år 2021 efter att VH införts, jämfört med år 2019 och 2020. Det går därför inte att enbart utifrån uppmätta halter säga att införandet av VH påverkat de uppmätta halterna positivt. Mätdata visar även att meteorologin och variationer i trafikflöden har stor betydelse för resultaten.

Förutom mätdata så visar beräkningar i HBEFA för CO₂ att emissionsminskningarna är små till följd av VH60-påslag, en beräknad minskning av 20 ton CO₂ längs med sträckan. Vid full efterlevnad av hastighetsgränsen och om inga VH60-påslag hade uteblivit hade utsläppsminskningen dock ökat till 113 ton CO₂.

Uppmätta halter av NO₂ visade inte heller några betydande minskningar vid VH60-påslag. Medelvärdet för NO₂, liksom timmar över miljökvalitetsmålets målvärde 60 µg/m³ och miljökvalitetsnormens gränsvärde 90 µg/m³, förändrades förhållandevis lite. Det är först om man räknar med fullgod hastighetsefterlevnad som timmar över miljömålets målvärde minskar i någon betydande grad. Om VH istället hade styrts utifrån NO₂-halter samt fungerat felfritt, och därmed påverkat fler fordon, hade effekten blivit större.

Däremot blev det inga skillnader i antalet dygn med PM₁₀-halter över 30 µg/m³ (målvärdet i Frisk luft) eller 50 µg/m³ (EU:s normvärde) vid användning av VH, inte heller vid fullt fungerande teknik och perfekt hastighetsefterlevnad.

Beräknade samhällsekonomiska besparingar (ASEK) för uppmätta och modellberäknade utsläppsminskningar av PM_{2,5} och PM₁₀, visade hälsoeffekter på 180 000 kr, kulturmiljöeffekter (på grund av minskade NO_x-emissioner) på 29 000 kr, samt climateffekter (minskade CO₂-emissioner) på 168 000 kr till följd av VH-perioden 8 mars till och med december år 2021. Om utökade värden för hälsa används, som tagits fram av forskare vid Umeå Universitet och SLB-analys, utökas besparingen i hälsoeffekter till 369 000 kr.

Framkomlighet påverkades marginellt negativt vid visning av VH60; det genomströmmande flödet i alla körfält minskade med upp till cirka 200 fordon per timme. Minskad hastighetsvariation uteblev liksom tydliga omfördelningar mellan körfälten. Restider förlängdes under VH60-påslag och var i genomsnitt c:a 8 sekunder längre.

Trafiksäkerheten har enligt beräkningar i den s.k. potensmodellen förbättrats tack vare en lägre genomsnittshastighet under visning av VH. Olycksfrekvensen beräknades minska med cirka 16 procent. Analyser visade även tydliga tecken på att avståndshållning mellan fordon förbättrades under VH60-påslagen.

Samlade effektbedömningar baserade på förändringar inom miljö och hälsa, uppmätta framkomlighetsförändringar samt trafiksäkerhetsförändringar beräknade enligt potensmodellen, beräknade enligt befintliga effektsamband till följd av hastighetspåverkan, visade en positiv samlad nytta för VH som åtgärd.

Nettonuvärdet över en 20-årig driftperiod (avskrivningsperioden för teknikinvesteringar) beräknades till 5,2 mnkr (NNK 2,4). Om det inte hade varit för uteblivna påslag hade nyttan fördubblats. Därutöver visade en kalkyl med expertbedömda värderingar för miljö och hälsa att nettonuvärdet hade ökat ytterligare till 15,1 mnkr (NNK 6,9) vid ett fullt fungerande VH.

Slutsatser

En övergripande slutsats från arbetet är att bristande hastighetsefterlevnad har haft en betydande påverkan på VH-åtgärdens effektpotential. Åtgärder för att säkra hastighetsefterlevnaden är nyckeln för att skapa höjda nyttor för hälsa (luftkvalitet), klimat, och trafiksäkerhet. För att VH ska uppnå sin fulla potential krävs kompletterande och stödjande åtgärder inriktade på förbättrad hastighetsefterlevnad. Kommunikation med trafikanterna, antingen via skyltar eller som förarstöd, kan till exempel vara betydelsefullt för att få bättre förståelse och därmed ökad efterlevnad av de varierande hastighetsgränserna.

Vad som styr trafikanterna att sänka hastigheterna i ett VH-system, bedöms vara avgörande för effekten av åtgärd. Beroende på vilket syfte VH ska ha, om det är miljö, hälsa, trafiksäkerhet eller framkomlighet som är det primära behovet kan styrningsformen se olika ut. I projektet var planen att styra efter luftkvalitet, ett visst gränsvärde för en överkommen luftförorening. Men då det av tekniska skäl inte gick att införa luftkvalitetskriterier i styrningen av trafiken, infördes styrning istället efter ”tät trafik”, som kan ha påverkat förväntade positiva effekt på luftkvaliteten negativt.

Vid ett fullt fungerande VH och en optimal hastighetsefterlevnad beräknades utsläppsminskningarna, tillsammans med de trafiksäkerhetsmässiga positiva effekterna, trots allt bidra till att VH ser ut att vara en samhällsekonomiskt värdefull åtgärd.

Lärdomarna har varit många och det finns goda skäl att tro att framtida implementeringar kan ta stöd av erfarenheterna från detta projekt. Ett antal uppföljningsstudier har identifierats för att bygga vidare på denna kunskapsplattform och utveckla VH till en användbar och nyttig funktion i framtiden. Det rekommenderas att VH kvarstår på E4/E20 i detta syfte.

English Summary

In the autumn of 2019, the research and innovation project: "*Active traffic management for improved air quality and reduced climate impact along the state road network*" began. The main purpose of this project was to investigate whether traffic control in the form of variable speed limits (VSL) could reduce the impact of traffic on air quality and climate related emissions. A further goal was to discover how to optimize traffic management functions in order to reduce air pollution. This report summarizes the main findings of the project. Further details are available in the project-reports 1-10. Participating in this project, in addition to the Swedish Transport Administration, were SLB analysis at the Environmental Administration in Stockholm and MOVEA.

Method, study area and structure

The traffic management measure VSL has been in use internationally for over 50 years but is seldom a measure of choice in Sweden. VSL is primarily a road safety enhancing measure and in some cases to provide traffic efficiency improvements. Applications rarely target air quality improvement or reductions in other environmental and health impacts.

The road section studied is located on E4/E20 between the Hallunda intersection and Fittja intersection on the outskirts of Greater Stockholm in the Botkyrka municipality. The 2.7 km stretch of motorway has a considerable flow of traffic that passes a densely populated area. The roadway has known problems with environmental quality standards for outdoor air. Accessibility and traffic safety are generally good, but some congestion occurs during rush hours. The posted speed limit before the introduction of VSL was 80 km/h and compliance with this limit has historically been substandard.

The implementation of VSL along this stretch of roadway occurred on March 8, 2021. The controlling algorithm used a predetermined traffic flow value that determined whether a state of "dense traffic" existed. When the threshold was exceeded, the speed limit was lowered from 80 to 60 km/h. Prior to the introduction of VSL information aimed at road users, the police and affected municipalities was given through a number of media-channels.

The theoretical impacts of VSL on emissions of nitrogen oxides (NO_x), carbon dioxide (CO₂) and nitrogen dioxide (NO₂) levels for a number of different scenarios were determined using the HBEFA 4.1 emissions database. To evaluate the theoretical effect on non-exhaust PM₁₀ and PM_{2.5} and concentrations of PM₁₀ during periods when the variable speed limit 60 km/h was active (VSL60), the NORTRIP model was used.

Result

After the introduction of VSL, problems arose with the technical system causing many "missed" activations, in other words situations where the reduced speed limit of 60 km/h was applicable but not shown on the roadway. The number of missed activations and activation time between March and December was approximately 40 percent in total. Despite these problems, approximately 1.86

million vehicles passed the stretch of VSL regulated roadway in either direction when VSL60 was active between March and December 2021.

The effect of the VSL60-activations on average speed were determined by comparing similar periods of dense traffic where VSL60 was activated and where it should have been activated but was missed due to technical problems. From this comparison it could be determined that average speed was reduced by approximately 6.0 km/h for the northbound and 5.5 km/h for the southbound direction, respectively. These averages reflect all measurement sections and traffic lanes. The poor level of speed-compliance reflects, amongst other things, an unwillingness on the part of drivers to adapt their speed to the posted speed limit and a lack of speed-enforcement measures. The reduction in average speed caused an increase in travel time and a small decrease in average traffic throughput.

The impact on average speed in combination with the number of vehicles and vehicle composition were important input data when calculating air quality and climate impact. The evaluations of air quality and climate impact indicated that the introduction of VSL did not give a distinct decrease in air pollution levels for 2021 when compared to 2019 and 2020. It was therefore not possible to conclude from the measured concentrations that VSL had a significant positive effect. Measurement data also showed that meteorology and variations in traffic flows were of great importance for the results.

In addition to measurement data, calculations for CO₂ in HBEFA showed that emission reductions during VSL60-activations were relatively small. The estimated reduction for CO₂ was 20 tons for the VSL-regulated stretch of roadway. However, with full compliance to the speed limit and a fully functional VSL (where all intended speed limit reductions were activated on the roadway), the emission reduction would have increased to 113 tons of CO₂.

For measured levels of NO₂ no significant reductions were found as a result of the VSL60-activations. Changes in the average value of NO₂, the number of hours above the target environmental quality goal of 60 µg/m³, and the environmental quality standard level 90 µg/m³ were relatively small. Estimations showed that a speed compliance is essential in order to influence the environmental targets to any significant degree. A VSL-algorithm designed to activate VSL60 based on NO₂ concentration levels instead of “dense traffic”, would have affected more vehicles and had greater effect (given that there are no technical problems that prevent VSL-activations).

There were no differences in the number of days with PM₁₀ concentrations above the 30 µg/m³ target values in “Frisk Luft” or the 50 µg/m³ EU-norm when using VSL, even if there were no technical problems and good speed compliance.

Estimated socio-economic savings for measured and model-calculated emission reductions of PM_{2.5} and PM₁₀, showed health effects of SEK 180,000, cultural environment effects (due to reduced NO_x emissions) of SEK 29,000, and climate effects (reduced CO₂ emissions) of SEK 168,000 for the period March to December 2021. Researchers at Umeå University and SLB analysis have developed alternative expert-based values to estimate health savings. If these are used the socio-economic effect is increased to SEK 369,000.

Results showed a reduction in traffic-flow during periods when VSL60 was active. The effect on throughput was a reduction of approximately 200 vehicles per hour. Analyses showed no significant effects for speed variability or the distribution of traffic among available driving lanes. The effect on mobility and traffic performance, reflected by the change in travel-time, was an increase of approximately 8 seconds in each direction.

According to the “potency-model”, road safety has improved due to a lower average speed during VSL60. Calculations show a reduction in the estimated accident rate by approximately 16 percent. Analyses related to traffic safety also showed a clear indication of increased distance between vehicles when VSL60 was active.

Generalized socio-economic impact assessments based on changes in environment and health, measured accessibility and traffic safety showed a positive overall benefit for VSL as a countermeasure. The estimated net cost-benefit value over a 20-year operational period (depreciation period for technology investments) SEK 5.2 million (net cost-benefit ratio 2.4). Had there not been technical problems with the VSL60-activations, the socio-economic benefits would have doubled. In addition, the alternative expert-based values for environment and health had further increased the net cost benefit to SEK 15.1 million (net cost-benefit ratio 6.9) with a fully functional VSL.

Conclusions

An overall conclusion from this project is that low speed-compliance has significantly reduced the potential of VSL and the effects it can generate. Measures to ensure speed-compliance are key to increasing the benefits for health (air quality), climate and road safety. Supportive countermeasures aimed at improved speed-compliance are necessary, e.g. dynamic information and communication with road users through digital signage or driver support systems within the vehicle. These are important measures to achieve a better understanding at the road-user level and increased compliance for applications such as variable speed limits.

Achieving a reduction in speed is decisive for the effects of VSL and other measures. For VSL and similar functions, the controlling measures in an algorithm for determining an appropriate speed limit must be adapted to the main purpose (e.g. improving the environment, health, road safety, accessibility or traffic system performance). In this project, the plan was to control the speed limit based on a measure of air quality. This was, however, not possible for technical and other reasons and traffic-density became the only viable option. This was less than optimal for achieving a good effect on air quality.

With fully functional VSL and optimal speed-compliance, the emission reductions, together with positive effects on road safety, were in terms of socio-economical effect nevertheless a beneficial measure.

There is good reason to believe that future implementations will benefit from the experiences of this project. A number of suggested follow-up studies can build on this knowledge-platform and further develop VSL into a useable and beneficial

function in the future. A recommendation is that VSL should continue on E4/E20 for this purpose.

1 Bakgrund, syfte och mål

1.1 Inledning

Forsknings- och innovationsprojektet: *Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät* har pågått mellan hösten år 2019 och våren 2022. Denna rapport sammanfattar det arbete som utförts i projektet. Arbetet beskrivs mer detaljerat i delrapporterna 1-10. En målsättning har varit att dokumentera resultat, erfarenheter och lärdomar som kan vara användbara i framtida studier och för utformning av eventuella åtgärder med avseende på luftkvalitet och nya implementeringar av varierande hastighetsgränser (VH).

Medverkande i detta projekt, utöver Trafikverket, var SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholms stad och MOVEA.

1.2 Bakgrund

1.2.1 Luftkvalitet i Sverige och på aktuell sträcka

Halterna av luftföroreningar i utomhusluften i Sverige är generellt bland de lägsta i Europa. Trots detta finns det tydliga problem i storstäder där föroreningshalterna i gaturum och längs trafikerade vägar överskrider miljökvalitetsnormer (MKN) för kvävedioxid (NO₂) och partiklar (PM₁₀) till skydd för människors hälsa.¹

Överskridanden av MKN i Stockholmsregionen beror till stor del på de lokala utsläppen från vägtrafiken.² För NO₂ är den största källan bilarnas avgaser medan PM₁₀ till stor del består av grova partiklar orsakade av slitage av vägbanan. Intransport av partiklar från övriga Sverige och Europa utgör även ett betydande bidrag till de totala PM₁₀-halterna i Stockholm. Detta betyder att beräkning av partikelhalter är komplext och att hänsyn måste tas till förhållandet mellan regionala bakgrundshalter och urbana/lokala bidrag. Utöver storleken på utsläppen har även lokala väderförhållanden en betydelsefull inverkan på halterna.

De senaste beräkningarna av hälsokonsekvenser av vägtrafikens luftföroreningar i Sverige visar att antalet dödsfall för närvarande är 1 400 (år 2019).³ Dödsfallen på grund av dålig luftkvalitet orsakad av vägtrafik kan jämföras med 178 döda i trafikolyckor i Sverige per år (2022).⁴

¹ Se t.ex. Forsberg B. et al (2005). "Comparative Health Impact Assessment of Local and Regional Particulate Air Pollutants in Scandinavia", *Ambio* Vol. 34, No. 1, February 2005, Royal Swedish Academy of Sciences 2005; Gustafsson M. et al. (2010). "Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ in Sweden 2010", IVL Report B 2197 och Lövenheim B. (2017). "Exponering för luftföroreningar inom Östra Sveriges Luftvårdsförbund: beräkningar av befolkningens exponering för partiklar (PM₁₀) och kvävedioxid (NO₂) år 2015", LVF 2017:12.

² Trafikverket (2015), "Luftkvalitetsutredning för det statliga vägnätet i Stockholms län: Beräkningar av trafikflöden och åtgärder för att nå miljökvalitetsnormer och miljökvalitetsmål för partiklar", Publikation Trafikverket, Publikationsnummer: 2017:061.

³ Gustafsson M. et al (2022). Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts 2019. IVL No. B 2446

⁴ [Statistik över vägtrafikolyckor - Transportstyrelsen](#)

Ett område med sedan tidigare kända problem av luftföroreningar är Hallunda i Botkyrka kommun där den högttrafikerade Europavägen E4/E20 passerar ett flertal tätbebyggda bostadsområden och bidrar till en allt sämre miljö för områdets invånare. Den stora mängden trafik på E4/E20 har lett till en situation där enskilda åtgärder kanske inte kommer att räcka till för att uppfylla gällande krav och normer i det lokala området. Parallella långsiktiga åtgärder krävs förmodligen för att målvärden i miljömålets ska uppnås.

1.2.2 Åtgärden varierande hastighetsgränser (VH)

Varierande hastighetsgränser (VH) introducerades i Tyskland i början på 1970-talet och sedan dess har funktionen utvecklats och använts i ett stort antal länder världen över.

Åtgärden används primärt i syfte att förbättra trafiksäkerheten genom minskad olycksfrekvens och minskat krockvåld i de olyckor som inträffar. Dessa effekter uppnås främst genom lägre hastigheter generellt, men också som en följd av en harmonisering av fordons hastigheter. Även små relativa förändringar i medelhastighet och hastighetsvarians kan ha en stor påverkan på olycksfrekvens och svårighetsnivån i de olyckor som faktiskt inträffar på en vägsträcka.

