

Garageventilation – Analys av riktlinjer för luftflöden och systemval

**LÅGAN Rapport
December 2023**

Mari-Liis Maripuu, CIT Renergy
Victoria Edenhofer, CIT Renergy
Peter Filipsson, CIT Renergy
Mikael Oxfall, NCC Sverige AB
Kristofer Karlsson, NCC Sverige AB

Förord

Föreliggande rapport har tagits fram med inom LÅGAN-nätverket. Projektet har genomförts av Mari-Liis Maripuu, Peter Filipsson och Victoria Edenhofer på CIT Renergy samt Mikael Oxfall och Kristofer Karlsson på NCC Sverige AB. Projektledare har varit Mari-Liis Maripuu på CIT Renergy och Mikael Oxfall på NCC Sverige AB. Till förstudien har även en referensgrupp kopplats. Vi vill rikta ett stort tack till referensgruppen som har bidragit med sina erfarenheter, kunskaper och synpunkter under projektets gång:

Jan-Ulric Sjögren, Stockholms Stad
Kjell-Åke Henriksson, JM AB
Lisa Flawn Orpana, Skanska Sverige AB
Göran Werner, WSP AB

Göteborg, december 2023



LÅGAN (samverkan för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett samarbete mellan Byggföretagen, Energimyndigheten, Boverket, Västra Götalandsregionen, Formas, byggentreprenörer, byggherrar och konsulter.

LÅGAN stöttar regionala nätverk inom byggande av lågenergibygnader och skapar gemensamma projekt och studier för att utveckla och driva byggande och reovering av lågenergibygnader framåt. LÅGAN ska bidra till att Sverige ska nå sina energimål genom att bostads- och lokalsektorn starkt effektiviserar sin energianvändning och ökar byggtakten av lågenergibygnader.

www.laganbygg.se



Sammanfattning

Ventilationen i dagens slutna parkeringsgarage är ofta baserad på äldre riktvärden från sjuttioalet som inte tar hänsyn till att det idag finns krav på katalysatorer och maximala utsläpp i fordonsavgaser, eller den ökade andelen hybrid- och elbilar. Det resultera i överdimensionerade ventilationssystem som inte är energieffektiva. Det finns några få studier som antyder att luftflödena i nuvarande garage skulle kunna halveras och energianvändningen minskas med upp till 70%. Dock saknas validerade data och därför har branschen varit försiktig med att ändra dimensioneringsmetoder.

Denna förstudie har initierats för att ge fastighetsägare och projektörer en ökad kunskap om luftflödesbehov i slutna garage och undersöka effektiva ventilationslösningar.

Förstudien lyfter fram bristen på tillräckliga riktlinjer för att fastställa luftflöden i dagens parkeringsgarage och understryker behovet av att ta fram nya riktlinjer baserade på verifierad data.

Utmaningen ligger på att fastställa vilka avgasutsläpp som förväntas från dagens fordon med förbränningsmotor i slutna garage, då dessa kan variera beroende på flera faktorer såsom drivmedel, ålder på bilarna, motoreffekten, körförhållanden och omgivningens temperatur. Vidare behövs information om hur aktiviteten ser ut i ett garage, exempelvis hur många bilar som är igång samtidigt och hur länge bilarna är igång. Olika förutsättningar gäller för bostads-, kontors- och centrumgarage. Dessutom saknas enhetliga gränsvärden för föroreningar för garage, vilket skapar osäkerhet kring vilka gränsvärden som bör tillämpas.

Exempelberäkningar visar tydligt hur olika antaganden om dessa indata påverkar luftflödesbehovet. Till exempel kan luftflödesbehovet variera mellan 1,0 och 2,6 liter per sekund per kvadratmeter golvarea för att hålla kolmonoxidkoncentrationen under 50 ppm. Detta baseras på en grov uppskattning av den typiska sammansättningen av kolmonoxidhalten i dagens garagemiljö. För att hålla kolmonoxidnivån under 100 ppm, enligt Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden för arbetsmiljöer, kan det vara tillräckligt med betydligt lägre luftflöden, från 0,1 till 1,0 liter per sekund per kvadratmeter golvarea. Omgivningstemperaturer i garaget visade också betydande påverkan på luftflödesbehovet, där lägre temperaturer kräver högre luftflöden för att bibehålla önskade kolmonoxidnivåer.

Framtagningen av nya riktlinjer kräver en djupgående analys av faktorer som påverkar luftkvaliteten. Dessutom måste säkerhetsmarginaler övervägas för att säkerställa att luftkvaliteten uppfyller allmänna krav och inte utgör hälsorisker för människor som vistas där under olika förhållanden.

Garageventilation projekteras idag oftast med variabelt flöde vilket är en förutsättning för att få bra energiprestanda. I garage med konstant flöde blir

potentialen till energibesparing stor genom sänkning av medelluftflödet. I förstudien visas exempel på energibesparing för ett underjordiskt garage om 2 till 4 kilowattimmar primärenergi per kvadratmeter golvarea per sänkning av medelflödet med 0,1 liter per sekund och kvadratmeter golvarea.

Vid nyproduktion är det idag vanligt med FTX-ventilationssystem för att uppnå bra energiprestanda. Samtidigt visar beräkningar i förstudien även på potential för frånluftsventilationssystem för att uppnå bra energiprestanda, om garagetemperatur kan hållas under +10 grader. Frånluftsventilation kräver dessutom mindre investering. System där tilluften består av återluft från andra byggnadsdelar i stället för uteluft har också potential att spara energi.

I samband med optimering av ventilationssystemen bör även luftfuktigheten i garaget beaktas. I garagemiljö kan höjda fukthalter förekomma på grund av inkommande vatten via fordon i form av regn eller snö, men också på grund av förhöjd luftfuktighet i inkommande utomhusluften, speciellt under varma och fuktiga månader. Förhöjda fuktnivåerna i garage kan leda till problem med mikrobiell påväxt på kalla ytor och/eller kondensrisk. Kondensproblematik kan resultera till att urlakningsprodukter ansamlas i vattendroppar i taket vilka sedan kan förorsaka lackskador på parkerade fordon under.

Sammanfattningsvis måste systemutformning och styrning för garageventilation utvärderas med avseende på garagetemperatur, utsläpp från bilar, energianvändning och relativ fuktighet. Detta medför även att nya riktlinjer för val av ventilationssystem i garage och dess styrning, till exempel med avseende på luftflödesbehov (luftföroreningar och fukt) samt värmebehov, bör uppföras.

För vidare arbete rekommenderas en mer detaljerad utredning som inte bara inkluderar teoretiska studier utan också fältmätningar i flera olika slutna parkeringsgarage. Syftet är att erhålla validerade data och utveckla nya praktiskt tillämpbara metoder för att dimensionera ventilation i garage. Vidare krävs fler mätstudier och parameterstudier för att noggrant utvärdera olika ventilationslösningar, styrningsprinciper och driftstrategier för garageventilation. Detta för att skapa nya riktlinjer som främjar optimal och energieffektiv ventilation i slutna parkeringsgarage.

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning.....	4
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Syfte och mål	7
1.3 Avgränsningar.....	8
2 Genomförande	8
2.1 Intervjuer	9
3 Dimensionering av garageventilation	10
3.1 Grunden till dimensioneringsregler.....	10
3.2 Dimensioneringsregler som tillämpas idag.....	12
3.3 Gränsvärden för olika föroreningar i garage	14
4 Fordonsbestånd idag och i framtiden	15
4.1 Drivmedel och avgaser i dagens fordonsbestånd	16
4.2 Drivmedel och avgaser i framtidens fordonsbestånd	19
5 Möjligheter att sänka luftflöden i garage	19
5.1 Behovet för att sänka luftflöden	19
5.2 Resultat från tidigare studier	20
5.3 Andra aspekter att ta hänsyn till	21
6 Förutsättningar för framtagning av nya riktvärden	23
6.1 Beräkning av koncentrationen av en luftförorening i slutet utrymme.....	24
6.2 Olika metoder för fastställning av ventilationsbehovet i garagemiljö.....	25
7 Systemval för garageventilation	33
7.1 Förbättringspotential i projektering av garageventilation	34
7.1.1 Systemlösning utan värmeåtervinning (F-ventilation).....	35
7.1.2 Systemlösning med värmeåtervinning (FTX-ventilation)	36
7.1.3 System med överluft.....	37
7.2 Energiberäkningar för underjordiskt garage	37
7.2.1 Energianvändning vid olika medelluftflöde	42
8 Diskussion och slutsatser.....	43
8.1 Rekommendationer för nya riktvärden för luftflöden.....	43
8.2 Rekommendationer för systemval för energieffektiv drift.....	45
8.3 Rekommendationer från referensgruppen	46
8.4 Förslag till fortsatt arbete	46
Referenser	48

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Ventilationen i många slutna parkeringsgarage dimensioneras idag efter riktvärden som har sitt ursprung i Svensk Byggnorms regler från sjuttioalet. Idag har de fossildrivna bilarna avgasrenande katalysatorer och en ökande andel av parkeringsplatserna i garage är dessutom ämnade för elbilar. Avgaserna i dagens parkeringsgarage är därmed betydligt lägre jämfört med tider när nuvarande riktvärden togs fram.

Detta gör att garagens ventilation ofta överdimensioneras, vilket både leder till onödigt stora installationer och slöseri med energi. För att minska energianvändningen sätts ibland roterande värmeväxlare in. Men då blir det i stället problem med fuktöverföring, speciellt under vintertid med snö från bilar som smälter, som i sin tur även kan leda till påfrysningsproblem i aggregaten. För att lösa det har ventilationssystemet ofta en bypass-kanal, vilket ökar energianvändningen igen. Utöver eventuell fuktproblematik i aggregaten kan överfukt i garage ge upphov till mikrobiell påväxt eller kondensproblem på kalla ytor. Även risken för brand bör beaktas när garageventilationens luftflöden utvärderas.

Garageventilation har hittills studerats endast i begränsad omfattning. Några examensarbeten har indikerat att det går att minska luftflödet i parkeringsgarage utan att nå för höga avgashalter och att det finns en betydande potential att spara energi genom att ändra hur ventilationssystem i varmgarage dimensioneras och regleras. Eftersom underlaget är litet har branschen varit försiktig med att ändra sättet att dimensionera och styra ventilationen.

För att ge fastighetsägare och projektörer tillräcklig kunskap och grund för att sänka luftflöden i parkeringsgarage finns det behov av att utvärdera de riktvärden som används vid projektering idag och klarlägga om det finns behov av nya riktvärden och i så fall hur sådana riktlinjer kan utformas. Det skulle även vara av värde att se över systemutformning och styrning av olika system ur inneklimat- och energieffektiviseringsperspektiv.

1.2 Syfte och mål

Förstudien syftar till att undersöka vilka luftflöden och systemval som effektivast kan tillgodose det ventilationsbehov som finns i dagens garage samt beräkna energibesparingspotentialen. Detta ämnar att kunna vägleda vid både ombyggnation, nybyggnation samt under drift och förvaltning.

Målet är att sammanställa kunskaper och erfarenheter som besvarar följande frågeställningar:

- Vilka är vanliga luftflöden i garage idag?
- Vilka grundflöden/börvärden är idag tillräckliga för att hålla nere avgashalter på tillräcklig nivå och i vilka riktlinjer bör de ingå?
- Hur säkerställer man energieffektivitet utan att erhålla fuktproblem?
- Vilken styrfunktion är lämpligast för ventilation i garage för att tillgodose dessa behov?
- Hur vanligt är det att ventilationsflödet är varierande (VAV) respektive konstant (CAV) i befintliga garage?
- Vilken systemlösning bör väljas för ventilationen (FTX eller F etc.)?
- Vilka fördelar respektive nackdelar finns det med olika typer av system?
- Vad finns det för energibesparingspotential?
- Finns det särskilda framgångsfaktorer som är bra för fastighetsägare att känna till?
- Finns det några möjliga nackdelar eller risker sett ur ett större systemperspektiv?

1.3 Avgränsningar

Förstudien fokuserar endast på ventilationssystem för slutna parkeringsgarage som är avsedda för att späda ut avgashalter till acceptabla nivåer för att undvika oacceptabla risker för människornas hygien och hälsa. Säkerhetsfrågor så som brandventilation har ej studerats i detalj. Dock har frågan tagits upp på intervjuer p.g.a. ökning av antalet elbilar i garage.

2 Genomförande

Följande delar och arbetsgång har utgjort denna förstudies genomförande.

1. Litteraturstudie.

En litteraturgenomgång har genomförts för att sammanställa den befintliga kunskapen som finns och tidigare studier som har genomförts inom området garageventilation. Huvudfokus i litteraturstudien har varit studier genomförda i Sverige, men några exempelstudier har också inhämtats från internationella källor.

2. Intervjustudie

Intervjuer har genomförts med representanter från fastighetsägare och projektörer med erfarenhet av garageventilation för att skapa en bild av erfarenheter kring garageventilation och hur man arbetar med detta idag.

3. Analys och beräkningar

Grunden till dimensioneringsregler och metodiken för beräkning av luftflödesbehovet i slutna parkeringsgarage har analyserats i detalj. Beräkningar har genomförts för att visa hur val av metodik och olika antaganden om indata kan påverka resultatet.

Olika systemlösningar för garageventilation har granskats för att undersöka vilka systemval som effektivast kan tillgodose det ventilationsbehov som finns i dagens garage. Fördelar och nackdelar med två olika systemlösningar har analyserats mer i detalj och energiberäkningar har genomförts för att bedöma energibesparingspotentialen. För energiberäkningar har ett exempel på ett underjordiskt bostadsgarage simulerats i IDA ICE.

4. Diskussion med referensgruppen

Till förstudien har kopplats en referensgrupp som bistått med erfarenhetsåterföring och konsultation under arbetets gång. Diskussioner har hållits med dem under ett referensgruppsmöte för att diskutera resultatet från förstudien och förslagen för fortsatt arbete.

2.1 Intervjuer

Åtta intervjuer har genomförts med representanter från fastighetsägare och projektörer med erfarenhet av garageventilation. Följande personer har medverkat vid intervjuer:

- Andreas Hassel, Teknisk förvaltare på Platzer
- Christopher Gracin, Ventilationsprojektör på GRC Konsult AB
- Lars Pellmark, Chef energi- och teknksamordning på Skandiafastigheter
- Magnus Svensson, Marcus Karlsson och Simon Hannon, fastighetsförvaltare på Göteborgs stad parkering
- Olof Carlén, Ventilationsprojektör på Assemblin
- Mikael Ydrenius, Filialchef på Ventilationsprojekt i Nyköping AB
- Fabian Karlsson, Ventilationsprojektör INTEC
- Mårten Vallin, Teamledare VVS på Bjerking

De intervjuade representanterna från fastighetsbolagen och projektörer har fått svara på frågor om hur de arbetar med garageventilation idag, vilka systemlösningar och styrningsprinciper som tillämpas idag för garageventilation, vilka systemlösningar de föredrar samt om de har upplevt

problem med fukt i garage. Även behovet för utveckling av nya metoder och riktlinjer för dimensionering, utformning och drift av ventilationssystem för slutna garage behandlades under intervjuerna.