Ett annat känt användningsområde är förknippat med vägtransportsystemets effektivitet. Väl anpassade tillämpningar kan resultera i ett utökat nyttjande av vägkapacitet och leda till en högre genomströmning av trafik jämfört med samma förhållanden där VH inte används. Ett tredje område är förbättringar inom miljö och hälsa. Förutsatt god hastighetsefterlevnad kan VH minska bullernivåer, luftföroreningar och klimatutsläpp (koldioxid).

VH kan även användas i mer specifika syften, bl.a. för att anpassa hastighetsgränsen till rådande väderförhållanden (t.ex. dimma, eller snö och is) och för att förbättra säkerheten där det finns lokala problem med hastighetsefterlevnad t.ex. i närheten av skolor eller vid vägarbeten. Andra ändamål kan vara att förbättra trafiksäkerheten i icke signalreglerade korsningar. Flera av dessa tillämpningar har studerats i Sverige.

Till skillnad från många andra europeiska länder används VH relativt sparsamt som åtgärd i Sverige. En anledning till detta kan vara att det finns andra liknande funktioner, exempelvis kövarning, för att minska risken för upphinnandelyckor när trafiktätheten är hög. Det kan också bero på tekniska förutsättningar (behovet av en automatiserad och fordonsstyrd funktion) samt bristande erfarenhet och kunskap om åtgärden och dess potential. VH har testats och införts på ett antal platser med goda resultat, men trots positiva erfarenheter föreslås eller rekommenderas åtgärden sällan i samband med utredningsarbete, t.ex. i åtgärdsvalsstudier.

Mer om effekter som VH kan medföra återges i delrapport 9.

1.2.3 Tidigare försök med varierande hastighetsgränser

Föreliggande FoI-projekt är en vidareutveckling av och fortsättning på ett annat projekt: *"Miljöanpassad hastighet på E18"* vars resultat publicerades i en

Trafikverksrapport år 2011.⁵ Projektet finansierades av dåvarande Vägverket i ett samarbete med SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholms stad och hade som syfte att undersöka miljöanpassad hastighet som åtgärd för att förbättra luftkvalitet. Ett lokalt styrsystem med varierande hastighetsgränser var uppsatt på E18 i Danderyds kommun norr om Stockholm, som användes som teststräcka.

Resultaten från denna studie var otydliga. Ett stort problem med tillämpningen var köbildning som uppstod under rusningstider vilket gjorde att VH hade en mycket begränsad påverkan på den av köbildningen redan nedsatta trafikhastigheten.

Luftkvalitetsmätningar genomfördes av PM₁₀, PM₅, PM_{2.5}, PM_{1.0}, PM_{0.5}, NO, NO₂, partikelantal i olika storleksfraktioner, vindhastighet, vindriktning, temperatur och relativ fuktighet. Medeldygnsvariationen av PM₁₀-halterna (15-minuters-medelvärden) visade sig inte helt följa VH, men PM₁₀-halterna sjönk totalt sett under mätperioden, vilket troligen även berodde på den minskade andelen fordon med dubbdäck under utvärderingsperioden.

Några år efter studien infördes skyltade reducerade hastighetsgränser under dubbdäckssäsongen på E18 mellan Stocksund och Arninge och ett antal andra stora leder i Stockholmsregionen. Syftet var att minska partikelhalterna där miljökvalitetsnormerna överskreds eller riskerade att överskridas.

Under perioden 2003-2009 bedrev Vägverket ett 20-tal olika försök med varierande hastighetsgränser på olika platser och i olika trafikmiljöer.⁶ Avsikten med dessa försök var bland annat att påvisa om och hur VH kunde bidra till en bättre hastighetsanpassning på ett kostnadseffektivt sätt. Försöken bedrevs inom fyra typer av tillämpningar i anläggningar som styrs av:

- Korsande och svängande trafik i vägkorsning, inklusive bussutfart.
- Fotgängare utmed väg eller vid passage över väg.
- Väderförhållanden, främst kopplad till vinterväglag, dimma och vind.
- Trafikintensitet (flöden, hastigheter och köer).

Försöken bedrevs utifrån en särskild förordning (2002:713) om försöksverksamhet med varierande högsta tillåtna hastighet. Med stöd av denna förordning kunde Vägverket meddela en föreskrift för varje enskild försökssträcka. En särskild uppgift var att undersöka förutsättningarna för att förenkla utformningen och hanteringen av VH i olika led av anskaffnings- och driftsfaserna med avsikt att hålla nere kostnaderna. Av försöken utvecklades ett utvärderingsprogram som omfattade bl.a. mätningar och analyser av olika tillämpningar, attitydmätningar, analys av driftdata, samhällsekonomiska beräkningar och en inventering av internationella erfarenheter.

Slutsatserna av försöken var positiva för samtliga tillämpningsområden, vars syften var att åstadkomma en bättre hastighetsanpassning. För trafikstyrda anläggningar (motorvägssträckor) rekommenderades VH där normalhastigheten

⁵ Johansson C. et al (2011). Miljöanpassad hastighet på E18. Trafikverket publikation 2011:042. Trafikverkets webbutik. Miljöanpassad hastighet på E18 (ineko.se).

⁶ Vägverket (2008).). Variabel hastighet – en lysande idé, Resultatrapport. Publikation 2008:77. Utgivare: Vägverket, Utgivningsdatum: 2008-06, ISSN 1401-9612.

var 90 km/h eller högre, med reservation för att positiva effekter kunde erhållas även vid en lägre normalhastighet (dock med risk för att effekterna inte skulle bli lika påtagliga). VH rekommenderades för motorvägssträckor med relativt stora flöden och där återkommande problem med flaskhalsar, sträckor med förhållandevis många påkörningsolyckor, samt sträckor med ofta förekommande plötsliga hastighetssänkningar förekom. I slutsatserna rekommenderades flera fördjupningsstudier, bland annat en utredning om kompletterande åtgärder för ökad hastighetsefterlevnad.

1.2.4 Trafikantbeteende och hastighetsefterlevnad

Ett kriterium för god efterlevnad i förhållande till varierande hastighetsgränser är att förarna upplever att vägförhållanden motiverar den hastighetsgräns som skyltas. Att sänka hastighetsgränsen utan ett observerbart och tydligt motiv kan således leda till dålig hastighetsefterlevnad och uteblivna effekter.⁷ Enligt undersökningar i samband med olika tillämpningar i Sverige mellan år 2003 och 2009, var acceptansen för VH relativt hög. VH ansågs därmed vara anledningen till god efterlevnad.⁸ Men VH infördes samtidigt som den högsta tillåtna hastighetsgränsen höjdes, och om endast en reducerad hastighetsgräns hade införts är det tänkbart att acceptansen hade varit annorlunda.

1.3 Syfte och mål

Huvudsyftet med projektet *”Aktiv trafikstyrning för förbättrad luftkvalitet och minskad klimatpåverkan utmed statligt vägnät”* är att utreda om varierande hastighetsgränser (VH) är en lämplig och nyttig åtgärd för att minska vägtrafikens påverkan på luftkvalitet och klimatutsläpp.

Ett antal viktiga delsyften formulerades inför projektet:

- Utreda hur stor påverkan användningen av dubbdäck har på luftkvaliteten under vinterhalvåret i förhållande till VH.
- Beräkna hur VH inverkar på koldioxidutsläpp för den aktuella vägsträckan.
- Utreda i vilken grad trafiksäkerhet och framkomlighet (köbildning, restider) påverkas på sträckan till följd av ett införande av VH.
- Utreda i vilken grad ett tydligt miljöbudskap påverkar förarnas hastighetsefterlevnad när VH aktiveras och hastighetsgränsen sänks.
- Etablera användbara effektsamband mellan trafikdata (trafikmängder, fordonssammansättning, hastighetsprofiler) och luftkvalitetsdata (NO_x/NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}) givet vissa metrologiska förutsättningar samt kartlägga effekter i förhållande till olika tidsperspektiv.

⁷ Se exempelvis: Wasielewski, P. (1984). Speed as a measure of driver risk: observed speeds versus driver and vehicle characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 16, 89–103; Maycock, G., Brocklebank, P.J., Hall, R.D. (1998). Road layout design standards and driver behaviour. TRL Report No. 332. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire. Munden, J. M. (1967). The relation between a driver's speed and his accident rate. RRL Report LR 88. Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire; Quimby, A., Maycock, G., Palmer, C., Buttress, S. (1999). The factors that influence a driver's choice of speed – a questionnaire study. TRL Report No. 325. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.

⁸ Vägverket (2008).). Variabel hastighet – en lysande idé, Resultatrapport. Publikation 2008:77. Utgivare: Vägverket, Utgivningsdatum: 2008-06, ISSN 1401-9612.

- Utifrån etablerade effektsamband identifiera vilka effekter på luftföroreningshalterna som skulle kunna uppnås med olika grader av hastighetsanpassning hos förare, t.ex. om den faktiska genomsnittshastigheten minskar med 2, 5, 10 eller 20 km/h.
- Utifrån etablerade effektsamband identifiera vad som skulle behövas i form av minskad hastighet, minskad trafik, med mera för att VH som funktion skulle kunna möta utpekade miljö kvalitetsmål så som Frisk luft och Begränsad klimatpåverkan för den aktuella vägsträckan/berörda området.
- Utredda de tekniska och operationella förutsättningarna utifrån mätningar och etablerade effektsamband för ett framtida införande av varierande hastighetsgränser även på andra sträckor där styrningsformen utgår från trafikala och/eller luftkvalitetsparametrar. Här är det exempelvis intressant att kartlägga vilka parametrar det är som är lämpliga för styrningen, och hur villkoren ska utformas om det övergripande syftet är miljö eller hälsa (t.ex. luftkvalitet) jämfört med om målsättningen är framkomlighet och trafiksäkerhet.

Genom utredning, test och demonstration, samt möjligheten att följa hela processkedjan är målsättningen i detta projekt att få nya kunskaper och erfarenheter om varierande hastighetsgränser som funktion och potentiell åtgärd för att minska luftföroreningshalterna längs med högtrafikerade motorleder. I andra hand var målet att undersöka effekten av CO₂-emissioner, framkomlighet och trafiksäkerhet. Målet här ses som starkt förknippat till utmaningen att ställa om till ett långsiktigt hållbart och tillgängligt transportsystem där ingen dör eller skadas allvarligt på grund av utsläpp, buller eller trafikolyckor, förutsatt att transportsystemet blir klimatneutralt inom en överskådlig framtid.

Projektet hade som målsättning att se över gällande effektsamband mellan trafik- och luftkvalitetsparametrar. Detta för att bättre kunna uppskatta potentiella förbättringar av luftkvaliteten vid användning av hastighetspåverkande åtgärder som VH, och för att underlätta valet av lämpliga kostnadseffektiva åtgärder.

En ytterligare målsättning var att identifiera vilka möjligheter det finns att uppfylla gällande miljö kvalitetsnormer (MKN) och miljö kvalitetsmål (MKM) med hjälp av VH i testområdet. Vägtrafiken är den dominerande källan till höga halter i många områden längs med statlig väg i Stockholmsregionen, vilket betyder att det finns förutsättningar att lättare uppnå normer och mål om man hittar åtgärder som är effektiva.

1.4 Projektplan och indelning i delmoment

Enligt projektplaneringen delades arbetet in i delmoment som resulterade i en eller flera delrapporter. Delrapport 1-8 och 10 går att ladda ner från SLB-analys [Samtliga rapporter \(slbanalys.se\)](http://slbanalys.se). Delrapport 9 ingår i Trafikverkets publikationsserie med Publikationsnummer 2022:189.⁹

1. *Analys av luftkvalitetsdata före VH (avrapporteras i delrapporter 1a och 1b)*

Huvudsyftet i denna aktivitet var att analysera uppmätta PM₁₀, PM_{2.5} och NO₂-värden och jämföra per kalenderår mot tim-, dygns- och årsmedelvärden för MKN och MKM. I analysen ingick påverkan av meteorologiska faktorer. Värdena syftade till att visa en tydlig problembild och ett jämförelsescenario före införande av åtgärder.

2. *Analys av trafikdata före VH (avrapporteras i delrapport 2)*

I denna aktivitet analyserades uppmätta trafikparametrar för vägsträckan. De viktigaste mätningarna omfattade: trafikflödesprofiler över tid (dygn, månad), hastighetsprofiler över tid (dygn, månad), hastighetsefterlevnad och fordonssammansättningsdata (andel fordonstyper, miljöklasser mm). Under vinterhalvåret mättes även dubbdäckanvändningen. Historiska trafikdata, med undantag för fordonssammansättning, finns i STRESS-databasen sedan flera år tillbaka. Analysen innehöll också en sammanställning av utsläppen av kväveoxider (NO_x) och koldioxid (CO₂) vid platsen, baserat på fordonssammansättningen och de teoretiska utsläppen från HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport).

3. *Beräkning av reella emissionsfaktorer för NO_x och sotpartiklar samt mätning av CO₂ (avrapporteras i delrapporter 3a och 3b)*

Syftet med denna aktivitet var att beräkna verkliga emissionsfaktorer för NO_x och sotpartiklar. Tidigare forskningsprojekt har visat att teoretiska emissionsfaktorer (EF) för NO_x från HBEFA skiljer sig från utsläpp under verklig körning. Metoden för att beräkna EF baseras på uppmätta halter av NO_x, sotpartiklar och CO₂ i kombination med beräknade emissionsfaktorer av CO₂ utifrån HBEFA. Mätning av CO₂ ägde rum under 3 månader vid vardera sidan av E4/E20, d.v.s. i de redan etablerade mätstationerna. Mätningarna och analysen upprepades senare under projektet. I efterföljande analyser användes dels "teoretiska" emissionsfaktorer från HBEFA, dels framräknade "verkliga" emissionsfaktorer. Detta genomfördes före VH under år 2020 (delrapport 3) samt efter VH under år 2021 (delrapport 3b).

4. *Samlad analys av trafik- och luftkvalitetsdata samt framtagning av effektsamband före VH (avrapporteras i delrapport 4)*

Denna aktivitet syftade till att få fram effektsamband mellan trafikparametrarna, luftkvalitetsdata och meteorologiska data. Trafikflödesprofiler, hastighetsprofiler och fordonssammansättningen

⁹ Trafikverket (2022). Trafikeffekter vid införande av varierande hastigheter på E4/E20. Publ. nr. 2022:189.

relaterades till luftkvalitetsvärden under olika metrologiska förutsättningar. Fordonssammansättningen (via ANPR-utrustning) var viktig för beräkningen av de teoretiska utsläppsnivåerna enligt HBEFA. Den framtagna modellen och effektsamband jämfördes med prognosmodeller i syfte att säkerställa generaliserbarheten till andra situationer.

5. Beräkning av förväntade effekter till följd av hastighetssänkning (avrapporteras i delrapport 5)

I denna aktivitet identifierades förbättringspotentialen som kan uppnås genom olika antaganden om hastighetsefterlevnad till följd av VH-implementering samt om VH styrdes på trafik och/eller luftkvalitet. Effekterna i form av luftkvalitetsparametrar uppskattades utifrån de effektsamband som identifierades och modellerades i föregående aktivitet. Bland annat gjordes analyser för att uppskatta vilka hastighetssänkningar som behöver uppnås för att möta kraven enligt MKN och MKM. Utifrån resultat från utsläppberäkningarna gjordes även beräkningar av förväntade utsläppsminskningar av CO₂ till följd av hastighetsminskningar.

6. Analys av luftkvalitetsdata efter VH (avrapporteras i delrapport 6)

I denna aktivitet analyserades uppmätta PM₁₀, PM_{2.5} och NO₂-värden efter VH-implementering. Luftkvalitetsdata efter VH-implementeringen jämfördes med data från föreperioden.

7. Analys av trafikdata efter VH (avrapporteras i delrapport 7)

Aktiviteten syftade till att analysera uppmätta trafikparametrar för vägsträckan samt jämföra före- och efterperioden. Eventuella förändringar i trafikflöden och fordonssammansättningen säkerställdes, t.ex. nyare fordon med mindre utsläpp och en ökad andel fordon med högre miljöklass. Dubbdäcksanvändningen under vinterhalvåret följdes upp i denna delaktivitet och jämfördes med tidigare mätningar.

8. Samlad analys av trafik och luftkvalitetsdata samt kontroll och omkalibrering av effektsamband (avrapporteras i delrapport 8)

I denna aktivitet jämfördes bland annat de effekter som uppnåddes enligt mätningarna mot beräkningsmodellen och framtagna effektsamband mellan trafik-, luftkvalitets- och meteorologiska data. Syftet var att jämföra uppnådda resultat med vad som förväntades (delmoment 5), vilket i så fall även indikerar robusthet. Resultaten jämfördes med framtagna prognosmodeller.