3 Dimensionering av garageventilation

3.1 Grunden till dimensioneringsregler

Med garage avses utrymmen som är avsedda för förvaring av motordrivna fordon, vanligtvis personbilar. Dock ej utställnings- eller lagerlokaler, utrymmen för förvaring av mopeder eller högst tre motorcyklar, lokaler för reparation eller annat underhåll av motorfordon än tvättning och smörjning (1). I ett garage vistas människor endast tillfälligt.

Garagen kan vara slutna, med eller utan uppvärmning, eller öppna alt. delvis öppna. Slutna garage ligger oftast under marken och kräver mekanisk ventilation. Öppna garage har vanligen självdagsventilation.

I ett garage förorenas luften av förbränningsmotorernas avgaser. Fordonen med förbränningsmotorer uppger föroreningar i form av kolmonoxid, kväveoxider, kolväten och partiklar. Avgaserna innehåller också koldioxid, som är en av de vanligaste biprodukterna i förbränningsprocessen från personbilar och andra fordon.

Det är utsläpp av kolmonoxid som anses vara den mest allvarligaste risken för människornas hälsa. Det andra problemet är olje- och bensinångor, som kan orsaka illamående och huvudvärk och även utgöra potentiell brandrisk. Även kväveoxider och sotpartiklar från dieselmotorer medför risker för människors hälsa. Ventilationsflödena som krävs för att späda ut kolmonoxid till acceptabla nivåer anses vanligtvis vara tillräckliga för att kontrollera nivån av andra föroreningar också, förutsatt att andelen dieselfordon inte överstiger 20 % (2).

Även om människor i ett garage vistas endast tillfälligt gäller det att allmänna kraven på luftkvalitet uppfylls. I grunden ska krav på skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö som anges i Plan och Bygglagen (2010:900) 8 kap 4§ punkt 3 i första stycket uppfyllas. Enligt Plan och Byggförordningen ska en byggnad vara projekterad och uppförd så att det inte medför oacceptabla risker för människornas hygien och hälsa, särskilt inte till följd av utsläpp av giftiga gaser och farliga partiklar eller gaser i luften (3). Generellt gäller att koncentrationen av hälsofarliga förbränningsgaser skall kunna hållas på en sådan nivå att hälsorisker inte uppstår. Detta ställer specifika krav på ventilationssystem i slutna parkeringsgarage.

För dimensionering av luftbehandlingssystem i ett garage finns det många viktiga parametrar att ta hänsyn till. Exempelvis vilka avgasutsläpp som kan förväntas från en typisk bil och hur avgassammansättningen ser ut i ett garage. Vidare

behövs information om hur många bilar som är igång under den mest belastade timmen i dygnet och hur länge bilarna är igång i garaget (2). Olika förutsättningar gäller för bostads-, kontors- respektive centrumgarage. För dimensionering av luftflöden behövs också fastställas vad en acceptabel nivå av föroreningar i garage är.

Föroreningar från förbränningsmotorer

Alstring av föroreningar från en bil med förbränningsmotor påverkas av drivmedel för bilen, motoreffekten och motorns skick (underhåll) (4). Även bilens ålder har en betydande roll. Sedan 1989, när lagen om krav på katalysatorer kom, har samtliga nyregistrerade fossildrivna bilar avgasrenande katalysatorer och avgaserna i dagens garage är därmed kontinuerligt minskande i och med en förnyad fordonsflotta.

Utsläpp av avgaser från en bil med förbränningsmotor varierar även vid olika förutsättningar, till exempel vid olika motortemperaturer, körhastighet, temperatur i omgivningen, osv. Körning i ett garage liknar inte körning på en bilväg. Vanligen kör bilar i ett garage på en låg hastighet med låg växel. Bilmotorn är varm när bilen kör in i garaget samtidigt som den kan bli kall när bilen kör ut från garaget. En "kallstart" innebär att bilen startas efter den har stått stilla under en längre period, dvs. 12 timmar eller mer. En "varmstart" innebär att bilen startas efter den har stått stilla för en kortare period, dvs. mindre än 12 timmar. Utsläpp av kolmonoxid från en bil vid en "kallstart" är betydligt högre än vid "varmstart". Även omgivningens temperatur har betydelse, där kallare temperaturer leder till högre utsläpp av kolmonoxid både vid "kallstart" och "varmstart" (2). Exempelvis kan utsläppen vid kallare temperaturer under 0 grader vara ca fem gånger högre än vid varmare temperaturer, vid +24 grader och högre (2,8).

Fördelningen mellan olika drivmedel för bilarna i ett garage bidrar till att avgassammansättningen ser olika ut. Exempelvis har avgaser från dieselmotorer betydligt högre andel kväveoxider än avgaser från bensinmotorer.

Antalet bilar i gång i ett garage

Hur många bilar som är i gång i ett garage beror på vilken typ av anläggning/fastighet som är kopplad till garaget. Exempelvis i kontorsgarage används garaget aktivt under vissa timmar per dygn, så som morgontimmarna eller i slutet av arbetsdagen. Enligt ASHRAE handbok kan antalet bilar som byts ut kontinuerligt i garaget vara mellan 3 % och 5 % av det totala antalet bilplatser i garaget. Samtidigt för sportanläggningar och flygplats kan den siffran uppgå till 15 % till 20 % (2). Inga likvärdiga svenska studier har påträffats inom ramen för litteraturstudien i detta projekt.

Tiden som bilen är i gång i ett garage

Hur länge en bil är i gång i ett garage beror på körsträckan till/från parkeringsplatsen i garaget vilket påverkas av storlek på garaget och planlösningen. Tiden som bilen är igång påverkas också av antalet bilar som kör in/ut från garaget samtidigt, exempelvis om det bildas en kö vid utfart eller infart. Enligt ASHRAE Handbok uppskattas den vanliga tiden för in-och utkörning vara mellan 60 sekunder och 180 sekunder (2). Inga likvärdiga svenska studier har påträffats inom ramen för litteraturstudien i detta projekt.

Gränsvärden för föroreningar från fordon med förbränningsmotorer

Vad som anses vara en acceptabel nivå av de föroreningar som kommer från förbränningsmotorer är ganska avgörande för ventilationsflödets storlek i ett parkeringsgarage. Enligt sammanställningen gjord av den amerikanska VVS-tekniska föreningen ASHRAE tillämpas olika gränsvärden i olika länder (2). Även WHO har tagit fram egna riktvärden för luftkvalitet inomhus (7).

I Sverige specificeras hygieniska gränsvärden för de olika föroreningar som kommer från förbränningsmotorer i Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2018:1 (5) med ändring i AFS 2020:6 (6)). Arbetsmiljöverkets föreskrifter gäller för arbetsmiljöer och hänvisningar görs till underjord- eller tunnelarbete vid redovisning av gränsvärden.

3.2 Dimensioneringsregler som tillämpas idag

Ventilationen i många garage dimensioneras efter de riktvärden som har sitt ursprung från Svensk Byggnorms (SBN) regler SBN75 (1). Utgångspunkten för dessa tidigare krav för dimensionering av erforderligt luftflöde var beräknad alstring av kolmonoxid enligt följande:

$$M = n_1(20 + 0,1 s_1) + 0,1n_2s_2 \quad (\text{ekvation 1})$$

M = kolmonoxidmängd i liter

n_1 = antalet bilplatser i aktuell garagedel

s_1 = genomsnittlig sammanlagd körsträcka i meter i garagedelen vid in- och utkörning av en där uppställd bil

n_2 = antalet bilplatser i andra garagedelar med infarts- eller/och utfartsväg genom aktuell garagedel

s_2 = genomsnittlig sammanlagd körsträcka av en bil som passerar garagedelen på väg till och från annan garagedel, i meter

Alstring av CO beräknad med ekvationen 1 ovan gäller för personbilar i garage med låg risk för köbildning. Där tomgångs- eller krypkörning på grund av köbildning kan beräknas förekomma ska det beräknade värdet enligt ekvationen 1 ovan ökas med 25 liter per bilplats och minut körtidsförlängning.

För att beräkna erforderligt luftflöde användes ekvationerna som visas i tabellen nedan, baserat på Tabell 36:62 i SBN75 (1). I SBN75 står det också att om en automatisk reglering av luftflödet anordnas, med hänsyn till halten av CO, ska fullt flöde (dimensionerande flöde) erhålls om halten av CO överstiger 50 ppm. Vid en sådan reglering ska luftflödet alltid vara minst 25% av det som visas i tabellen nedan, oavsett halten av CO.

Tabell 1. Godtagna luftflöden vid fläktventilation av garage (Tabell 36:62 SBN75)

Antal parkeringar P per bilplats under dygnets mest belastade 8-timmars period	Frånluftsflöde q l/s	Lägsta tillåtna dimensionerande frånluftsflöde l/s m ² garagegolvarea
P = 1	>0,6 M*	0,9
P = 2	> 1,2 M*	1,8
P > 2	> 0,6 M x P	

*Förklaringar till anmärkningar:

M = alstringen av CO i liter enligt ekvation 1

Dessa krav på lägsta dimensionerande frånluftsflöde i l/s m² garagegolvarea som visas i tabellen ovan har senare använts som allmänna råd i Boverkets Byggregler BBR 94:1 (15) i kap 6:232 och har inkluderats i byggregler fram tills BBR11 (16). Enligt *Tabell a* i kap 6:232 i BFS 1993:57 bör frånluftsflödet vid mekanisk ventilation anordnas med en lägsta kapacitet 0,9 l/s per m² golvarea om antal parkeringar per bilplats är mindre eller lika med 1 per 8 timmar. Om antal parkeringar per bilplats är fler än 1 per 8 timmar ska ventilationssystemen ha en kapacitet för minsta frånluftsflödet 1,8 l/s per m² golvarea. Riktlinjer ges även för ventilationsöppningarnas sammanlagda area vid självdragsventilation. De riktlinjer för beräkning av erforderliga luftflöden enligt alstring av CO (se ekvation 1) har inte följt med i Boverkets Byggregler.

Från och med BBR12 har även dessa allmänna råd för lägsta tillåtna dimensionerande frånluftsflöden tagits bort och inga nya rekommenderade luftflöden har tagits fram. De allmänna kraven på ventilationsflöde kvarstår; att ventilationssystem skall utformas för ett lägsta uteluftsflöde motsvarande 0,35 l/s per m² golvarea under brukstid samt att rum skall kunna ha kontinuerlig luftväxling när de används (kap 6:251 i BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4) (17).

Idag finns inga specifika dimensioneringsregler för mekanisk ventilation i garage fastställda av Boverket. Den praxis som råder på branschen idag utgår dock från de tidigare allmänna råden i BBR11 (16). Detta har också bekräftats av intervjuade fastighetsägare och projektörer. För bostads- och kontorsgarage dimensioneras ventilationssystemet vanligen för luftflödet 0,9 l/s per m² golvarea medan ventilationssystemet i centrumgarage vanligen dimensioneras för 1,8 l/s per m² golvarea.

De luftflödena som används idag som branschpraxis tar inte hänsyn till parkeringsgaragetts egenskaper, så som antalet bilplatser och körsträckan till/från

parkeringsplatsen i garaget. De luftflödena tar inte heller hänsyn till de olika parametrar som kan påverka inomhusluftens kvalitet så som alstring av föroreningar från en bil i garagemiljö och gränsvärden som ska tillämpas för de olika föroreningar.

3.3 Gränsvärden för olika föroreningar i garage

Vilka gränsvärden för föroreningar från fordon med förbränningsmotorer som ska tillämpas i garagemiljöer är ganska avgörande för ventilationsflödets storlek i ett slutet parkeringsgarage. Som nämndes tidigare tillämpas olika gränsvärden i olika länder. I Sverige specificeras hygieniska gränsvärden för de olika föroreningarna som kommer från förbränningsmotorer i Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2018:1 (5) med ändring i AFS 2020:6 (6)).

I Arbetsmiljöverkets föreskrifter anges gränsvärden för kolmonoxid (CO), kväveoxid (NO), kvävedioxid (NO₂) och dieselavgaser. Även gränsvärden för koldioxid (CO₂) specificeras. Sammanfattning av de aktuella gränsvärden som specificeras i Arbetsmiljöverkets föreskrifter visas i tabell 2. Gränsvärdena anges som nivågränsvärde eller korttidsgränsvärde. Nivågränsvärdet är hygieniskt gränsvärde för exponering under en arbetsdag, normalt 8 timmar. Nivågränsvärdet är bindande och får inte överskridas. Korttidsgränsvärdet är hygieniskt gränsvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter. Korttidsgränsvärden kan vara vägledande eller bindande vilket betyder att de inte får överskridas. Samtidigt nämns i Arbetsmiljöverkets föreskrifter att gränsvärdet för kolmonoxid är dimensionerande vid exponering för avgaser från bensin- och gasol drivna motorer, medan gränsvärdena för elementärt kol och kvävedioxid får motsvarande funktion för dieselavgaser (AFS 2020:6).

Tabell 2. Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden för kväveoxid, kvävedioxid, kolmonoxid, koldioxid och dieselavgaser.

Ämne	Nivågränsvärde		Korttidsgränsvärde		Anm.*
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Kväveoxid	2	2,5	-	-	
Kvävedioxid	0,5	0,96	1	1,9	
Kolmonoxid	20	23	100	117	1),2)
Koldioxid	5000	9000	10 000	18 000	3)
Dieselavgaser	-	0,05	-	-	4), 5)

*Förklaringar till anmärkningarna:

- 1) Ämnet kan orsaka hörselskada
- 2) - Ämnet är reproduktionsstörande
- 3) - Vägledande korttidsgränsvärde
- 4) - Ämnet är cancerframkallande
- 5) Det är troligt att gränsvärdet för kolmonoxid är dimensionerande vid exponering för avgaser från bensin och gasol drivna motorer, medan gränsvärdena för elementärt kol och kvävedioxid får motsvarande funktion för dieselavgaser. (AFS 2020:6)

Arbetsmiljöverkets föreskrifter är framtagna med syfte att förebygga ohälsa hos arbetstagare till följd av exponering för de ämnen som finns listade i dessa föreskrifter. Det är arbetsgivaren som ansvarar för att dessa föreskrifter följs.

I föreskrifter finns inga direkta hänvisningar att dessa värden ska tillämpas även i garagemiljöer där människor vistas bara tillfälligt och inte för arbete. Hänvisningar görs till underjord- eller tunnelarbete vid redovisning av gränsvärden som visas i Tabell 2.

Genom det faktum att det inte finns andra gällande regler i Sverige avseende acceptabla koncentrationer av föroreningar i garage, har riktvärden i Arbetsmiljöverkets föreskrifter kommit till användning enligt intervjuade fastighetsägare. Dock är det oklart vilket gränsvärde som tillämpas i praktiken, nivågränsvärde eller korttidsgränsvärde. Eftersom ett garage är ett utrymme där människor vistas tillfälligt och det endast tar några minuter att köra in eller ut från ett garage rekommenderar den amerikanska VVS-tekniska föreningen ASHRAE att korttidsgränsvärdet borde tillämpas (2).