Påverkan på genomsnittshastighet, antalet fordonspassager samt fordonssammansättningen var viktiga indata till beräkningarna avseende luftkvalitet och klimat. Påverkan av VH60-påslag på utsläpp av kväveoxider (NO_x), koldioxid (CO₂) samt kvävedioxidhalter (NO₂), beräknades med hjälp av emissionsfaktorer enligt HBEFA 4.1. För att utvärdera effekten av VH60-påslag på icke avgas PM₁₀ och PM_{2.5}, samt totalhalter av PM₁₀, användes NORTRIP-modellen (Non-Exhaust Road Traffic Induced Particle Emissions).

Påverkan av VH60-påslag på utsläpp av kväveoxider (NO_x), klimat (CO₂) samt kvävedioxidhalter (NO₂) beräknades med hjälp av emissionsfaktorer

enligt HBEFA 4.1. För att utvärdera effekten av VH60-påslag på icke avgas PM₁₀ och PM_{2.5}, samt totalhalter av PM₁₀, användes NORTrip-modellen (Non-Exhaust Road Traffic Induced Particle Emissions).

9. Analys av övriga trafikala effekter samt samhällsekonomisk analys av införande av varierande hastighetsgränser (avrapporteras i delrapport 9)

I denna aktivitet genomfördes kompletterande analyser för att identifiera vilka andra effekter införandet av VH medförde på trafiken längs försökssträckan. Bl.a. studerades trafiksäkerhetsaspekter, t.ex. hastighetsöverträdelser (percentiler) gentemot skyltad hastighet, avståndshållning (tidslucka via MCS) och förekomsten av upphinnande olyckor. Ökad köbildning, om trafiken blev jämnare (mer harmoniserad), effekter på trafikflöden mm studerades också. En anpassad version av MESS-verktyget användes för de samhällsekonomiska analyserna. MESS har utvecklats i syfte att bedöma förväntade samhällsekonomiska nyttor vid införande av nya trafikledningssystem inklusive funktioner för kövarning och varierande hastighetsgränser. Värden enligt ASEK 7.0, samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn,¹⁰ kompletterat med hälsovärden framtagna i en nyligen publicerad rapport om metoder för att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik¹¹, användes i analyserna.

10. Framtagning av riktlinjer för styrning av trafik efter luftkvalitetsparametrar (avrapporteras i delrapport 10)

Syftet med denna aktivitet var att utifrån resultaten i delmoment 1-9 föreslå hur styrning av VH ska utformas om förbättrad luftkvalitet är ändamålet.

¹⁰ [Gällande förutsättningar och indata - Bransch \(trafikverket.se\)](https://trafikverket.se/Gallande-forutsattningar-och-indata-Bransch)

¹¹ Forsberg B. et al (2021). Bättre metoder att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik. Publ.nr. TRV 2021:253.

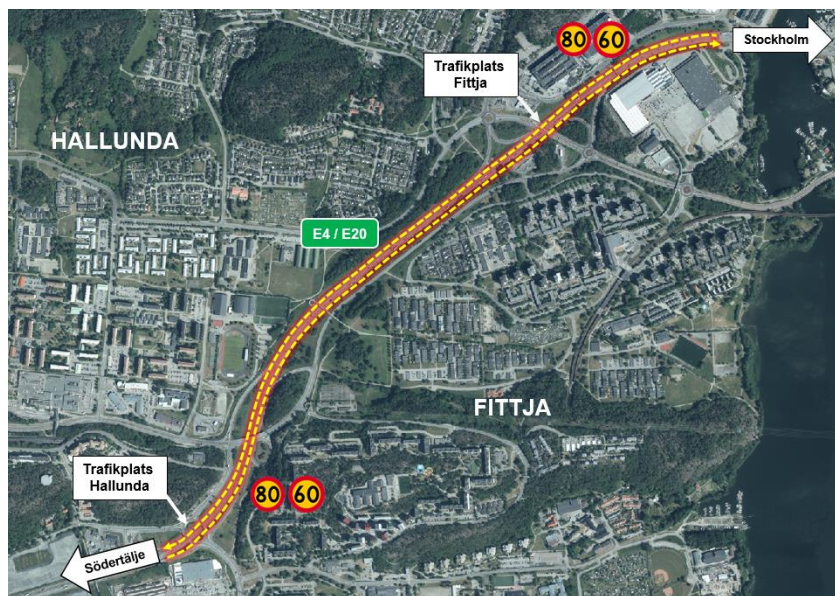
2 Val av vägsträcka

2.1 Vägens utformning och standard

Åtgärden varierande hastighetsgränser (VH) infördes på E4/E20 i Botkyrka kommun. Vägsträckan omfattar trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja och är cirka 2,7 kilometer lång i varje körriktning (se figur 1).

Vägsträckan passar väl i förhållande till projektets huvudsyfte då det längs med sträckan förekommit problem med att uppfylla miljökvalitetsnormer för luftkvalitet. En annan avgörande faktor var att det redan fanns ett trafikledningssystem som möjliggjorde tillämpningen av VH. Behovet av teknisk utrustning för att klara VH hade annars inneburit en relativ stor investeringskostnad. För övrigt var trafikförutsättningarna goda för VH då det inte finns återkommande trängsel och köbildning (något som var problematiskt i försöket på E18 i Danderyd publicerat år 2011¹²).

E4/E20 är en Europaväg som följer gällande internationella bestämmelser och riktlinjer. Mellan Södertälje och Norrtull i centrala Stockholm följer E4 och E20 samma vägsträcka. Som Europavägar utgör E4 och E20 en del av det transeuropeiska transportnätet (TEN-T).



Figur 1. Vägsträckan på E4/E20 mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja där varierande hastighetsgränser införts.

Vägsträckan mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja har trafiksäkerhetsklass ”god” vilket är den näst högsta klassningen. Alla bärighetsklasser BK1-4 är tillåtna och det är tillåtet med transporter av farligt gods.

Vägstandarden på E4/E20 mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja är god. Det finns tre genomgående körfält i varje riktning bortsett från första delsträckan norrgående där det är två körfält fram till första påfarten. Vid av- och påfarterna tillkommer extra körfält. På- och avfartskörfälten är bra utformade

¹² Johansson C. et al (2011). Miljöanpassad hastighet på E18. Trafikverket publikation 2011:042. [Trafikverkets webbutik. Miljöanpassad hastighet på E18 \(ineko.se\).](http://trafikverkets.webbutik.se/Miljoanpassad_hastighet_pa_E18_(ineko.se).)

med långa vävningssträckor och gott om utrymme för magasinering av trafik vid köbildning, vilket även minskar risken för tillbakablockering på huvudleden. Körfälten är cirka 3,5 meter breda och det finns vägrenar för avstannade fordon. Väggeometrin för huvudleden är förhållandevis bra utan stora avvikelser i höjd- eller sidled.

Framkomligheten är idag relativt god och det är sällan bestående köer i huvudriktningarna under rusningstider. För närvarande pågår planering för en ombyggnad av den aktuella vägsträckan mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja på E4/E20. Det finns en beslutad vägplan som innebär att vägen ska breddas med ytterligare ett körfält i varje riktning inför öppnandet av Förbifart Stockholm (E4) och Tvärförbindelse Södertörn (väg 259). Tvärförbindelse Södertörn ansluter till E4/E20 strax norr om trafikplats Fittja. Även Vårbybroarna på E4/E20 kommer att byggas om med ytterligare körfält för att klara den förväntade trafikökningen.

Inom ramen för den pågående vägplanen planeras särskilda lösningar för bl.a. hantering av luftkvalitet, buller och barriäreffekterna som vägen utgör i området. Ombyggnaden beräknas starta år 2026 och avslutas år 2030. Förbifart Stockholm beräknas öppna för trafik år 2030 och Tvärförbindelse Södertörn år 2033 enligt nuvarande planering.

Vägsträckan mellan trafikplatserna Hallunda och Fittja är utrustad med ett trafikledningssystem som möjliggör övervakning och reglering av trafik samt insamling av trafikdata. Systemet kallas ofta MCS vilket är en förkortning för det engelska begreppet *motorway control system*. Trafikledningssystemet har den högsta s.k. *servicenivån*, vilket innebär att problem kan upptäckas och åtgärdas relativt snabbt och effektivt för att upprätthålla god framkomlighet och trafiksäkerhet.

Den mest synbara delen av trafikledningssystemet är att körfältssignaler är monterade i vägportaler över körbanan. Dessa kan visa olika budskap för trafikanterna, oftast rekommenderade hastigheter, kryss eller pil (figur 2). Det finns olika funktioner för att styra och leda trafiken. Vissa fungerar autonomt (dvs. är trafikstyrda) medan andra styrs av trafikledarna på trafikledningscentralen. På den aktuella sträckan finns 21 vägportaler (11 i sydgående och 10 i norrgående riktning), och vid varje vägportal finns sensorer som samlar in trafikdata (flöde och hastighet) från varje körfält. En annan synbar del av systemet är digitala trafikinformationsskyltar (s.k. DRIP:ar) som det finns en av vid vägsidan i varje körriktning mellan trafikplatserna.

Det finns även en del annan utrustning på sträckan som stödjer trafikledarna i uppgiften att styra och leda trafiken. Exempelvis finns utrustning för upptäckt av stillastående fordon (s.k. RIDS), som när de påträffas, vid t.ex. incidenter eller olyckor, skickas larm till trafikledningscentralen. Larm hanteras vidare av trafikledarna exempelvis genom kontakt med räddningstjänst, vägassistans och bärgning.

Mer om vägsträckans utformning och standard beskrivs i delrapport 9.



Figur 2. En vägportal som tillhör trafikledningssystemet. Rekommenderade hastigheter samt pil visas i körfältssignaler..

2.2 Trafik, luftkvalitet, miljö och trafiksäkerhet på sträckan

2.2.1 Trafik och klimatrelaterade utsläpp

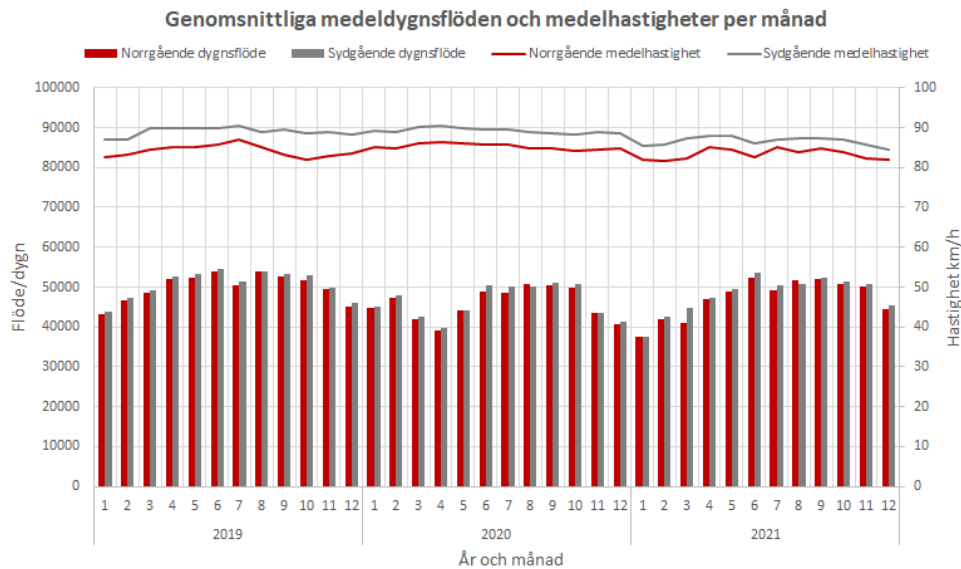
Förutsättningarna innan projektet satte igång var goda med avseende på projektets syfte och mål. E4/E20 mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja hade innan projektet, och har även idag, en hög trafikering särskilt under rusningstider på för- och eftermiddagar. Vägen används i hög utsträckning av långväga, interregionala, regionala och lokala person- och godstransporter. Under rusningstider är efterfrågan för pendlingsresor med bil till och från Stockholm stor och trängsel och köbildning tenderar att uppstå emellanåt.

Under år 2019 var årsdygnstrafiken (ÅDT) i båda körriktningar nästan exakt 100 000 fordon/dygn, vilket innebär ett genomsnittligt CO₂-utsläpp på 49 000 kg per dag eller ca 18 000 ton CO₂ per år.¹³

Trafikmängderna under pendlingsstider har varit dimensionerande för vägens utformning. Figur 3 nedan visar genomsnittliga dygnsflöden för olika månader i norr- och sydlig riktning mellan januari år 2019 och december år 2021.

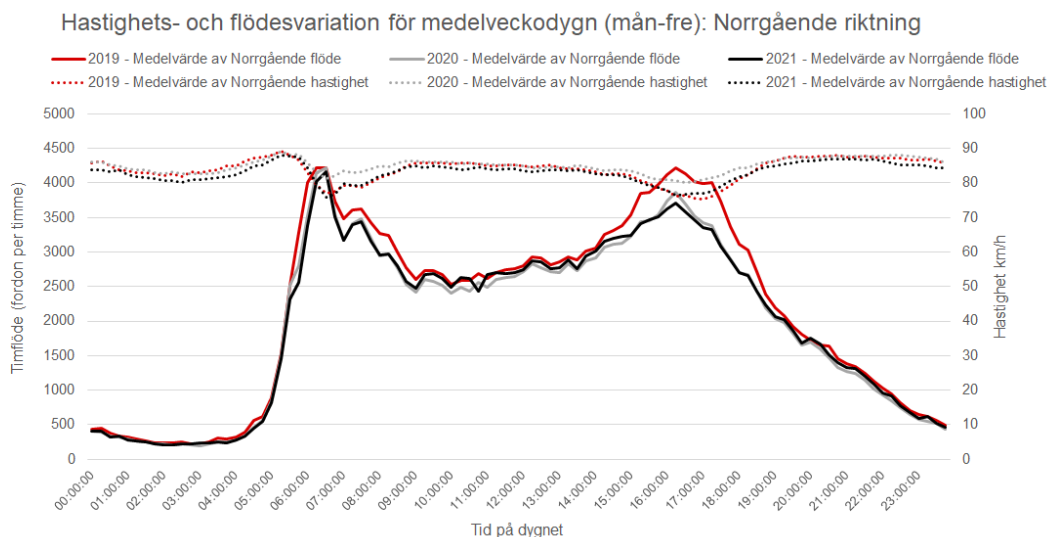
Årsdygnstrafiken år 2019 på nästan exakt 100 000 fordon/dygn, minskade till 92 000 fordon/dygn i 2020 till följd av covid-19 pandemin. Siffran steg under år 2021 till 96 000 fordon/dygn.

¹³ Utifrån en genomsnittlig nationell lastbilsandel på 6 procent, är den genomsnittliga emissionsfaktorn 0,18 kg per km. [Handbok för vägtrafikens luftföroreningar - Bransch \(trafikverket.se\)](https://trafikverket.se).

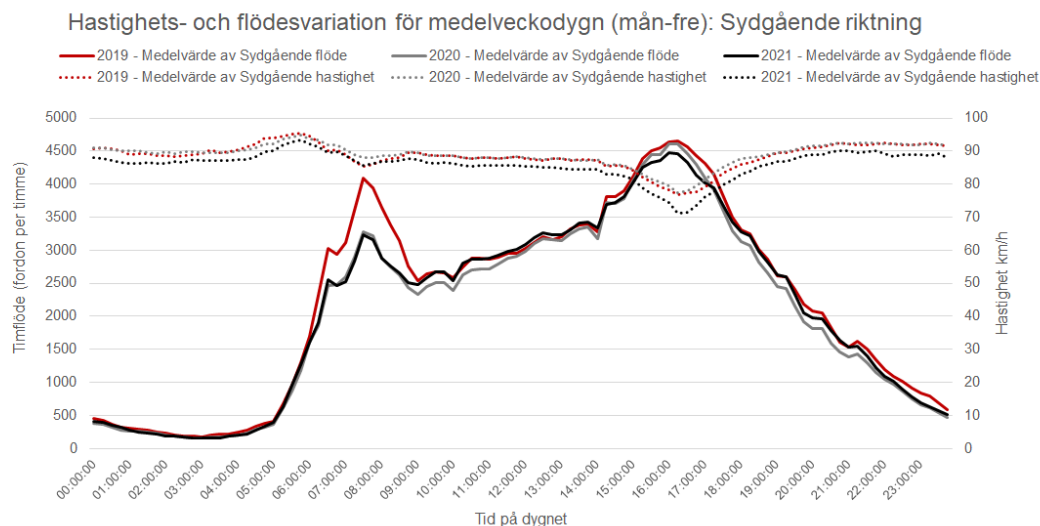


Figur 3. Månadsvisa medeldygnsfloden i varje riktning under de tre senaste åren samt genomsnittshastigheten för den genomgående trafiken (Källa: data från trafikledningssystemet).

Medelhastigheten på utvald sträcka sjunker när timflödet är som högst under rusningsperioder på för- och eftermiddagen under veckodagar (måndag till fredag). Det är främst rusningsperioden på förmiddagen i norrgående riktning och eftermiddagen i sydgående riktning som leder till en hastighetsnedsättning till följd av trängsel (se bilder 4 och 5).

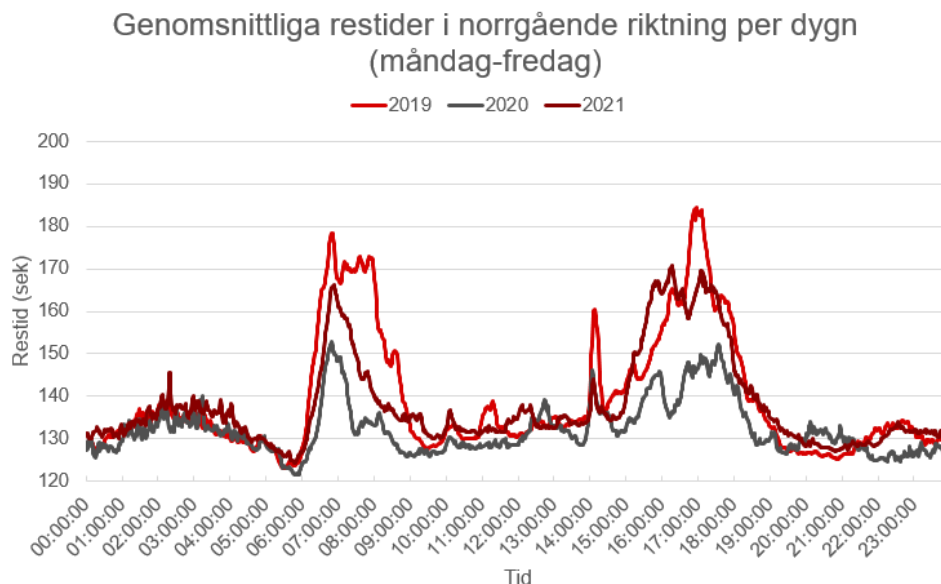


Figur 4. Hastighets- och flödesvariationer för medelveckodygn måndag till fredag för den norrgående körriktningen mellan åren 2019 och 2021. (Källa: data från trafikledningssystemet).

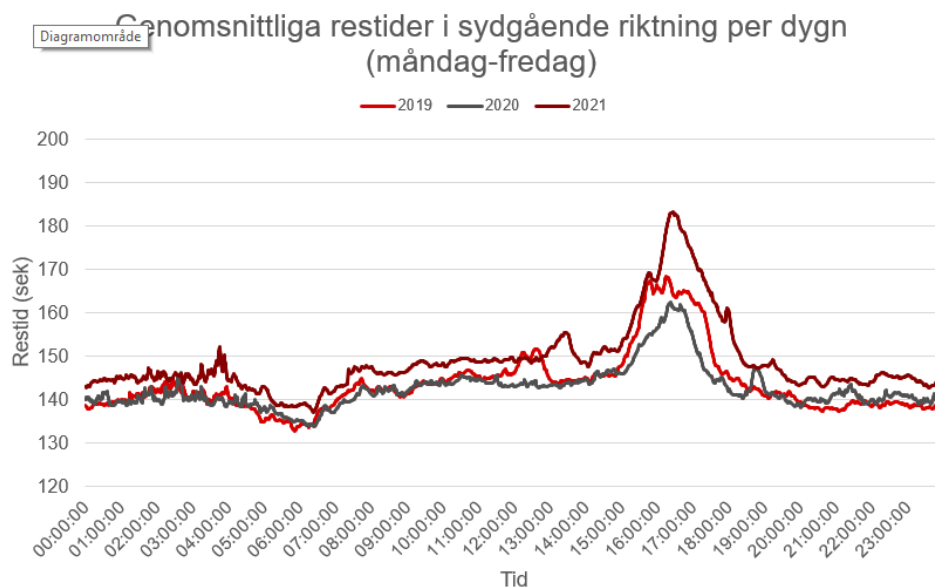


Figur 5. Hastighets- och flödesvariationer för medelveckodygn måndag till fredag för den sydgående körriktningen mellan åren 2019 och 2021. (Källa: data från trafikledningssystemet).

Restider för ett genomsnittligt veckodagsdygn (måndag till fredag) för åren 2019 till 2021 redovisas i figur 6 och 7. Pandemins påverkan på trafik framgår tydligt om restider för år 2019 jämförs med 2020 och 2021. Det ska även noteras att trängselskatter ändrades i januari 2020 (bl.a. med tidigare läggning av avgifter på förmiddag). Ändringen i trängselskatter har dock inte haft någon tydlig effekt. En annan effekt som syns tydligt i figur 2.14 är broöppningen på E4/E20 i Södertälje som skapar en trängseltopp vid ökade restider cirka kl. 14:30. Denna effekt minskade markant under år 2020 och 2021.



Figur 6. Genomsnittliga restider i norrgående riktning per genomsnittligt veckodagsdygn för åren 2019 till 2021. (Källa: STRESS).



Figur 7. Genomsnittliga restider i sydgående riktning per genomsnittligt veckodagsdygn för åren 2019 till 2021. (Källa: STRESS).

De genomsnittliga restiderna i norrgående riktning under år 2021 är något högre än för år 2020, men uppnår inte samma höga nivåer som år 2019. Eftermiddagen visar dock en mer utspridd topp för år 2021. I sydgående riktning är restiderna generellt högre år 2021 jämfört med år 2019 och 2020. Den generella ökningen med cirka 5 sekunder även utanför högtrafiktider i sydgående riktning saknar en bra förklaring, utan kan eventuellt bero på en systematisk ändring i hanteringen av restider, t.ex. att restidssegmenten har gjorts om.

Mätutrustning som läser av fordonsskyltar finns på vägportaler mitt på den aktuella sträckan mellan trafikplatserna (Hallunda och Fittja). De avlästa skyltarna kan sedan användas för att hämta ett urval av fordondata från Transportstyrelsens fordonregister. Detta har gjort det möjligt att få uppgifter om vilka typer av fordon som trafikerar vägsträckan, vilket bränsle dessa fordon använder och hur miljöklassningen ser ut. Enligt dessa data från år 2021 fanns 81 % personbilar, 13 % lätta lastbilar, 5 % tunga lastbilar och 1 % övrigt (t.ex. motorcyklar och buss).

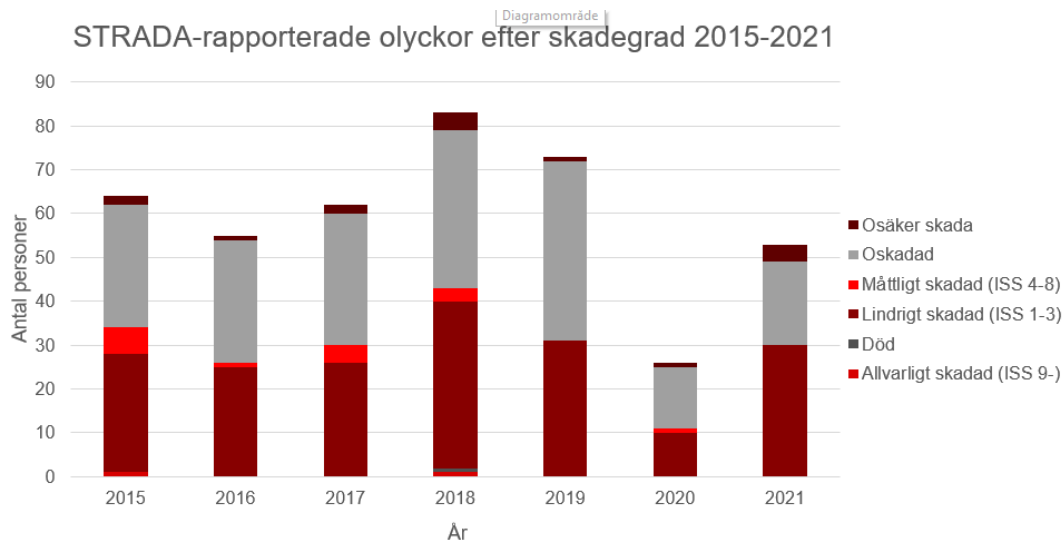
Dubbdäcksandelarna på lätta fordon mättes både före (delrapport 2) och efter (delrapport 7) införande av VH. Räkningarna visade på en viss nedåtgående trend med i snitt 45 procent dubbdäcksanvändning före VH och i snitt 42 procent efter införandet av VH.

2.2.2 Luftkvalitet

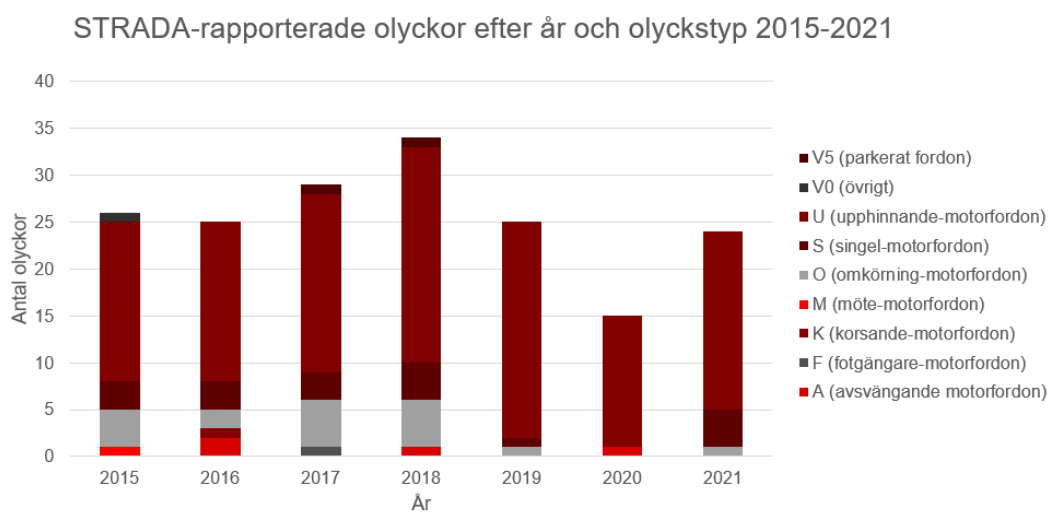
Den senaste kartläggningen av luftföroreningshalterna i Stockholms län gjordes för år 2020 (SLB-rapport 44:2020). Den visade att halterna av såväl partiklar PM₁₀ och kvävedioxider, NO₂, är över den övre utvärderingströskeln (ÖUT) för dygnmedelvärden intill E4/E20 vid Hallunda. Kartläggningen visar också att det under vissa år med ofördelaktigt väder, finns risk för att miljökvalitetsnormen kan överskridas intill sträckan.

2.2.3 Trafiksäkerhet

Antalet rapporterade olyckor har i snitt sjunkit på sträckan mellan åren 2015 – 2019.¹⁴ Olyckorna har under åren, förutom de som inte orsakade skador, eller där skadegraden var osäker, varit uteslutande olyckor med lindriga skador. Sett till olyckstyp har större delen varit upphinnande olyckor (se figur 8 och 9).



Figur 8. Rapporterade olyckor efter skadegrad mellan åren 2015 till 2021. (Källa: STRADA).



Figur 9. Rapporterade olyckor efter olyckstyp mellan åren 2015 till 2021. (Källa: STRADA).

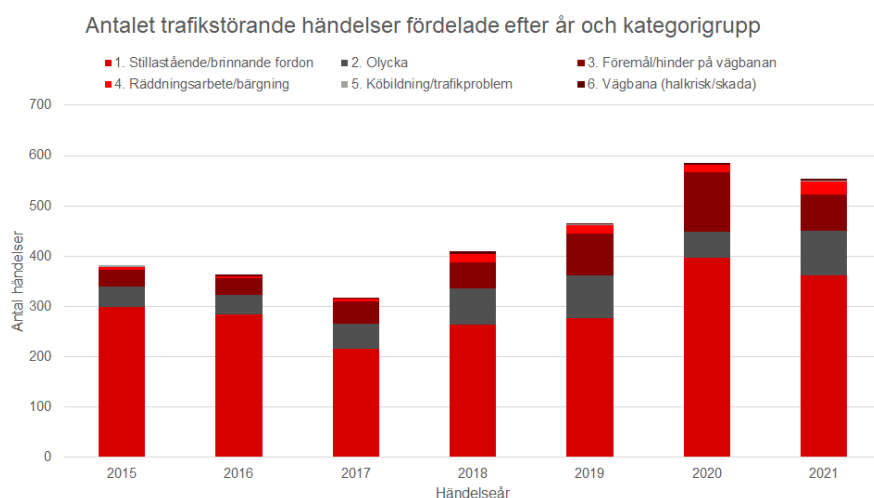
Mer om införandet av trafiksäkerhetsstatistik på den aktuella sträckan återges i delrapport 9.

¹⁴ STRADA-databasen hos Transportstyrelsen.

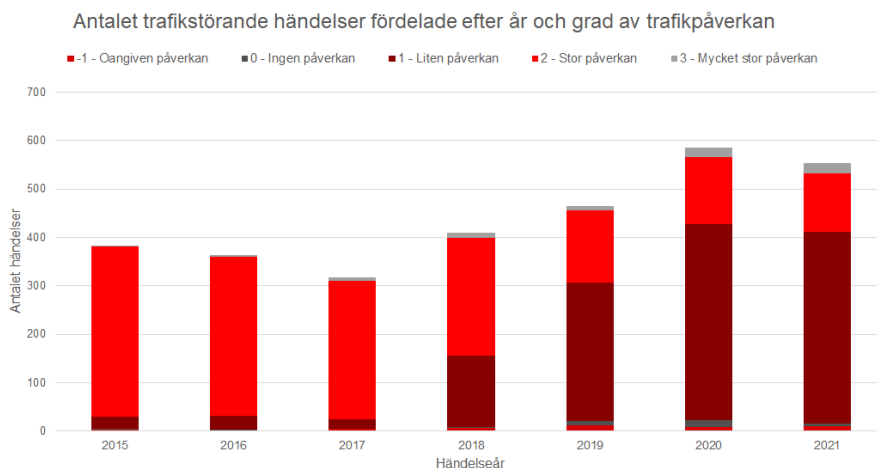
2.2.4 Trafikstörande händelser

Trafikstörande händelser rapporteras av trafikledningscentralen, Trafik Stockholm. Händelserna är förhållandevis detaljerade med bl.a. tid, plats, körriktning och orsak enligt olika fördefinierade kategorier. Graden av trafikpåverkan bedöms i en fem-gradig skala.

Under perioden 1 januari 2015 till 31 december 2021 noterades 3 071 olika händelser jämnt fördelade mellan körriktningarna. Antalet händelser har ökat successivt sedan år 2017, men minskat något under år 2021 jämfört med år 2020. Den uppåtgående trenden beror främst, enligt Trafik Stockholm, av en förbättrad rapporteringsprocess snarare än flera händelser. Figur 10 visar en fördelning av olika händelsetyper i sex kategorigrupper och Figur 11 visar graden av trafikpåverkan vid varje rapporterad händelse.



Figur 10. Antalet inrapporterade trafikstörande händelser fördelade efter år och kategorigrupp. (Källa: data från Trafik Stockholm).



Figur 11. Antalet inrapporterade trafikstörande händelser fördelade efter år och grad av trafikpåverkan. (Källa: data från Trafik Stockholm).

Mer om införandet av trafikstörande händelser på den aktuella sträckan återges i delrapport 9.

3 VH-funktionen

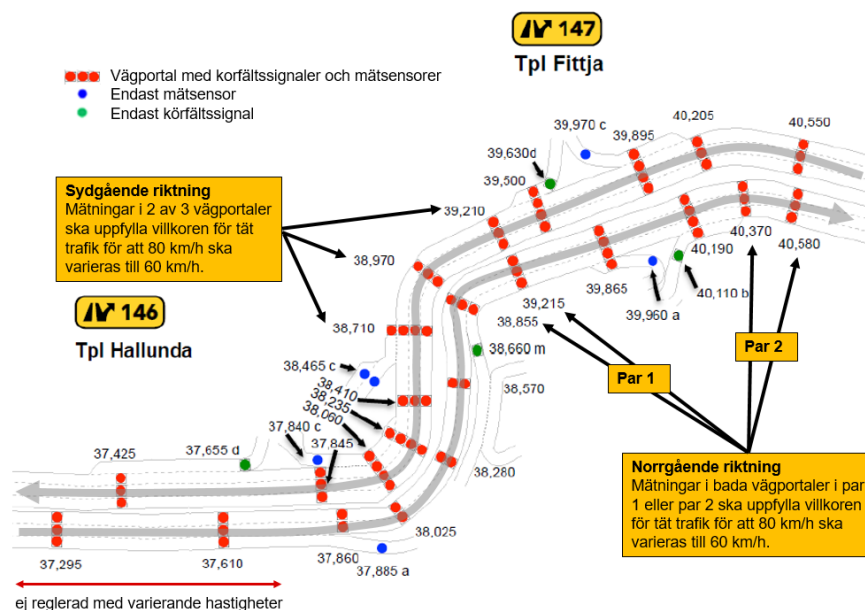
3.1 Styrning efter trafiktäthet

I ett tidigt skede i projektplaneringen fanns det önskemål om att styra varierande hastighetsgränserna utifrån luftkvalitetskriterier. Vid en närmare undersökning visade det sig att en sådan styrning skulle ställa krav på realtidsmätning, inrapportering och förvaltning av luftkvalitetsdata. Idag finns det inget i Trafikförordningen (1998:1276, kapitel 10) som motsäger en reglering av hastighetsgränser motiverad av miljöskäl. I praktiken krävs dock en förankringsprocess gentemot andra berörda, som stöds av testverksamhet, utvärdering och datahantering för att etablera och få acceptans för styrningsformen.