Eftersom det saknas tydliga regler för gränsvärden är det också vanligt att andra gränsvärden tillämpas. En granskning av tidigare studier och projektdokumentation från olika garageprojekt visar att gränsvärden för exempelvis kolmonoxidstyrning kan variera mellan 5 ppm och 100 ppm. Tillverkare av givare har satt gränsen för kolmonoxidstyrning på 50 ppm (18), med hänvisning till Svensk Byggnorm SBN80 (19).

Vilket gränsvärde som tillämpas har en stor betydelse för dimensionerande luftflöden i slutet garage. Detta kan inte minst ses när man jämför kraven som gäller i andra länder. Exempelvis enligt den amerikanska standarden 62.1 (20) för acceptabel luftkvalitet inomhus ska slutna garage ventileras med minst 3,8 l/s m², vilket är mer än två gånger högre jämfört med de luftflöden som vanligen används vid dimensionering i Sverige. När man jämför gränsvärden ser man att enligt U.S miljöskyddsverket EPA (Environmental Protection Agency) är maximala hygieniska gränsvärden för kolmonoxid 35 ppm för exponering under en referensperiod av 1 timme och 9 ppm för exponering under 8-timmars period (21). Detta är betydligt lägre jämfört med de gränsvärden som tillämpas i Sverige och som visas i Tabell 2.

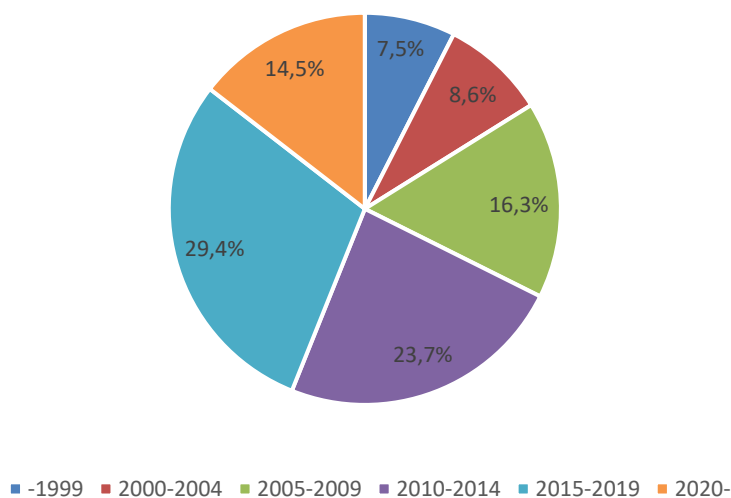
4 Fordonsbestånd idag och i framtiden

För dimensionering av luftflöden behöver det fastställas vilka avgasutsläpp som kan förväntas från en bil med förbränningsmotor i garagemiljön och hur avgassammansättningen i garaget kan se ut. Att fastställa utsläpp av föroreningar, exempelvis utsläpp av kolmonoxid, från en typisk bil är inte så enkelt. Som beskrevs tidigare spelar drivmedel för olika bilar, bilarnas ålder, motoreffekten och motorns skick (underhåll) en stor roll (4). Fördelningen mellan olika drivmedel bidrar till att avgassammansättningen ser olika ut i ett garage. Vidare kan utsläpp från en bil variera under olika förutsättningar, till exempel vid olika motortemperatur, omgivningens temperatur, körhastighet, osv.

De fossildrivna bilarna har blivit mycket bättre och har idag avgasrenande katalysatorer. Samtidigt har andelen elbilar i fordonsbeståndet ökat. Därmed är avgaserna i dagens garage betydligt lägre jämfört med tider när de nuvarande riktvärden togs fram.

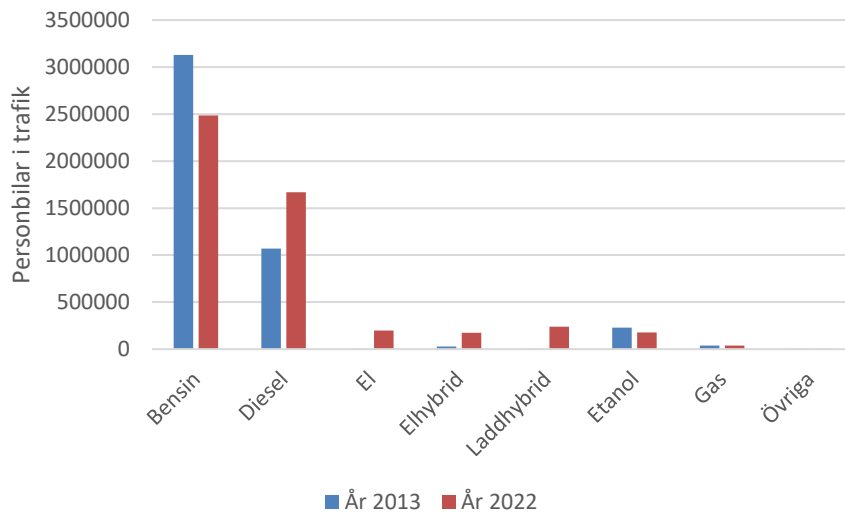
4.1 Drivmedel och avgaser i dagens fordonsbestånd

I slutet av 2022 fanns det 4 980 543 personbilar i trafik i Sverige (10). I Figur 1 visas fördelningen av tillverkningsår bland dessa personbilar. Det framgår att majoriteten (ca 67 %) av personbilarna i trafik är tillverkade efter 2009. Endast 7,5 % är tillverkade före 1999.



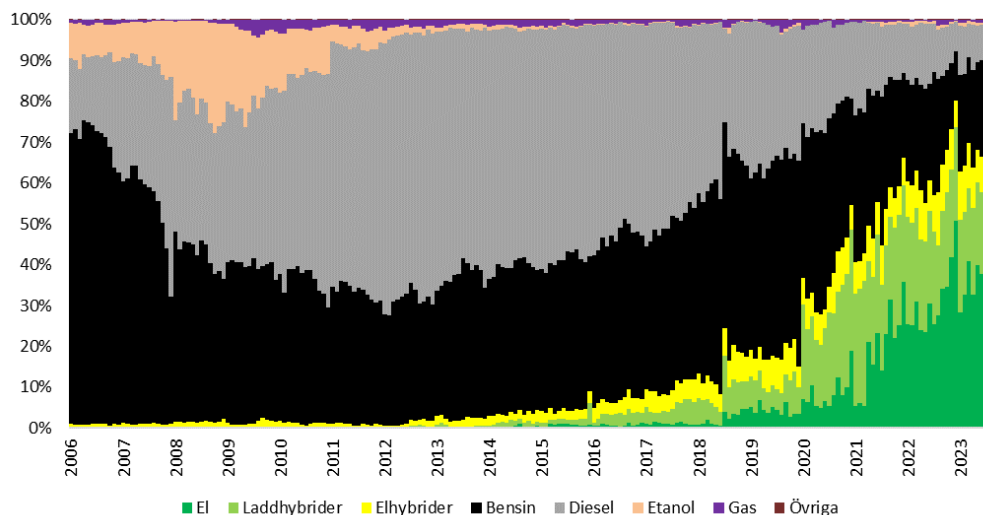
Figur 1 Fördelning av tillverkningsår bland personbilar i trafik vid slutet av år 2022.

I Figur 2 visas antal personbilar i trafik efter drivmedel vid slutet av 2013 respektive slutet av 2022 (10). Det visas att de vanligaste drivmedlen till personbilar både vid slutet av 2013 och 2022 var bensin och diesel. Samtidigt visas att antalet bensinbilar minskat och elbilar har tillkommit. Cirka hälften av personbilar som är i trafik idag har bensinmotorer och cirka en tredjedel av alla personbilar har dieselmotorer. Endast cirka 4 % av alla bilar som är i trafik är elbilar samtidigt som andelen hybridbilar med olika drivmedel är upp till 8 %.