Av ovanstående skäl beslutades det istället att styra efter trafiktätheten, d.v.s. ett högt trafikflöde med hög densitet. Styrning efter tät trafik var inte helt optimalt med tanke på projektets huvudsyfte, men i och med tidigare forskning som har visat att luftföroreningshalter samvarierar med trafikens hastighet, flöde och fordonssammansättning, ansågs trafiktätheten utgöra ett godtagbart proximalmått.

Den gällande hastighetsgränsen för vägsträckan var 80 km/h innan VH infördes. Då det inte var möjligt att höja denna gräns, var det naturligt att variera 80 km/h till 60 km/h när villkoren för tät trafik uppfylldes. Definitionen av vad som ansågs vara "tät trafik" var en svår avvägning. Analysdata visade att ett flöde över 1 800 fordon per timme i körfälten sällan uppnåddes, vilket användas som underlag för ett beslut om det maximala flödet i varje körfält. Gränsvärdet för "tät trafik" valdes till slut till 1 440 fordon per timme och körfält, vilket motsvarade cirka 80 procent av det maximala trafikflödet och en uppskattad densitet på 18 fordon per kilometer och körfält.

Detta gränsvärde beräknades som ett genomsnitt beräknat över alla körfält. Valet av gränsvärdet för när hastigheten ska variera är mycket känsligt. Om gränsvärdet istället hade motsvarat 85 procent av det maximala flödet, hade påslagstiden i sin helhet minskat med 30-50 procent beroende på körriktning. Då syftet var att förbättra luftkvaliteten ansågs det acceptabelt med ett något lägre gränsvärde. De mätsnitt som valdes för styrning av VH framgår i figur 12.



Figur 12. Mätsnitt (vägportaler) som används för styrning av varierande hastigheter.

3.2 Framställan för godkännande av VH

För att erhålla en föreskrift om ändrade hastighetsgränser på statliga vägar i Stockholm måste en framställan förberedas av Trafikverket och skickas till Stockholms läns länsstyrelse för godkännande. Framställan är ett formellt dokument som i detalj beskriver syftet med varierande hastighetsgränser samt vilken vägsträcka (inklusive eventuella av- och påfarter) som avses. Den beskriver även villkoren som måste uppfyllas för att variera hastighetsgränsen från en hastighet till en annan. Framställan granskas av länsstyrelsens jurister, som vid godkännande resulterar i en trafikföreskrift i föreskriftsdatabasen. Det är viktigt att beskrivningen av styrvillkoren är tillräckligt transparent, som enkelt uppfattas av personer utan särskilda kunskaper om trafiktekniska lösningar. I framställan anges även ett förslag till datum för föreskriftens ikraftträdelse.

Föreskriften ska kunna hålla i juridiska sammanhang (t.ex. vid överklagande av ett fortkörningsstraff), och bevis ska kunna tas fram som motiverar den hastighetsgräns som gällde vid ett aktuellt datum och klockslag. Det innebär att trafikdata och aktuella besked (det som visas i körfältssignaler) måste sparas och förvaltas i en databas.

Framställan skickades till Länsstyrelsen den 12 november år 2020 med förslag om ikraftträdelse den 1 februari år 2021. Beslut om godkännande av en ny föreskrift fattades den 29 januari år 2021, med ikraftträdelse tidigast den 15 februari år 2021. Ikraftträdelsedatumet flyttades fram i tiden till den 8 mars år 2021 för att hinna med de sista testerna av den tekniska plattformen samt för att informera berörda, som Botkyrka kommun, polismyndigheten.

3.3 Kommunikation om VH

Vid införande av varierande hastighetsgränser är det viktigt och nödvändigt att underrätta berörda kommuner, polismyndigheten, trafikanter, trafikledare och

andra berörda. När VH skulle införas på valt studieområde, förbereddes särskilda kommunikationsinsatser med hjälp av Trafikverkets kommunikatörer. Då ikraftträdelsedatumet var det samma för försöket med VH i Södertälje, samordnades kommunikationen för dessa två projekt.

Särskilda insatser utfördes framförallt gentemot polismyndigheten i Stockholm och kommunerna. Ett särskilt material togs fram och information skickades ut om driftavbrott och återstart vid ett flertal tillfällen.

För att informera trafikanterna publicerades material på Trafikverkets webbsida, samt på trafik.nu, som används av trafikledningscentralerna inklusive Trafik Stockholm. Dessa webbsidor har följts upp och uppdaterats vid flera tillfällen.

3.4 Andra hastighetspåverkande besked

Trafikledningssystemet som finns på utvalt studieområde ger även möjlighet till andra funktioner och besked som direkt eller indirekt påverkar trafikhastigheten. Dessa är viktiga att hålla reda på för att skilja ut den påverkan som användningen av VH faktiskt haft. Bland andra hastighetspåverkande besked finns rekommenderade hastigheter (utan omgivande röd ring) som uppkommer från kövarningsfunktionen. Kryss och pil i körfältssignaler ställs upp av trafikledarna vid händelser som påverkar framkomlighet eller trafiksäkerhet (t.ex. olyckor, tappad last, eller stillastående fordon vid vägsidan) på sträckan.

Hastighetspåverkande besked kan uppkomma under ett pågående VH60-påslag, och kan då köra över ett VH60-besked i en eller flera körfältssignaler (om beskedet är kryss, pil eller en lägre hastighet än 60 km/h). Vid analys av data är det sen nödvändigt att kunna särskilja effekter som uppstår till följd av den reducerade hastighetsgränsen 60 km/h (dvs. användning av varierande hastighetsgränser) från effekter som uppstår till följd av andra hastighetspåverkande besked.

3.5 Budskap för bättre efterlevnad

I projektet planerades försök med olika digitala budskap längs med vägsträckan i avsikt att utreda om ett lämpligt formulerat budskap kopplat till luftkvalitet och miljö kunde förstärka effekten av VH och framkalla bättre hastighetsefterlevnad. Digitala informationstavlor finns uppsatta på vägsidan i båda körriktningar mellan trafikplatserna.

I diskussioner med systemansvariga och Trafik Stockholm framkom det däremot att de tilltänkta alternativa budskapen inte var i linje med hur de digitala informationstavlorna var avsedda att användas. De budskap som läggs ut på digitala skyltar är idag fördefinierade och det finns regler som bestämmer hur budskap ska formuleras och vilken prioritering ett budskap ska ha gentemot ett annat. Prioriteringen innebär att ett lägre prioriterat budskap alltid kommer att ersättas av budskap med högre prioritet. I det befintliga systemet är kriterierna för prioritering relaterade till aktuella händelser, trafiksäkerhet och framkomlighet, och budskap om hastighetshållning relaterade till luftkvalitet och miljö, om de hade tillåtits, hade fått en låg prioritet.

Ett annat problem som identifierades var synkroniseringen av det tilltänkta budskapet i tid med visning av den reducerade hastighetsgränsen 60 km/h. Det framkom även att det finns tekniska begränsningar i det budskapssystem som idag råder, som gör det svårt att ändra befintliga budskap och lägga till nya. En uppgradering av detta system har planerats under en längre tid men har ännu inte prioriterats.

På grund av de begränsade möjligheterna med digital information, fattades beslut om att istället ställa upp plåttavlor vid vägsidan för att informera trafikanterna om varför VH införts på vägsträckan. En förhoppning var att dessa skulle bidra till acceptans och förståelse för funktionen och på så sätt leda till en bättre hastighetsefterlevnad. Plåttavlorna ställdes ut strax innan VH infördes och placerades i början på de VH-reglerade sträckorna, dvs. en i varje riktning.

4 VH: funktionsprestanda

4.1 Tekniska problem

Det blev nödvändigt att anpassa ett antal olika tekniska system för att kunna införa VH. Det nya trafikdatainsamlingssystemet (TDIS) var en förutsättning för att kunna styra VH autonomt utifrån trafikdata och trafiktillstånd. TDIS ansvarar för algoritmberäkningar utifrån trafikdata och begär på- och avslag av den reducerade hastighetsgränsen från NTS. NTS tar emot dessa besked från TDIS och kommunicerar med utrustning i vägmiljön för att tända och släcka aktuella budskap i körfältssignaler.

Sedan VH infördes har det varit många tekniska problem. Ett av de allra första problemen som uppstod handlade om s.k. *larmskurar*. Detta innebar att besked från TDIS om på- och avslag ”försvann” i den stora mängden data som NTS tog emot. Framförallt, blev det svårt att hitta avslagsbeskeden vilket resulterade i att den lägre hastighetsgränsen visades under lång tid, innan funktionen kunde återställas manuellt av systemtekniker. Detta problem påverkade allra främst VH-funktionen i Södertälje. Problemet blev så allvarligt att funktionen i Södertälje fick avbrytas under några veckor i väntan på en omprogrammering av NTS. Detta då trafikföreskriften inte kunde följas.

Ett annat problem inträffade när NTS och TDIS tappade kontakt med varandra. I det inledande skedet togs loggdata emot från TDIS om på- och avslag och enligt dessa såg systemet ut att fungera felfritt. Först senare upptäcktes att påslag inte verkställdes hela vägen ut till körfältssignalerna. Detta fel uppstod i månadsskiftet juli-augusti (semestertider) och uppmärksammades först i september. Ett ytterligare problem var att tidigare funktionsändringar i NTS inte hängde med i efterföljande uppdateringar. Detta gjorde att VH inte fungerade under en kortare tidsperiod.

Borttappade vägportaler har också varit ett problem under år 2021. Det har inneburit att mätdata har tappats, men även att budskap i körfältssignaler inte gått ut. För varierande hastighetsgränser gäller dock senaste passerat skylt men hastighetsgräns vilket gör att uteblivna digitala besked i en vägportal har liten effekt.

Då algoritmberäkningarna i TDIS har fungerat utan problem har det varit möjligt att jämföra alla loggade påslag av den reducerade hastighetsgränsen 60 km/h med motsvarande data från NTS där aktualiserade besked som gått ut till körfältssignalerna loggas.

4.2 Påslagsfrekvenser och tider för VH

Tabellerna 1 och 2 sammanfattar utfallet av genomförda och icke genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h (VH60), indelade efter månad och veckodag.

Tabell 1. Påslagstider och frekvenser för varierande hastighetsgränsen 60 km/h i norrgående riktning uppdelade per månad. (Kalla: loggdata från TDIS och NTS).

Månad	Genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h			Alla föreslagna påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h		
	Tid (tt:mm:ss)	Antal påslag	Antal dagar med påslag	Tid (tt:mm:ss)	Antal påslag	Antal dagar med påslag
Mars	9:20:21	18	14	9:20:16	18	14
April	9:23:20	14	11	11:22:42	17	14
Maj	25:24:15	20	12	41:39:59	44	26
Juni	25:07:38	41	20	31:17:58	48	23
Juli	18:07:43	22	14	18:12:39	22	14
Augusti	00:00:00	0	0	52:26:51	50	28
September	17:49:18	15	7	60:21:15	64	30
Oktober	59:19:17	55	26	62:50:53	57	27
November	26:56:45	25	15	60:15:43	57	30
December	11:53:30	25	21	12:30:12	25	21
Total	203:22:07	235	140	360:18:28	402	227

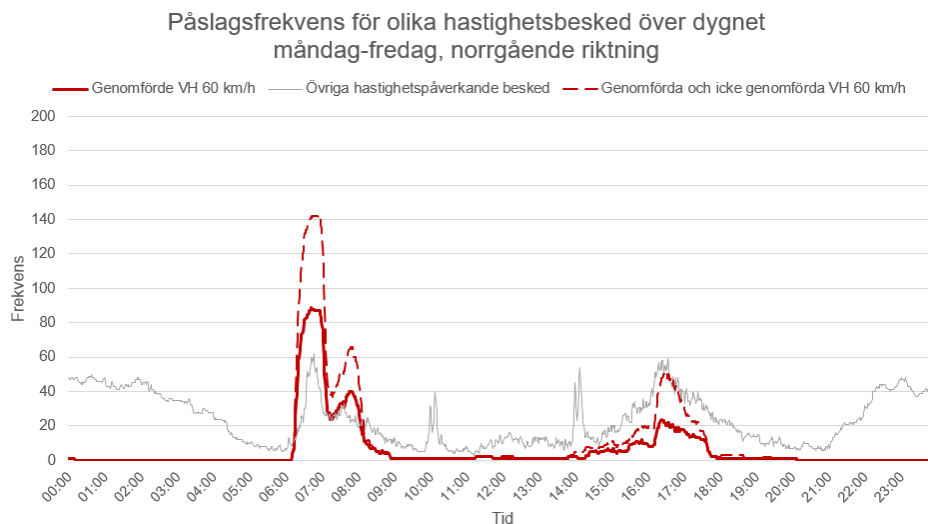
Tabell 2. Påslagstider och frekvenser för varierande hastighetsgränsen 60 km/h i sydgående riktning indelade per månad. (Kalla: loggdata från TDIS och NTS).

Månad	Genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h			Genomförda och icke genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h		
	Tid (tt:mm:ss)	Antal påslag	Antal dagar med påslag	Tid (tt:mm:ss)	Antal påslag	Antal dagar med påslag
Mars	24:09:58	27	15	24:08:46	26	15
April	20:38:16	14	8	36:13:09	22	12
Maj	13:41:31	11	6	63:11:04	36	23
Juni	70:46:39	46	21	74:02:02	49	23
Juli	41:05:59	51	26	45:27:16	54	26
Augusti	00:00:00	0	0	53:00:57	37	23
September	16:10:57	11	6	65:02:12	40	23
Oktober	65:55:49	33	20	63:33:57	39	23
November	29:33:21	17	11	59:52:05	40	23
December	52:11:41	30	20	52:11:23	30	20
Total	334:14:11	240	133	536:42:52	373	211

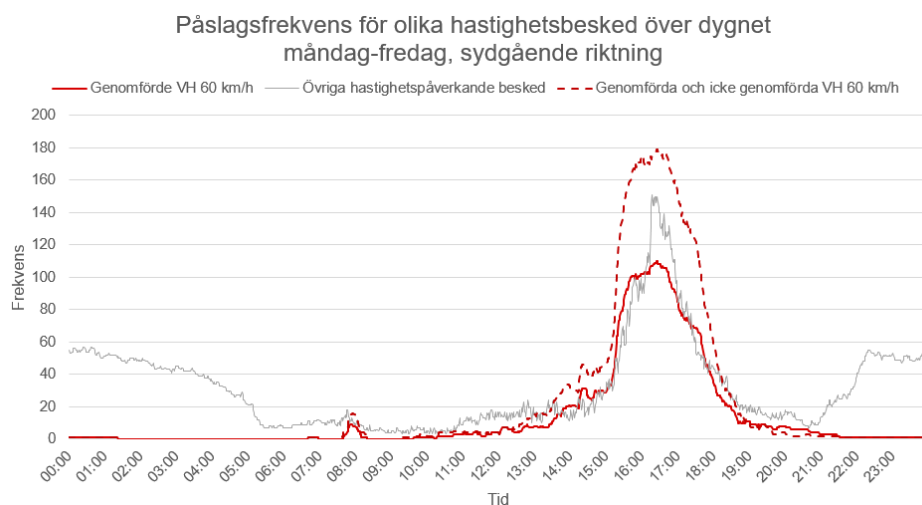
I norrgående respektive sydgående körriktning har 235 respektive 240 påslag av VH60 genomförts. Dessa har inträffat på 139 respektive 133 av de 298 dagarna mellan 8 mars och 31 december år 2021. VH60 har visats under drygt 203 timmar i norrgående respektive 334 timmar i sydgående riktning, och medelvärde för påslagstiden var cirka 52 minuter i norrgående respektive 1 timme och 23 minuter i sydgående (1 timme och 27 minuter respektive 2 timme och 31 minuter per dag för dagar med påslag).

Variansen i påslagen var relativt stor med en standardavvikelse på cirka 55 minuter i norrgående riktning och 1 timme och 39 minuter i sydgående riktning. Påslagstiden i sin helhet motsvarar cirka 2,8 i norrgående respektive 4,7 procent i sydgående riktning. Om funktionen hade fungerat felfritt och tiden för genomförda och icke genomförda påslag summerades, dubbleras nästan påslagstiden till cirka 5,0 i norrgående respektive 7,5 procent i sydgående riktning av den totala tiden mellan 8 mars till den 31 december år 2021. Påslagstiden i sydgående riktning var större än motsatt riktning trots ett jämförbart antal påslag. Detta beror på att det är en mer utspridd högtrafikperiod i sydgående riktning som uppstår på veckodagseftermiddagar.