Figur 2 Antal personbilar i trafik efter drivmedel vid slutet av 2013 respektive 2022.

I Figur 3 visas andelen nyregistrerade personbilar per drivmedel sedan 2006. Som kan ses i figuren har andelen dieslbilar och bensinbilar minskat kraftigt under senaste fem åren och antalet elbilar och laddhybrider ökat markant.



Figur 3 Månadsvis nyregistrerade personbilar per drivmedel (11).

1986 infördes den så kallade Bilavgaslagen (1986:1386) (12) som bland annat ställde grundläggande krav för bilars utsläpp. Bilavgaslagen har justerats några gånger sedan dess. Exempelvis infördes 1991 ett system för indelning av bilar i miljöklasser. Syftet var att rangordna bilar utifrån deras utsläpp och därmed skynda på utvecklingen med bättre miljöegenskaper (13).

I Europa finns gemensamma krav på hur mycket nya bilar får släppa ut. Det första gemensamma regelverket kring detta infördes i början av 90-talet och kallades Euro 1. Sedan dess har hårdare krav införts och idag ska nya bilar som registreras uppfylla utsläppsklass Euro 6. I Tabell 3 visas utsläppsstandarder i EU för personbilar med bensinmotorer och i Tabell 4 för personbilar med

dieselmotorer (30, 31) . Som kan ses i tabellerna har exempelvis utsläpp av kolmonoxid mer än halverats sedan indelning av bilar i miljöklasser infördes, både för bensinbilar och dieslbilar. Utsläpp av kväveoxider från bilarna idag med miljöklass Euro 6 är bara en bråkdel av vad det var för Euro 1 bilar.

Tabell 3 Utsläppsstandarder i EU för personbilar med bensinmotorer, g/km.

Bensin	Typ-godkänd	Kolmonoxid (CO)	Kolväten (THC)	Kväveoxider (NOx)	Partiklar (massa)	Partiklar (#/km)
Euro 1	1992	2,72	-	-	-	-
Euro 2	1996	2,20	-	-	-	-
Euro 3	2000	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro 4	2005	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro 5a	2009	1,00	0,10	0,06	0,005	-
Euro 5b	2011	1,00	0,10	0,06	0,0045	6*10 ¹¹
Euro 6	2014	1,00	0,10	0,06	0,0045	6*10 ¹¹
Euro 7 (förslag)	2025	0,50	0,10	0,06	0,0045	6*10 ¹¹

Tabell 4 Utsläppsstandarder i EU för personbilar med dieselmotorer, g/km.

Diesel	Typ-godkänd	Kolmonoxid (CO)	Kolväten och kväveoxider (HC+NOx)	Kväveoxider (NOx)	Partiklar (massa)	Partiklar (#/km)
Euro 1	1992	2,72	0,97	-	0,14	-
Euro 2	1996	1,00	0,70	-	0,08	-
Euro 3	2000	0,66	0,56	0,50	0,05	-
Euro 4	2005	0,50	0,30	0,25	0,025	-
Euro 5a	2009	0,50	0,23	0,18	0,005	-
Euro 5b	2011	0,50	0,23	0,18	0,0045	6*10 ¹¹
Euro 6	2014	0,50	0,17	0,08	0,0045	6*10 ¹¹
Euro 7 (förslag)	2025	0,50	-	0,06	0,0045	6*10 ¹¹

Ett sätt att bedöma hur avgassammansättningen och föroreningshalter kan se ut i typiska garagemiljöer kan vara genom att koppla ihop andel fordon med olika drivmedel som finns i trafiken idag, bilarnas ålder samt vilket utsläpp som kan förväntas från olika bilar enligt utsläppsklasser kan vara. Dock är utmaningen att utsläpp från en bil varierar under olika förutsättningar, till exempel vid olika motortemperatur ("kallstart" eller "varmstart"), omgivningens temperatur, körhastighet, osv. Körning i ett garage liknar inte körning på en bilväg. Vanligen kör bilar i ett garage på en låg hastighet med låg växel. Bilmotorn är varm när bilen kör in i garaget samtidigt som den kan bli kall när bilen kör ut från garaget. Därför är det inte så enkelt att endast utgå från halter redovisade i Tabell 3 och 4 för att bestämma vilka föroreningshalter kan förväntas från bilar i garagemiljöer idag.

Några studier har genomförts kring bilarnas utsläpp vid "kallstart" och vid olika omgivningstemperaturer (9, 28, 29). Dock anses av förstudieförfattarna att mer analysarbete behövs kring detta för att ta fram nya riktvärden för garageventilation.

4.2 Drivmedel och avgaser i framtidens fordonsbestånd

Hänsyn behövs också tas till hur fordonsflottan kommer att utvecklas framöver. Under november 2022 föreslog kommissionen nya Euro 7-krav för att minska utsläppen från nya fordon ytterligare (se tabell 3 och 4) (22). Reglerna i utsläppsklass Euro 7 är tänkta att träda i kraft den 1 juli 2025. För fordon med förbränningsmotorer innebär detta att det kommer finnas bränsle- och teknikneutrala utsläppsgränser att förhålla sig till.

I EU antogs under hösten 2022 en politisk överenskommelse att 2035 måste alla nya personbilar ha noll utsläpp av luftföroreningar. Övergången till elbilar beskrivs få stor betydelse för att minska mängden luftföroreningar. Samtidigt beräknas fordon med förbränningsmotorer finnas kvar i trafiken flera år framöver. Det uppskattas att mer än 20 % av personbilarna och skåpbilarna samt mer än 50 % av tunga fordon kommer att ha förbränningsmotor år 2050 (14).

5 Möjligheter att sänka luftflöden i garage

5.1 Behovet för att sänka luftflöden

Emissioner från bilarna har minskat kraftigt jämfört med den tiden då första riktlinjer för garageventilation publicerades i Svensk Byggnorm SBN75 och som används idag som branschpraxis. Sedan 1989 har de fossildrivna bilarna avgasrenande katalysatorer och införandet av utsläppsstandarder i EU har bidragit till att avgashalterna är betydligt lägre i dagens garage jämfört med tidigare. Dessutom är en ökande andel av parkeringsplatserna ämnade för elbilar. Detta gör att garage ventilation ofta överdimensioneras, vilket leder både till onödigt stora installationer och till slöseri med energi. Risken finns också att ventilationen inte styrs med hänsyn till de föroreningar som utgör det största problemet för människornas hälsa eftersom sammansättningen av avgaserna har ändrats över tid. Även om samhället ska övergå till användning av elbilar kommer det ta lång tid innan bilar med förbränningsmotorer fasas ut.

Garageventilation har hittills studerats endast i begränsad omfattning. Eftersom underlaget är litet har branschen varit försiktig med att ändra sättet att dimensionera och styra ventilationen.

5.2 Resultat från tidigare studier

Några examensarbeten har indikerat att det går att minska luftflödet i parkeringsgarage utan att nå för höga avgashalter och att det finns en betydande potential att spara energi genom att ändra hur ventilationssystem i garage dimensioneras och regleras.