Figur 13 och 14 nedan visar påslagsfrekvensen i antalet minuter fördelade över dygnet för veckodagar (måndag-fredag) för nord- och sydgående riktning. Trendlinjer visas för genomförda påslag, samt en summering av genomförda och icke genomförda påslag. I figurerna visas även en trendlinje för frekvensen av andra hastighetspåverkande besked.



Figur 13. Påslagsfrekvenser i norrgående riktning måndag till fredag för genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h, summerade genomförda och uteblivna påslag, samt övriga hastighetspåverkande besked. (Kalla: loggdata från TDIS och NTS).



Figur 14. Påslagsfrekvenser i sydgående riktning måndag till fredag för genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h, summerade genomförda och uteblivna påslag, samt övriga hastighetspåverkande besked. (Kalla: loggdata från TDIS och NTS).

Mer om införandet av VH, logiken i styrfunktionen och antalet VH60-påslag återges i delrapport 9.

5 Trafikpåverkan

5.1 Analyser avseende hastighet och flöde

Den ursprungliga analysstrategin vid uppstart av projektet hösten år 2019, gick ut på en sedvanlig jämförelse av perioden före VH och perioden efter. Data från år 2020 (föreperioden) skulle därmed jämföras med data från år 2021 (efterperioden). I mars år 2020 uppstod däremot covid-19 pandemin, som hade stor effekt på trafiken och skapade olika förutsättningar. Möjligheter att hålla isär före- från efterperioden försvårades dessutom av ett fördröjt införande av VH. Driftsättningen skedde först den 8 mars år 2021. Tekniska problem visade sig också uppkomma med VH-funktionen, som gjorde att många påslag inte genomfördes.

Utifrån dessa förutsättningar togs det fram en annan strategi för att ta reda på vilken påverkan VH60-påslag hade haft på trafiken. Strategin gick ut på att jämföra data för perioder under det att VH60-påslag hade genomförts med data för perioder då VH60-påslag borde, men inte kunde genomföras. Resultat presenterade i nästa delavsnitt, visar att uteblivna påslag var tillräckligt många för att möjliggöra en sådan analys. Dessutom visade det sig att icke genomförda VH60-påslag inträffade på samma tider på dygnet som de genomförda. Genomförda och uteblivna påslag beräknades även av samma system (TDIS), och motsvarar alla de tider där det varit täta trafikförhållanden.

En jämförelse mellan år 2020 och 2021 hade under gällande förutsättningar varit mer osäker och inneburit svåra och komplexa analyser. Att jämföra genomförda påslag med uteblivna innebär att en större del av variabiliteten är orsakat av omvärldseffekter som då är lättare att kontrollera och få med i analyserna.

5.2 Andra hastighetspåverkande besked

Eftersom det idag finns relativt få implementeringar av varierande hastighetsgränser är samspelet mellan dessa system relativt outforskat. Den aktuella sträckan på E4/E20 mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja utgör ett tydligt exempel på en icke optimal samspel mellan dessa trafikstyrningsfunktioner. Kövarning kan visa rekommenderade hastigheter om 70, 50 och 30 km/h, medan de varierande hastighetsgränserna visas i jämna tal (60 och 40 km/h). I trafikledningssystemet finns en prioriteringsregel som gör att det alltid är det lägsta hastighetsbudskapet som visas i körfältssignalerna. Då funktionerna tekniskt fungerar oberoende av varandra och på olika sätt i tid och rum, kan exempelvis 60 km/h med röd ring slås bort av rekommenderad hastighet 50 km/h eller 30 km/h. Detta kan ske i vissa, flertalet eller alla portaler beroende på trafiksituation. Blandningen av olika hastighetsbesked kan upplevas som otydligt, även förvirrande, hos trafikanter.

För den aktuella sträckan undersöktes möjligheten att ändra hastighetsbeskeden till jämna tal i kövarningsfunktionen för att åstadkomma bättre samspel mellan funktionerna. Denna ändring bedömdes dock inte genomförbar av systemtekniska och kostnadsmässiga skäl.

Det finns även andra besked som trafikledarna kan använda sig av för att reglera användningen av olika körfält. Främst handlar det om rött kryss och en gul höger- eller vänsterpil. Kryss kan ställas i körfältssignalerna för att stänga av ett körfält, medan pilar används för att hänvisa trafiken till ett annat körfält när behovet uppstår (oftast i samband med rött kryss längre nedströms). Dessa besked används i samband med olika typer av trafikhändelser t.ex. olyckor, avstannade fordon eller tappad last. Annan utrustning på vägsträckan detekterar händelser och larmar trafikledarna så att lämpliga åtgärder som visning av kryss och pil kan vidtas. Kryss och pil kan dessutom användas för att ställa upp s.k. räddningskorridorer för räddningstjänsten och vägassistans så att de lättare kan komma fram till händelseplatsen.

Kryss och pil kan förekomma samtidigt som varierande hastighetsgränser, precis som rekommenderade hastigheter. När dessa används är de oftast någon form av trafikstörande händelser som har en påverkan på hastighet och flöde.

Eftersom rekommenderade hastigheter, kryss och pil kan förekomma samtidigt som påslag av en reducerad varierande hastighetsgräns finns det stor risk att uppmätt hastighet (även flöde) under vissa tider är beroende av flera trafikstyrningsbesked. För att undersöka den effekt en reducerad varierande hastighetsgräns har isolerat från andra hastighetspåverkande besked, är det nödvändigt att identifiera vad som faktiskt har visats under påslagsperioder. För att göra detta har det varit nödvändigt att erhålla loggdata från det nationella trafikledningssystemet (NTS) och trafikdatainsamlingssystemet (TDIS) för alla vägportaler och körfältssignaler längs den aktuella sträckan.

5.3 Påverkan på medelhastighet

Ett av de viktigaste resultaten var att genomsnittshastigheten minskade när VH60 visades jämfört med motsvarande perioder med tät trafik där VH60 borde, men inte kunde visas på grund av tekniska problem. Skillnaden i genomsnittshastigheten var lägre än förväntat och uppgick till 6,0 km/h i norrgående och 5,5 km/h i sydgående riktning i genomsnitt över alla vägportaler (dvs. mätsnitt) och körfält på den 2,7 km långa sträckan, se tabell 3 och 4 nedan. Resultaten visar att nettoeffekten på genomsnittshastigheten var något större i körfält 1 (vänsterkörfältet i körriktningen), där det oftast är högre hastigheter.

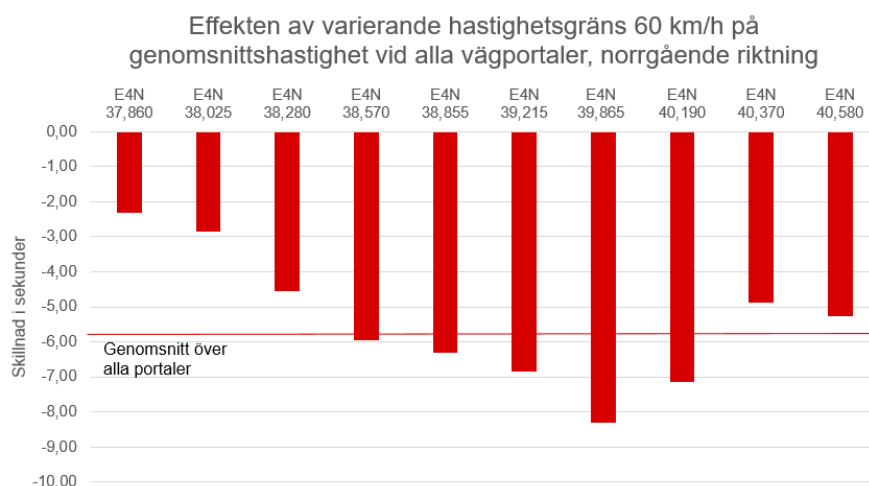
Tabell 3. Förändringen av genomsnittshastighet under genomförda och icke genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h som genomsnitt över alla vägportaler i norrgående riktning. (Källa: data från trafikledningssystemet samt logg-data från NTS och TDIS).

Vägportal: Alla norrgående	Genomsnitt körfält 1-3	Körfält 1	Körfält 2	Körfält 3	Körfält 4
Genomsnittshastighet 1 jan 2021 - 31 dec 2021	82,02	90,77	80,24	72,81	61,58
Genomsnittshastighet vid påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h (annan hastighetspåverkande besked ej medräknat)	75,39	82,67	71,77	66,12	59,55
Genomsnittshastighet vid icke genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h (annan hastighetspåverkande besked ej medräknat)	80,84	88,56	77,05	71,37	61,79
Nettoeffekt på genomsnittshastighet vid påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h	-5,45	-5,88	-5,28	-5,25	-2,23

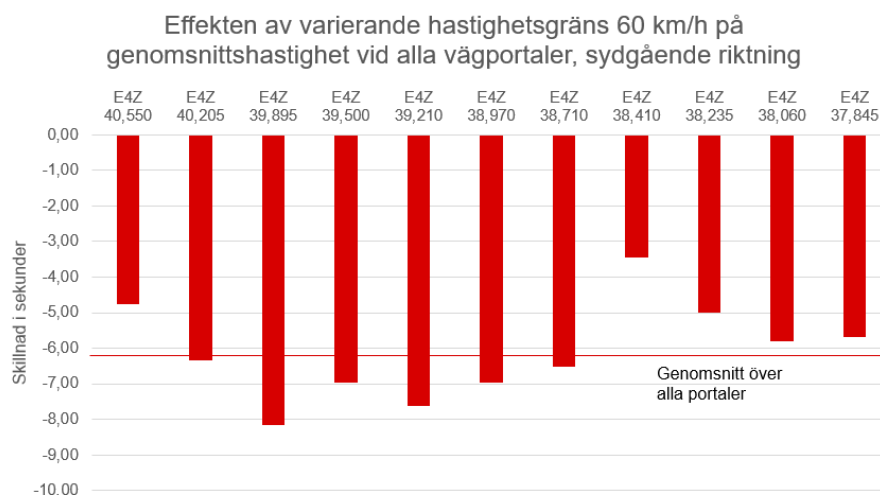
Tabell 4. Förändringen av genomsnittshastighet under genomförda och icke genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h som genomsnitt över alla vägportaler i sydgående riktning. (Källa: data från trafikledningssystemet samt logg-data från NTS och TDIS).

Vägportal: Alla sydgående	Genomsnitt körfält 1-3	Körfält 1	Körfält 2	Körfält 3	Körfält 4
Genomsnittshastighet 1 jan 2021 - 31 dec 2021	82,07	91,36	82,14	75,28	63,99
Genomsnittshastighet vid påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h (annan hastighetspåverkande besked ej medräknat)	73,60	81,30	71,90	65,93	55,75
Genomsnittshastighet vid icke genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h (annan hastighetspåverkande besked ej medräknat)	79,71	88,23	78,04	71,59	59,28
Nettoeffekt på genomsnittshastighet vid påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h	-6,12	-6,93	-6,14	-5,66	-3,53

I själva verket fanns det skillnader i effekten på uppmätt hastighet över sträckan, samt även över tid, delvis beroende på bristande kontinuitet i visning av VH60 till följd av de tekniska problemen, se figur 15 och 16 nedan.



Figur 15. Effekten av varierande hastighetsgräns 60 km/h på genomsnittshastighet vid alla vägportaler i norrgående riktning. Vägportalerna visas i körriktningen från vänster till höger. (Källa: data från trafikledningssystemet samt logg-data från NTS och TDIS).



Figur 16. Effekten av varierande hastighetsgräns 60 km/h på genomsnittshastighet vid alla vägportaler i sydgående riktning. Vägportalerna visas i körriktningen från vänster till höger. (Källa: data från trafikledningssystemet samt logg-data från NTS och TDIS).

Mer information om trafikflöden och hastigheter på vägsträckan redovisas i delrapport 9.

5.4 Fordonspassager under visning av VH

Över 12 miljoner fordon har passerat vägportalerna och mätsnitten (i genomsnitt per portal) i norrgående riktning sedan VH infördes den 8 april 2021 och fram till 31 december 2021. Nästan 660 000 av dessa fordon passerade under ett pågående VH60-påslag. Om även alla uteblivna påslag hade genomförts skulle ytterligare cirka 624 000 fordon ha passerat under ett pågående VH60-påslag.

I sydgående riktning har 12,3 miljoner fordon passerat vägportalerna i genomsnitt sedan VH infördes den 8 april 2021 och fram till 31 december 2021. Nästan 1,2 miljoner av dessa fordon passerade när VH60 var påslagen. Om det inte hade varit för tekniska problem och de icke genomförda påslagen hade aktualiserats skulle ytterligare 822 000 fordon ha passerat vid visning av VH60.

5.5 Påverkan på trafikflödet

Från olika dataanalyser framgick att trafikgenomströmning minskade med upp till 50 fordon per timme och körfält när VH60 visades. Att trafikgenomströmningen minskar något när VH60 visas behöver inte enbart vara negativt från ett övergripande systemperspektiv. I vissa fall kan det vara önskvärt att dämpa trafikflödet för att minska risken för köbildning och uppbyggnaden av flaskhalsar.

Använt på rätt sätt kan VH medföra att ett relativt högt flöde med nedsatt hastighet kan upprätthållas under en längre tid jämfört med samma situation utan reglering. Resultat från specifika VH60-perioder skilde sig exempelvis från rusningsperioder där VH60 och köer mer kövarning förekom. Sett till en hel rusningsperiod var effekten på medelhastighet något mindre och det fanns indikationer på att antalet kövarningar minskade när VH60 förekom.

Djupare analyser av längre tidsförlopp visade att VH60 hade en viss utjämnningseffekt på trafikflöde över tid tack vare att densitet höjs samtidigt som hastigheten sjunker vilket är i enlighet med litteraturen¹⁵. Effekten är starkast när flödesutvecklingen är så hög att den senare leder till köbildning.

5.6 Framkomlighet och restider

Restider under år 2021 har påverkats av VH60-påslag. Detta framgår av en jämförelse av genomförda VH60-påslag och påslag som inte kunde genomföras beroende på tekniska problem. Eftersom restider förändras över tid och i

¹⁵ Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E., Papamichail, I. (2008). Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2047: pp. 37–48. Garcia-Castro, A., Monzon, A. (2014). Homogenization Effects of Variable Speed Limits, Transport and Telecommunication, Volume 15, no- 2, 2014, pp. 130-143.

förhållande till trängsel på vägen har resultaten delats upp för ett antal specifika tidsperioder enligt följande:

- Förmiddagens rusning veckodagar måndag till fredag (kl. 06:00-09:00).
- Eftermiddagens rusning veckodagar måndag till fredag (kl. 15:30-18:30).
- Övriga tider utanför rusningsperioder på förmiddag och eftermiddag.
- Lördagar och söndagar.

För perioder med pågående VH60-påslag och icke genomförda påslag har andra tidsintervaller med hastighetspåverkande besked (rekommenderade hastigheter samt kryss och pil) filtrerats bort.

Resultaten för norrgående körriktning presenteras nedan i tabell 5. Från tabellen framgår att skillnaden i restid mellan genomförda och icke genomförda påslag är +8,32 sekunder under förmiddagens rusningstid och +9,44 sekunder under eftermiddagens rusningstid på veckodagar. För tider utanför rusningsperioder mellan måndag och fredag fanns det ingen tydlig skillnad mellan genomförda och icke genomförda påslag, vilket var oväntat. Restidsskillnaden under helgdagar, alla tider är +8,93 sekunder.

Tabell 5. Sammanfattande resultat för restider i norrgående riktning under tidsperioder vid genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h, tidsperioder vid icke genomförda påslag, samt tidsperioder utan genomförda eller icke genomförda påslag.

	Restider i norrgående riktning (sekunder)			
	Förmiddagen (06:00-09:00) måndag-fredag	Eftermiddagen (15:30-18:30) måndag-fredag	Övriga tider måndag-fredag	Lördagar och söndagar
Tidsperioder utan genomförda eller icke genomförda påslag av VH60	129,05	135,35	130,93	128,15
Tidsperioder vid genomförda påslag av VH60	142,22	146,07	139,23	146,53
Tidsperioder vid icke genomförda påslag	133,90	136,63	138,84	137,60
Skillnad i restid mellan genomförda och icke genomförda påslag	8,32	9,44	0,39	8,93

Motsvarande resultat för den sydgående körriktningen presenteras nedan i tabell 6. Från tabellen framgår att skillnaden i restid mellan genomförda och icke genomförda påslag är +9,50 sekunder under förmiddagens rusningstid och +10,32 sekunder under eftermiddagens rusningstid. Restidsskillnaden under helgdagar alla tider är +11,20 sekunder. För tider utanför rusningsperioder mellan måndag och fredag fanns det en liknande restidsökning på +8,98 sekunder.

Tabell 6. Sammanfattande resultat för restider i sydgående riktning under tidsperioder vid genomförda påslag av varierande hastighetsgräns 60 km/h, tidsperioder vid icke genomförda påslag, samt tidsperioder utan genomförda eller icke genomförda påslag. (Källa STRESS-data).