Exempelvis visade Keisu (23) i sitt examensarbete från 2017 att det är möjligt att halvera de dimensionerande luftflödena för centrumgarage utan att avgaskoncentrationerna överstiger rekommenderade gränsvärden, med hänvisning till Arbetsmiljöverkets gränsvärden. För bostadsgarage är det möjligt att sänka flödena med ca 60%. Examensarbetet baseras på mätningar och simuleringar av avgaskoncentrationer i två olika typer av garage: i ett centrumgarage och i ett bostadsgarage. Halter av koldioxid, kolmonoxid och kväveoxider mättes samtidigt som biltrafiken inne i garaget undersöktes. Avgaserna i form av koldioxid och luftbehandlingsystemen simulerades med hjälp av IDA ICE. Utsläppsnivåer som användes i beräkningarna baseras på Transportstyrelsens hållbarhetsrapporter för Euro 5 klassade bilar där testerna genomfördes vid två olika körcyklar, stadskörning och körning vid en högre hastighet. Keisus mätningar visade att koncentrationerna av koldioxid, kolmonoxid och kvävedioxid i båda garagen var låga jämfört med Arbetsmiljöverkets rekommenderade gränsvärden. Utifrån simuleringar i IDA ICE konstaterades att det rekommenderade dimensionerade luftflödet kan sänkas.

I samband med att Keisu studerade de två garagen närmare upptäcktes även problem med driften av dessa. Båda garagen hade FTX system där luftflödena var behovsstyrda utefter temperatur, koldioxid- och kolmonoxidkoncentration. För den undersökta centumparkeringen upptäcktes att de befintliga sensorerna visat felaktiga koncentrationer kväveoxid vilket inneburit ökade luftflöden utan att den verkliga koncentrationen varit för hög. För bostadsgaraget visades styrgränsvärdena av både koldioxid och kolmonoxid varit låga i förhållande till rekommenderade gränsvärden. Börvärdet för koldioxid var exempelvis satt till 450 ppm vilket kan jämföras med koncentrationen av koldioxid i atmosfären som är ungefär 400 ppm. Börvärdet för kolmonoxid var 5 ppm. Detta innebar att systemets egna gränsvärden ofta överskreds och bidrog till ett högre luftflöde även om luftkvaliteten bedömts god enligt arbetsmiljöverkets gränsvärden.

Ett annat exjobb som behandlat garageventilation utfördes av Andersson (24). Där undersöktes om frånluftsflöden kan sänkas i förhållande till tillämpade flödet utan att för höga avgashalter uppnås. I examensarbetet skapades simuleringsmodeller i IDA ICE av två bostadsgarage, ett med FTX-system och det andra med F-system. Avgaserna simulerades i form av koldioxid. Mätningar har även genomförts i de båda garagen för att studera hur bland annat kolmonoxid- och koldioxidkoncentrationen varierar över tid. Resultat från både mätningar och simuleringar beskrivs visa att reducerade flöden kan tillämpas utan att nå för höga avgashalter. Utifrån mätningar och tillhörande analyser bedöms luftflödet i bostadsgarage kunna sänkas till 0,2 l/s,m². Det beskrivs att aggregatet dock bör

kunna forceras till minst $0,6 \text{ l/s, m}^2$ för att kunna ventileras bort momentant höga utsläpp. I examensarbetet görs vidare bedömningen att bostadsgarage som opererar enligt SBN:s tidigare regler om ett lägsta frånluftsflöde på $0,9 \text{ l/s, m}^2$ är överdimensionerade.

Pohjanen (25) undersökte möjligheterna till energibesparing och kostnadsbesparing genom att använda behovsstyrd ventilation i parkeringshus i stället för konstant ventilation. Simuleringar genomfördes i IDA ICE och resultatet visade att fläktens energianvändning minskade med 75 % och uppvärmningsenergin minskade med 72 %.

5.3 Andra aspekter att ta hänsyn till

Fuktproblematiken

Förutom begränsning av halter av luftföroreningar i luften i garagemiljön har luftflödena också en annan påverkan, nämligen hantering av luftfuktigheten i garaget. I garagemiljö kan höjda fukthalter förekomma på grund av inkommande vatten via fordon i form av regn eller snö, men också på grund av förhöjd luftfuktighet i inkommande utomhusluften, speciellt under varma och fuktiga månader. Förhöjda fuktnivåerna i garage kan leda till problem med mikrobiell påväxt på kalla ytor och/eller kondensrisk, exempelvis kondensansamling i taken eller kondens på kalla ventilationskanaler med bristande kondensisolering. Mikrobiell påväxt kan förorsaka avvikande lukt i utrymmen samt estetiska avvikelser och medför saneringskostnader för fastighetsägarna. Kondensproblematik kan leda till att urlakningsprodukter ansamlas i vattendroppar i taket vilka sedan kan förorsaka lackskador på parkerade fordon under. Genom ett kontrollerat klimat kan båda skadefallen undvikas. Det kan alltså finnas skäl att övervaka och reglera luftfuktigheten i parkeringsgarage, något som sällan görs idag.

Hanteringen av inkommande vatten via fordon hanteras primärt, i nya och befintliga garage, enligt två principer: direkt avvattning genom golvbrunnar eller generell ytavdunstning alternativt via avdunstningsrännor. Avdunstningssystem projekteras oftast in på grund av lägre kostnad samt minskad risk vid genomföringar i grundkonstruktionen med avseende på till exempel radon eller vatteninträngning i de fall konstruktionen är under grundvattenytan. Avdunstningssystemen innebär att hela mängden inkommande vatten, i form av regn eller snö, ventileras ut med ordinarie ventilationsaggregat. För system bestående av golvbrunnar förväntas lejonparten avvattning ske genom dagvattensystemet och uttorkning med ventilationen står endast för en mindre mängd.

Med ventilationssystem kan en god uttorkning erhållas under stora delar av året. Dock föreligger risk för förhöjd luftfuktighet och ökad kondensrisk på kalla ytor

under varma och fuktiga månader. En ökad ventilation medför i dessa fall ett ökat fukttillskott och ökad risk till kondens. Som risksänkande åtgärd kan för dessa fall ventilation fokuseras till kvällstid då ånghalten är lägre ute än i garaget alternativt bör behov av avfuktningssystem prövas. Denna typ av åtgärd kräver dock styrsystem som även beaktar fukthalten både i garaget samt i omgivningen i likhet med fukthalts styrd vindsventilation.

Baserat på svaren i föreliggande intervjustudie tydliggörs att projektörer vanligen inte tar hänsyn till fukten vid dimensionering av ventilationssystem. Anledningen uppges vara bristande sakkunskap kring fuktsäkerhet. Av samma anledning kan de vara motsträviga till att sänka luftflöden, för att de är oroliga för fuktproblem vid låga flöden. I en studie från 2022 (32) konstaterades att det var fördelaktigt att sänka rotorhastighet i FTX system med roterande värmeåtervinnare, dvs. minska värmeåtervinning, jämfört med att öka luftflöden för att få bättre uttorkning då fuktåtervinningen minskade med lägre hastighet. Orsaken kan härröras till den fuktåtervinningen som sker vid FTX-system baserat på roterande värmeväxlare tidigare beskrivet av Jenssen 2010 (27). Återfuktningen medför att torkpotentialen via ventilationssystemet är begränsat och medför en reducerad avfuktningstakt eller i värsta fall en fuktakumulering, framför allt i kombination med avdunstningsrännor och hygroskopisk rotor i värmeväxlaren. Hur energieffektivitet kan säkerställas utan att erhålla fuktproblem är en komplex fråga som beror på flertalet faktorer och kräver en parameterstudie som ej inrymts i föreliggande förstudie. Tydligt är dock att luftfuktigheten och hur den och val av avvattningskoppling till styrning av ventilationssystemen bör beaktas under projekteringsfasen för att minska risken för avvikelser under driftsskedet.