	Restider i sydgående riktning (sekunder)			
	Förmiddagen (06:00-09:00) måndag-fredag	Eftermiddagen (15:30-18:30) måndag-fredag	Övriga tider måndag-fredag	Lördagar och söndagar
Tidsperioder utan genomförda eller icke genomförda påslag av VH60	148,07	142,10	144,65	141,63
Tidsperioder vid genomförda påslag av VH60	155,97	161,22	159,40	163,18
Tidsperioder vid icke genomförda påslag	146,46	150,90	150,42	151,98
Skillnad i restid mellan genomförda och icke genomförda påslag	9,50	10,32	8,98	11,20

Det ska nämnas att restidseffekterna inte är lika påtaglig när rusningsperioder i sin helhet beaktas istället för perioder med påslag eller uteblivna påslag. Detta då visning av VH60 har en viss utjämningsseffekt. Det är inte otänkbart att restider i vissa fall kan förbättras om köbildningar eller flaskhalsar uteblir. Lämplig data för att bekräfta detta påstående har dock ej kunnat identifieras för den aktuella sträckan.

Mer om effekterna på framkomlighet till följd av VH återges i delrapport 9.

5.7 Trafiksäkerhet

Trafiksäkerheten, enligt beräkningar gjorda i den s.k. potensmodellen, förbättrades till följd av den sänkta genomsnittshastigheten vid visning av VH60. Modellen pekar på en minskad olycksfrekvens på cirka 16 procent, vilket i teorin motsvarar cirka fyra uteblivna personskadeolyckor per år. För övrigt fanns det fanns inga tecken på hastighetsharmonisering (minskad hastighetsvariabilitet) till följd av VH även när mer detaljerad tidsförlopp och fordon-för-fordon data studerades.

Övriga analyser visade tydliga tecken på att avståndshållningen förbättrades i samband med visning av VH60, allra mest i körfält 1 (vänster körfält) där hastigheterna är som högst. De uteblivna VH60-påslagen hade för övrigt kunnat bidra ytterligare till en höjning av trafiksäkerheten.

En närmare analys av STRADA-data visade inga tydliga förändringar i olycksstatistik under år 2021 sedan VH infördes. En längre tidsperiod måste dock inväntas för att dra statistiskt säkra slutsatser.

Mer om effekterna på trafiksäkerhet till följd av VH återges i delrapport 9.

5.8 Trafikstörande händelser

Som för olycksdata visade en närmare analys av data för trafikstörande händelser inget som skulle tyda på förändringar till följd av VH under år 2021. Även här måste en längre tidsperiod inväntas för att dra statistiskt säkra slutsatser.

6 Effekter på luftkvalitet och klimat

6.1 Den uppmätta luftkvaliteten

Som nämnts tidigare så har området längs med E4/E20 vid Hallunda identifierats som ett område med sedan tidigare kända problem av höga luftföroreningar där E4/E20 passerar ett flertal tätbebyggda bostadsområden. Det var en av anledningarna till att mäta luftkvaliteten på plasten samt att studera de potentiella effekterna av VH på luftkvaliteten.

Luftkvaliteten har mätts på båda sidorna av E4/E20 vid Hallunda under år 2019, 2020 och 2021. Mätningarna startade i 3 april 2019 och har pågått till och med hela 2021. Mätningarna innefattade partiklar i form av PM₁₀ och PM_{2.5} samt kväveoxider (NO_x) inklusive kvävedioxid (NO₂) och kväveoxid (NO). Under perioder på 3 - 6 månader både före och efter införandet av VH mättes även sot och koldioxid. Mätningarna utfördes på båda sidor om E4/E20 och mätstationerna var placerade precis in till vägen då syftet var att studera trafiken påverkan på luftkvaliteten. De uppmätta halterna av PM₁₀, PM_{2.5} samt NO₂ jämfördes med de gällande miljökvalitetsnormerna (MKN) samt mot miljömålet frisk luft. Mätningarna visade att miljökvalitetsnormerna klarades för både PM₁₀, PM_{2.5} och NO₂ under samtliga tre år som mätningarna pågick. Däremot överskreds miljömålet frisk luft för både PM₁₀ och NO₂ under samtliga tre år. De uppmätta halterna visar behovet av åtgärder för att sänka halterna intill vägen och motiverar ur ett luftkvalitetperspektiv olika typer av åtgärder för att förbättra luftkvaliteten längs den undersökta vägsträckan.



Figur 20. De två mätstationerna intill E4/E20 vid Hallunda. På bilden syns även baksidan på några av de portaler som visar den gällande hastigheten samt den informationsskylt som var tänkt att ge information till trafikanterna.

Utvärderingen visade inte på entydigt sjunkande halter för år 2021 efter att VH införts jämfört med år 2019 och 2020. Mätningarna visade också att de uppmätta halterna påverkades tydligt av de meteorologiska förhållandena samt även av variation i trafikflödet till följd av Coronapandemin. Dessutom har det under perioden pågått en gradvis förändring i fordonsflottan som minskat halterna av framförallt kväveoxider (NO och NO_2). Detta gjorde att införandet av varierande hastighet inte enskilt påverkade de uppmätta halterna positivt.

6.2 Förväntade effekter

Baserat på de uppmätta halterna av luftföroreningar under 2019 och 2020 samt de observerade trafikflödena så beräknades de teoretiska effekterna av att införa VH på sträckan. Detta gjordes genom att använda 60 km/h under de timmar som VH teoretiskt skulle varit aktivt. Dels genom att använda den då tilltänkta styrning av VH baserat på trafik, men också genom att använda 60 km/h under de timmar som hade uppmätta höga halter av PM_{10} eller NO_2 . Definitionen av höga halter i denna beräkning var om en timma översteg PM_{10} $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eller NO_2 $60 \text{ mg}/\text{m}^3$, vilket motsvarar de gällande miljö kvalitetsnormerna för dygnsmedelvärden.

Beräkningen av de förväntade effekterna visade att en större av halterna för både NO_2 och PM_{10} skulle fås om VH styrdes på luftföroreningshalterna tillsammans medtrafik och inte enbart på trafik. Detta var extra tydligt för NO_2 då chansen att klara miljömålet var lika stor om hastigheten var 60 km/h under timmar med höga NO_2 -halter som om hastigheten hade varit 60 km/h under hela perioden.

För PM10 så beräknades att den klart största effekten skulle bli om hastigheten varit 60 km/h hela perioden med dubbdäck, november till och med mars.

Den främsta orsaken till det är att vid styrning på luftkvalitet blir bättre effekt än styrning på enbart trafik är att då prickas alla tillfällen med höga luftföroreningshalter, medans så inte är fallet med styrning enbart på trafik.

6.3 Effekter och effektpotential

Baserat på de uppmätta luftföroreningshalterna från det att VH infördes i mars till och med december 2021 så har effekten och effektpotentialen för VH beräknats. Metoden och resultaten presenteras i SLB-rapport 30:22.

För de olika analyserna av vilka effekter VH hade på luftkvaliteten, användes tre olika scenarier som speglar hur VH-funktionen fungerade under år 2021:

- Med VH. Detta alternativ motsvarar den uppmätta hastigheten under år 2021, d.v.s. verkligheten. Detta inkluderar de timmar där VH visade 60 km/h (d.v.s. sänkt hastighet). Totalt c:a 1,86 miljoner fordon påverkades av VH60 under år 2021.
- VH full funktion. Som beskrivits så var VH p.g.a. av olika orsaker enbart aktivt under delar av perioden. För att studera effekten av om VH hade varit aktivt under hela perioden, så används detta alternativ. I detta alternativ sänktes hastigheten med 6 km/h, motsvarande den verkliga efterlevnaden av sänkningen från 80 till 60 km/h, alltså till 74 km/h. Totalt 3 500 000 fordon skulle ha påverkats av VH60 vid full funktion.
- Maximal VH. I detta alternativ sattes hastigheten till full efterlevnad, 60 km/h, för samtliga tillfällen då VH visade sänkt hastighet under år 2021 summerat med de tillfällen då VH borde ha visat sänkt hastighet, men av olika anledningar inte gjorde det.

För de olika alternativen så användes emissionsfaktorer för CO₂ och NO_x från HBEFA 4.1, tabell 4.

Tabell 4. Beräknade emissionsfaktorer för NO_x och CO₂ med och utan VH-systemet

	Hastighet	Emissionsförändring NO _x (kg)	Emissionsförändring CO ₂ (ton)
Utan VH	HBEFA 80 km/h	0,312	150
Med VH och VH full funktion	HBEFA 74 km/h*	0,305	146
Max teoretisk effekt	HBEFA 60 km/h	0,288	138

*Linjärt interpolerat mellan HBEFA 80 och 60 km/h

Genom att multiplicera de genomsnittliga emissionsfaktorerna från HBEFA med totala antalet fordon som påverkades av VH60 samt med att sträckan var 2,7 km, så beräknades den totala emissionsförändringen för år 2021 (tabell 5).

Tabell 5. Beräknad utsläppsminskning av NO_x och CO₂ under 2021 till följd av varierande hastighetsgränser.

	Hastighet	Emissionsförändring NO _x (kg)	Emissionsförändring CO ₂ (ton)
Med VH	HBEFA 74 km/h*	-42	-24
Med VH full funktion	HBEFA 74 km/h*	-66	-38
Max teoretisk effekt	HBEFA 60 km/h	-227	-113

*Linjärt interpolerat mellan HBEFA 80 och 60 km/h

Emissionsminskningarna enligt beräkningar i HBEFA för NO_x och CO₂ är små till följd av VH60-påslagen. Även om påslag som uteblev till följd av tekniska problem hade genomförts, och om fullgod hastighetsefterlevnad hade uppträtt, är effekterna förhållandevis små. VH medförde en teoretisk minskning av CO₂-utsläppen med 20 ton längs med den 2,7 km långa VH sträckan. Det motsvarar ungefär 59 000 färre fordon under perioden mars till och med december år 2021 eller ungefär 199 färre fordon per dygn (av det totala dygnsflödet på c:a 100 000 fordon). Vid full efterlevnad av hastighetsgränsen samt inga uteblivna VH60-påslag hade utsläppsminskning dock ökat till 113 ton CO₂ vilket i så fall hade motsvarat en minskning med 280 000 fordon under perioden mars till december år 2021.

Uppmätta halter av NO₂ visade också en liten minskning vid VH60-påslag jämfört med andra tider då VH60 inte visades, se tabell 6. Medelvärde för NO₂, liksom timmar över miljö kvalitetsmålets målvärde 60 µg/m³ och normvärdet 90 µg/m³, förändrades förhållandevis lite, även om de uteblivna påslagen hade förverkligats. Det är först om man räknar med fullgod hastighetsefterlevnad (alla fordon kör 60 km/h) som timmar över miljömålets målvärde och normvärdet minskar i någon betydande grad.

Tabell 6. Effekten av tre olika VH-scenarier samt 0-alternativet för NO₂ jämfört mot miljö kvalitetsnormer och mål för perioden mars till december 2021.

Scenario	NO ₂ obs.	NO ₂ obs.	NO ₂ utan VH	NO ₂ utan VH	NO ₂ full funktion VH	NO ₂ full funktion VH	NO ₂ max VH	NO ₂ max VH
Sida av vägen	SO	NV	SO	NV	SO	NV	SO	NV
Medelvärde	21,95	23,74	21,98	23,76	21,93	23,73	21,77	23,62
Dygn > 60 µg/m ³ (normvärdet)	2	3	2	3	2	3	2	3
Timmar > 90 µg/m ³ (normvärdet)	45	46	45	46	44	46	42	46
Timmar > 60 µg/m ³ (målvärdet)	272	280	274	281	269	278	264	275
Antal påverkade fordon (millioner)	2,0	2,0	0	0	3,5	3,5	3,5	3,5
Hastighetssänkning (km/h)	-6	-6	0	0	-6	-6	-20	-20

Medan CO₂ och NO_x/NO₂ kommer från avgasutsläppen av fordonen så kommer stora delar av PM10 emissionerna från icke avgasemissioner genom slitage av körbanan samt av däck och bromsar. Detta gör att det finns en tydlig säsongsvariation för PM10 kopplat till säsongvariationen av

dubbdäcksanvändning, samt torra och fuktiga körbanor. Emissionerna av PM10 och PM2.5 beräknades med NORTRIP-modellen.

Det beräknade utfallet för VH60 så som det har sett ut under år 2021 har gett upphov till en minskning av icke avgasemissioner med 90 respektive 5,9 kg för PM10 respektive PM2.5 under år 2021. Effekterna skulle ha ökat med 30-40 procent om det inte hade varit för uteblivna påslag. Därutöver hade effekterna fördubblats med fullgod hastighetsefterlevnad, se tabell 7. Inga skillnader i antalet dygn med PM10 över 30 µg/m³ (målvärdet i Frisk luft) eller 50 µg/m³ (EU:s normvärde) framstod vid användning av VH, inte heller i ett scenario där alla påslag genomfördes och vid fullgod hastighetsefterlevnad.

Tabell 7. Beräknad utsläppsminskning av icke avgas PM10 och PM2.5 under mars till och med december 2021 till följd av VH. Beräknats med NORTRIP-modellen

	Emissionsförändring PM10 (kg)	Emissionsförändring PM2.5 (kg)
Med VH	-90	-5,9
Med VH full funktion	-129	-7,9
Max effekt av VH	-191	-11,6

Mer om effekterna på emissioner och luftkvalitetsdata till följd av VH60-påslag återges i delrapport 8.

6.3.1 Jämförelse med förväntade effekter

Under stycke 6.3 samt i delrapport 5 beräknades de förväntade effekterna av VH baserat på 2019 och 2020 års mätdata. Det verkliga utfallet i stycke 6.4 blev mindre än de förväntade. Det är främst två orsaker till detta:

- Den verkliga hastighetssänkningen med VH blev ungefär 6 km/h, medans de förväntade effekterna beräknades med full efterlevnad och fordonen körde 60 km/h vid VH
- Den andel av tiden som VH var aktivt under 2021 var mindre än vad som räknades med vid de förväntade effekterna. Tiden med VH motsvarade cirka 2,8 % i norrgående respektive 4,7 % i sydgående riktning. För de förväntade effekterna var tiden över 10 %.

7 Samhällsekonomiska bedömningar

7.1 Samhällsekonomiska besparingar av luftkvalitet och klimat

Beräknade samhällsekonomiska besparingar enligt ASEK 7.0, samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn,¹⁶ för uppmätta utsläppsminskningar, samt beräknade värden där uppmätta värden saknas, visar hälsoeffekter som beror på PM_{2,5} och PM₁₀ till en kostnad av 180 000 kr, kulturmiljöeffekter (som beror på NO_x) till en kostnad av 29 000 kr, samt klimateffekter (CO₂-utsläpp) motsvarande 168 000 kr till följd av VH under perioden 8 mars till december år 2021.

Om utökade värden för hälsa enligt Forsberg och kollegor används (för stadsförort)¹⁷, utökas besparingen i hälsoeffekter från 180 000 kr till 369 000 kr.

7.2 Samhällsekonomiska effektbedömningar över en 20-årig investeringsperiod

För att bedöma om varierande hastighetsgränser varit en lönsam åtgärd har beräkningar gjorts i en modifierad version av den s.k. MESS-verktyget. MESS är utvecklat i syfte att bedöma förväntade samhällsekonomiska nyttor vid införande av nya trafikledningssystem. MESS-verktyget har anpassats för att kunna beräkna samhällsekonomiska värden från de resultat som framkommit i projektet.

Viktiga ingångsvärden inkluderar antalet VH60-påslag och påslagstider, förändringar i medelhastigheter och restider under perioder där VH60 har visats, samt antalet fordon som passerat under pågående påslag. Därutöver har flödesdata, fordonssammansättningen vägens utformning (antalet körfält) och sträckans längd varit användbara i dessa kalkyler.

Restidskostnaden är beräknad utifrån restids- och hastighetsminskningen vid visning av VH60 och är uppdelad enligt ASEK 7.0 för personbil och lastbil. Trafiksäkerhetspåverkan beräknats med hjälp av potensmodellen för antalet personolyckor och fördelas mellan D (dödsfall), MAS (mycket allvarlig skada), AS-MAS (allvarlig skada - mycket allvarlig skada), EAS (ej allvarlig skada), samt EO (egendomsolycka). Värderingar görs i enlighet med ASEK 7.0.

Påverkan på miljö och hälsa har på liknande sätt beräknats från etablerade effektsamband och värderingar i ASEK 7.0. För beräkning av miljöeffekter är CO₂-reduktionen uppskattad utifrån hastighetsreduktionen och samband i Effektsamband del 7 (Trafikverket 2022, figur 2). Reduktion av NO_x är gjord på

¹⁶ [Gällande förutsättningar och indata - Bransch \(trafikverket.se\)](#)

¹⁷ Forsberg B. et al (2021). Bättre metoder att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik. Publ.nr. TRV 2021:253.

samma sätt som CO₂. PM₁₀ är beräknat enligt slitagemodell för dubbdäck enligt Effektsamband del 7 (Trafikverket 2022, sidan 41). PM_{2,5} är också beräknat enligt "Effektsamband del 7" (Trafikverket 2020, tabell 11.9). Eftersom delrapport 9 har påpekat att miljö och hälsoeffekter i nuvarande ASEK kan vara undervärderade presenteras även kompletterande beräkningar som utgår från expertbedömda värden för miljö och hälsa (se Norman, *et.al.*, 2022).

Utöver beräkningar av åtgärdseffekter, uppskattas en investeringskostnad för åtgärden till cirka 1,3 mnkr. Investeringsperioden för denna typ av åtgärd är något osäker, en 20-årig driftperiod har antagits givet åtgärdens tekniska karaktär. Det tillkommer även vissa utökade drift- och underhållskostnader för att säkerställa att funktion uppfyller kraven i trafikföreskriften. Drift- och underhållskostnader har uppskattats till cirka 60 000 kr årligen och motsvarar 33 % av schablonkostnaden för trafikledningssystemet. I kalkylen har ett restvärde beräknats till 0,3 mnkr och skattefaktorn har beräknats till -0,5 mnkr.

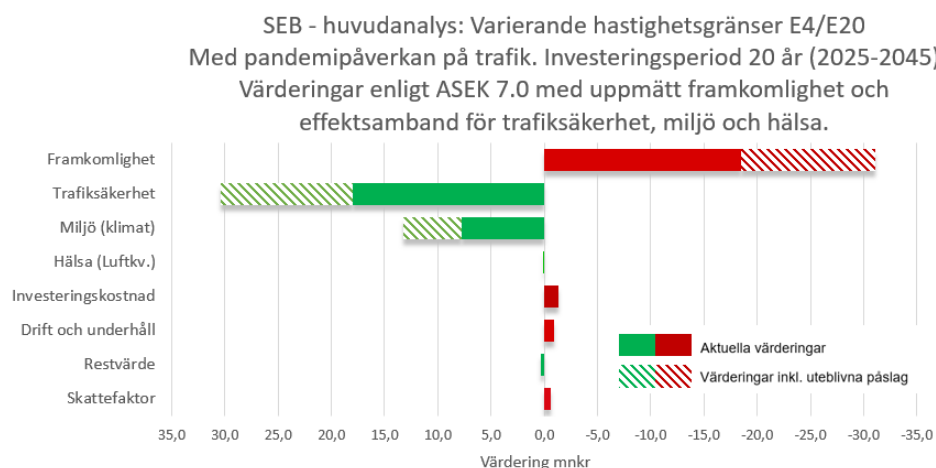
Under år 2021 har det uppstått tekniska problem med VH-funktionen som lett till ett stort antal uteblivna påslag och därmed även nedsatt effekt. Därutöver har Covid-19 pandemin haft en påtaglig effekt i transportsystemet med bl.a. minskade trafikflöden och förändrade resmönster. Då den samhällsekonomiska bedömningen avser en framtidsperiod där de tekniska problemen är lösta och där trafiken troligtvis inte påverkas av omvärldsfaktorer som pågående pandemier finns det anledning att beräkna flera alternativ.

Ett huvudanalysalternativ och två känslighetsanalyser har beräknats. Av dessa är den andra känslighetsanalysen den som bedöms mest rimlig, givet trafikutvecklingen efter pandemin på den aktuella sträckan och behovet att värdera miljö och hälsa på annat sätt än idag.

Det ska tilläggas att den 20-åriga investeringsperioden inte tar höjd för fordonsutveckling och trender inom digitalisering, uppkoppling, automatisering och elektrifiering som förväntas ha en stor positiv påverkan på trafiksäkerheten, luftkvalitet och klimatutsläpp.

7.2.1 Huvudanalys

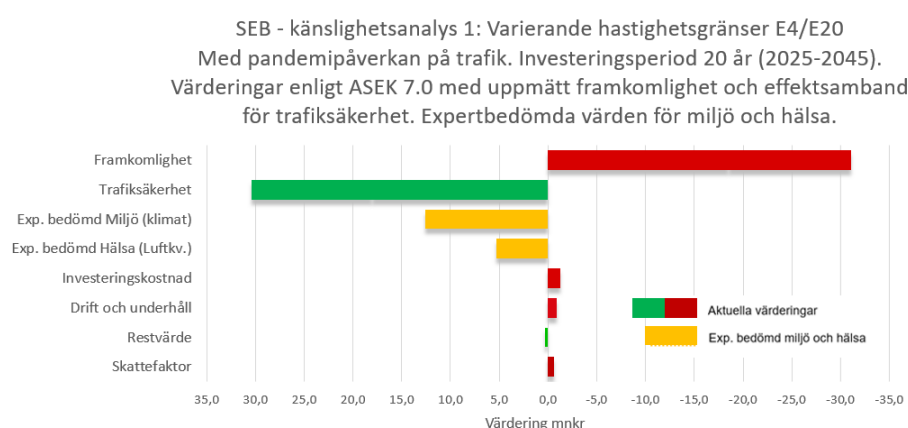
Huvudanalysen utgår från hur VH faktiskt har fungerat år 2021, samt hur den borde fungerat under år 2021 om alla VH60-påslag genomfördes. Beräkningarna speglar trafikpåverkan till följd av Covid-19 pandemin. Effekterna enligt kalkylen visar en nytta för trafiksäkerhet och miljö (klimatpåverkan) som överväger onyttan för framkomlighet. Hälsoeffekterna (luftkvalitet) ger dock en försumbar effekt som är marginellt positivt enligt gällande effektsamband och ASEK-värderingar. Nettonuvärdet för huvudanalysen med en fullt fungerande funktion (inga uteblivna påslag) beräknats till 10,4 mnkr, nettonuvärdeskvoten (idu) motsvarar 4,8. Om inte de uteblivna påslagen medräknas halveras nettonuvärdet och NNK (idu)-värdena.



Figur 17. Samlad effektbedömning (SEB) för huvudanalysalternativet beräknade i MESS-verktyget. Analysen inkluderar pandemins påverkan på trafik. Investeringsperiod 20 år (2025-2045). Värderingar enligt ASEK 7.0 med uppmätt framkomlighet och effektsamband för trafiksäkerhet, miljö och hälsa.

7.2.2 Känslighetsanalys 1

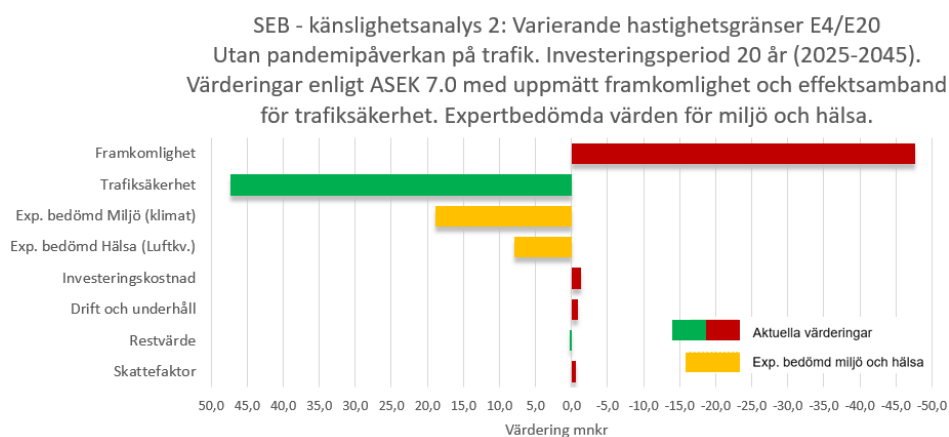
Den första känslighetsanalysen utgår från samma förutsättningar som huvudanalysen. I denna beräkning förutsatts ett fullt fungerande VH utan uteblivna VH60-påslag. En väsentlig skillnad från huvudanalysen är att beräknade miljöeffekterna och värderingarna från SLB:s rapport: "Effekten av VH på emissioner och luftkvalitetsdata" har använts (se Norman et.al. 2022, delrapport 8 från detta projekt). Dessa värden bygger på utredningsarbete som genomförts av Forsberg och kollegor och ersätter de från ASEK som beräknas utifrån rekommendationerna i "Effektsamband del 7" (Trafikverket, 2022). Nettonuvärdet för känslighetsanalys 1 beräknas till 15,1 mnkr, och nettonuvärdeskvoten (idu) motsvarar 6,9.



Figur 18. Samlad effektbedömning (SEB) för känslighetsanalys 1 beräknade i MESS-verktyget. Analysen inkluderar pandemins påverkan på trafik. Investeringsperiod 20 år (2025-2045). Värderingar enligt ASEK 7.0 med uppmätt framkomlighet och effektsamband för trafiksäkerhet. Expertbedömda värderingar för miljö och hälsa.

7.2.3 Känslighetsanalys 2

Den andra känslighetsanalysen utgår från andra förutsättningar än huvudanalysen. I denna beräkning förutsatts ett fullt fungerande VH utan uteblivna VH60-påslag, men bygger på beräknade trafikeffekter för år 2019. År 2019 har valts för att uppskatta effekter för ett år utan Covid-19 pandemins påverkan på trafik, eller andra omvärldsfaktorer. Även i denna analys har beräknade miljö- och hälsoeffekter och värderingar i enlighet med Forsberg och kollegor använts. Nettonuvärdet för huvudanalysen med en fullt fungerande funktion (inga uteblivna påslag) beräknats till 24,2 mnkr, nettonuvärdeskvoten (idu) motsvarar 11,0.



Figur 19. Samlad effektbedömning (SEB) för känslighetsanalys 1 beräknade i MESS-verktyget. Analysen inkluderar ej pandemins påverkan på trafik utan bygger på beräknade effekter på 2019 års trafik. Investeringsperiod 20 år (2025-2045). Värderingar enligt ASEK 7.0 med uppmätt framkomlighet och effektsamband för trafiksäkerhet. Expertbedömda värderingar för miljö och hälsa.

8 Slutsatser

8.1 Övergripande slutsatser

En övergripande slutsats från effektanalyserna är att varierande hastighetsgränser (VH) på sträckan E4/E20 mellan Hallunda och Fittja, under tidsperioden mars till december år 2021, har haft en mindre positiv påverkan på luftkvalitet och klimat än vad som förväntades.

En annan övergripande slutsats för projektet, som kan tjäna som förklaring, är att den fulla potentialen av åtgärden inte uppnåddes. Anledningarna var dels att styrning med avseende på luftkvalitet som var ursprungsplanen, inte kunde genomföras samt att VH-funktionen av olika systemtekniska skäl inte var i drift under de perioder där det förekommit ”tät trafik”, enligt det gränsvärde (1 440 fordon per timme och körfält) som därför beslutades skulle styra trafiken istället. En tredje generell slutsats är att graden av hastighetsefterlevnaden generellt varit låg. Till sist påverkades trafiken dessutom av covid-19 pandemin under år 2021, vilket gör resultaten mindre representativa jämfört med ett någorlunda ”normalt” år sett till antalet fordon och resmönster.

För övrigt rekommenderas att varierande hastighetsgränser kvarstår som funktion på E4/E20 mellan trafikplats Hallunda och trafikplats Fittja för att möjliggöra vidareutveckling och ytterligare kunskapsuppbyggnad gällande trafikstyrning och luftkvalitetsåtgärder.

8.2 Effekter på luftkvalitet och klimat

I syfte att utreda åtgärdens fulla potential för den aktuella vägsträckan, uppskattades en fullt fungerande VH-funktion utan tekniska avbrott tillsammans med en exemplarisk efterlevnad. Utsläppsminskningar beräknades då till 227 kg NO_x, 191 kg PM₁₀ och 12 kg PM_{2,5} längs den 2,7 km långa vägsträckan, under den tiden VH var igång från och med mars till december år 2021. Av beräkningar för vad detta betyder i halter i förhållande till miljökvalitetsnormer och miljökvalitetsmål, så visade det sig att det enbart var NO₂-halternas timmedelvärden som förändrades nämnvärt i förhållande till målvärdet 60 µg/m³ i Frisk luft.

Vid ett fullt fungerande VH och en optimal hastighetsefterlevnad, beräknades utsläppsminskningen av CO₂ bli 113 ton på den 2,7 km långa sträckan, då VH var igång från och med mars till och med december år 2021. I relation till 18 000 ton CO₂ per år, som fordonsflödet bidrar till på nämnd sträcka, så skulle VH minska klimateffekterna på sträckan med ca 1 %. Enligt de samhällsekonomiska analyserna så är den översiktliga bedömningen att åtgärden då ser ut att vara kostsam i förhållande till påverkan på tillgänglighet, då restiden ökar och trafikflödet minskar som direkt konsekvens. Men tillsammans med de trafiksäkerhetsmässiga positiva effekterna, och de positiva värderingarna av hälsa som funktionen trots allt bidrar till, så ser VH ändå ut att vara en samhällsekonomiskt värdefull åtgärd.

En ytterligare slutsats är att varierande hastighetsgränser som enskild åtgärd inte räcker för att garantera uppfyllelse av luftkvalitetsnormer och mål, men utökad potential finns. Av resultaten framgår även att varierande hastighetsgränser inte är någon enskild rekommenderad klimatåtgärd.

8.3 Styrning av VH

Det finns aspekter i projektets experimentella upplägg som hade kunnat leda till andra resultat, exempelvis om hastighetsgränserna styrdes efter funktionella utsläppsnivåer, ”miljöstyrning”, istället för, eller som komplement till en trafikflödeströskel som ansågs utgöra tät trafik. På så sätt hade höga halter som inte enbart samvarierar med trafikmängd utan även till stor del påverkas av meteorologin, kunnat bekämpas på ett mer direkt och målanpassat sätt.

Ett förslag som projektresultaten lett till är att funktionen styrs på NO_x, som motsvarar total föroreningshalt, där hastigheten sänks vid värdet 150 µg/m³, som vid mätplatserna vid Hallunda ungefär motsvarar en uppmätt halt av 60 µg/m³ NO₂, normvärdet för dygnsmedel.

Hur regleringen är utformad med styrparametrar, och hur den faktiskt upplevs och förstås av trafikanterna har en påtaglig effekt på hastighetsefterlevnad. Ett tillsynes osynligt behov av hastighetsreducering hos trafikanter är förknippat med sämre efterlevnad. Det är något som kan uppstå vid en styrning efter luftkvalitet. Styrning efter luftkvalitet har å andra sidan fördelen av att kunna påverka trafiken i båda körriktningar samtidigt vilket inte är fallet med en styrning efter tät trafik.

8.4 Hastighetsefterlevnad

Bristande hastighetsefterlevnad beror på flera orsaker bl.a.: bristande hastighetsuppföljning, bristande information, en icke optimal anpassning av VH-funktion, vägensutformning och geometri, samt attityder/beteende hos förare. Allra främst kan åtgärder som medför bättre hastighetsefterlevnad påverka luftkvalitet, utsläpp av klimatpåverkande gaser och trafiksäkerhet vilket i så fall kan medföra en utökad lönsamhet för VH som åtgärd. Möjligheten till utökad polisiär kontroll, användning av ATK på flerfältiga vägar, samt dynamiskt digital information vid vägsidan och i fordonskabinen är tänkbara åtgärder och bör utredas fortsättningsvis.

8.5 Rekommendationer om fortsatt utredning

Införandet av VH på den aktuella vägsträckan har gett en sällsynt möjlighet att följa alla steg från ett tidigt planeringsskede till genomförande och efterföljande utvärdering. Lärdomarna har varit många och det finns goda skäl att tro att framtida implementeringar kan underlättas tack vare arbetsinsatserna och vidareutvecklingen som skett i detta projekt. Det gäller särskilt de tekniska systemen, men även utvärderingsmetoder och databearbetningar.

Från arbetet har ett antal behov om fortsatt utredning identifierats för att höja det allmänna kunskapsläget om varierande hastighetsgränser och luftkvalitetsåtgärder inför kommande implementeringar.

Följande områden anses aktuella vid fortsatt utredning:

- **VH för förbättrad luftkvalitet**
 - Vad blir effekten om båda körriktningar regleras?
 - Hur ser hastighetsefterlevnaden ut om varierande hastighetsgränser styrs utifrån luftkvalitetsparametrar?
 - Hur tar man hänsyn till meterologins påverkan?
 - Är det den totala halten som ska styra eller enbart halterna som beräknas komma från den väg där VH styr?
- **Hastighetsefterlevnad**
 - Finns det kompletterande åtgärder som kan bidra till en bättre hastighetsefterlevnad, t.ex. ATK på flerfältiga vägar?
 - Vilka effekter kan erhållas vid användning av dynamiska digitala budskap vid vägsidan?
 - Vilken potential har nya förarstödssystem gällande hastighetsanpassning?
- **Uppskalad VH i vägnätet**
 - Vilka effekter kan förväntas om VH etableras och accepteras som åtgärd på flera vägsträckor?
- **Styralgoritmen för VH**
 - Vilka grundläggande parametrar är mest fördelaktiga att använda för trafikstyrningar beroende på förutsättningar och syften?
- **Samspel mellan trafikstyrningsfunktioner.**
 - Finns möjlighet till synergieffekter vid en bättre synkronisering av funktionerna för VH och kövarning?