Baserat på intervjustudien inom detta projekt delgavs en bild från representerade fastighetsägarna att problemet med förhöjd fukthalt var mer vanligtvis avvattningsproblematik snarare än problem med ventilation. Dock påvisades även att installation av brunnar och direktavvattning är fördelaktigt vid nyproduktion enligt en intervjuad fastighetsägare då detta direkt minskar mängden fukt som annars måste ventileras ut genom ventilationsaggregatet. En annan fastighetsägare nämnde också att det är vanligt att vissa inte vill "hålla på med" oljeavskiljare och liknande. Det framkom även en bild av att det endast vid stora mängder av vatten kan uppstå problem och problematiken finns främst där det är stor omsättning på bilarna. En bild som dock inte är generell då avvikelser i mindre bostadsgarage dokumenterats.

Brandventilation

Brandventilation har inte tagits med i denna förstudie eftersom den i normalfallet inte har med vanliga ventilationen i garage att göra. Dock har frågan kommit upp på intervjuer på grund av ökning av antalet elbilar i garage.

Elbilar i garage anses innebära en större risk än bensin- och dieseldrivna bilar eftersom röken från en batteribrand kan vara farligare för de brandmän som ska göra insatser, jämfört med annan brandrök. Detta kan resultera i att räddningstjänsten väljer att inte gå in och släcka. Flera fastighetsägare funderar på om man behöver bygga om brandventilationen eller om elbilsladdning ska flyttas utomhus. Just nu finns inget regelverk för hur detta ska hanteras och därmed finns behov att se över riktlinjerna för brandventilation samtidigt som behovet för allmän garageventilation bedöms.

I ett exjobb av Gylling och Pettersson (26) har det undersökts om dagens krav för brandgasventilation är tillräckliga för moderna bilbränder, med tanke på att moderna bilbränder består av större mängder brännbara material. Exempelvis har moderna bilar större mängd elektroniska komponenter. Utifrån simuleringar i Fire Dynamics Simulator (FDS) visades att dagens krav för brandgasventilation/slutna garage inte är tillräckliga för att uppnå tillfredsställande arbetsförhållande för räddningstjänst vid garagebrand.

6 Förutsättningar för framtagning av nya riktvärden

Den metodik och de riktvärden som tillämpas idag för dimensionering av ventilationssystem i slutna parkeringsgarage tar inte hänsyn till dagens förutsättningar och inte heller till hur bilflottan förväntas se ut framöver. Nya riktvärden behöver tas fram för dimensionering av garageventilation.

Vilket ventilationsflöde som är tillräckligt för att hålla halten av en förorening i luften i ett slutet utrymme under en viss gränsnivå kan beräknas på ett relativt enkelt sätt. För att ta fram nya riktvärden behöver dock först validerade indata tas fram. Exempel på viktiga indata för bedömning av ventilationsbehovet i ett parkeringsgarage är alstring av föroreningar från en typisk bil i garagemiljö samt den typiska sammansättningen av avgaser från bilar av olika ålder och med olika drivmedel. Vidare behövs information om hur många bilar som är igång samtidigt och hur länge bilarna är igång. Olika förutsättningar gäller för bostads-, kontors- och centrumgarage. Till sist måste man dessutom bestämma vilka gränsnivåer som ska tillämpas. Tidigare har det beskrivits vilka utmaningar som finns med fastställande av dessa data.

Vidare behöver metodiken vara relativt enkel att använda i praktiken, så att beräkningar med avancerade ekvationer och många variabler kan undvikas.

Nedan följer exempel på hur valet av metodik och olika antaganden om indata kan påverka resultatet vid beräkning av luftflödesbehovet.

6.1 Beräkning av koncentrationen av en luftförorening i slutet utrymme

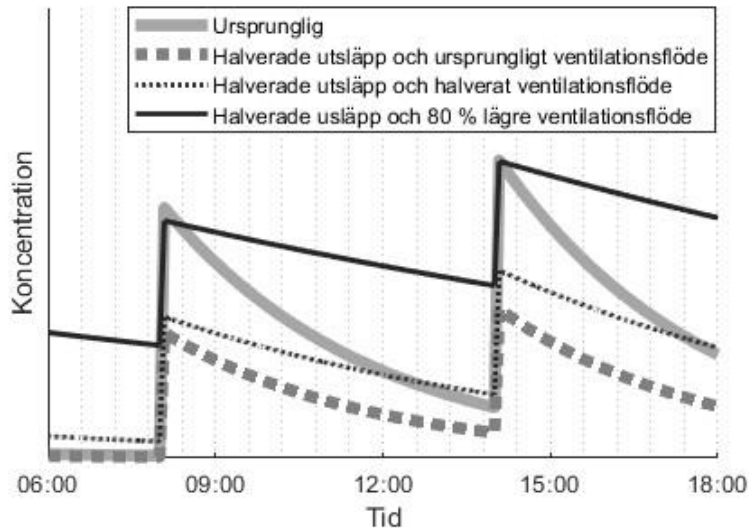
Koncentrationen av en förorening i ett utrymme, c_r [ppm] beror på föroreningens källstyrka, \dot{M} [m³/s], ventilationsflödet, \dot{V} [m³/s], och tilluftens föroreningskoncentration, c_t [ppm], enligt följande ekvation:

$$c_r = c_t + \frac{\dot{M}}{\dot{V}} \quad (\text{ekvation 2})$$

Ekvationen säger bland annat att om tilluften är ren så innebär en halvering av källstyrkan (exempelvis avgasutsläppen) att ventilationsflödet också kan halveras för att erhålla samma koncentration i utrymmet. Om ventilationsflödet inte ändras så erhålls istället en halverad koncentration. Även om ekvationen är en förenklad bild av verkligheten så ger den en grundläggande förståelse för sambandet mellan ventilation, utsläpp och koncentration. Ekvationen förutsätter att luften i utrymmet är fullt omblandad, att koncentrationen inte påverkas av andra faktorer än utsläpp och ventilation samt att både ventilationsflödet och källstyrkan är konstanta. Det sistnämnda, att källstyrkan är konstant, kan normalt inte antas gälla i ett garage och därför måste ekvationen kompletteras med en term som tar hänsyn till tid, se ekvation 3.

$$c_r = c_t + \frac{\dot{M}}{\dot{V}} - \left(c_t + \frac{\dot{M}}{\dot{V}} - c_r(0) \right) \cdot e^{-\frac{\dot{V}}{V}t} \quad (\text{ekvation 3})$$

Koncentrationen av en förorening i ett utrymme beror nu förutom på källstyrkan, ventilationsflödet och tilluftskoncentrationen även på ursprungskoncentrationen, $c_r(0)$ [ppm], utrymmets volym, V [m³], och hur lång tid, t [s], som gått från införandet av källstyrkan (t.ex ett avgasutsläpp). Förutsatt att tilluftskoncentrationen för den specifika föroreningen är noll så innebär fortfarande en halvering av källstyrkan att koncentrationen av en förorening i utrymmet halveras. Om man däremot vill hålla koncentrationen under en viss maxgräns, så räcker det med ett ventilationsflöde som är mindre än hälften än tidigare. Detta illustreras i figuren nedan. Figur 4 visar ett exempel där utsläpp av en förorening i utrymmet sker endast två gånger per dygn, kl. 8:00 och kl. 14:00. Detta medför i det här exemplet att det med halverade utsläpp av en viss förorening räcker med 80 % lägre ventilationsflöde för att få samma maxkoncentration. Det ger dock en betydligt högre genomsnittlig föroreningskoncentration än i ursprungsfallet. Syftet med exemplet är att illustrera samband mellan utsläpp av en förorening, ventilationsflöde, maxkoncentration och medelkoncentration.



Figur 4 Koncentration (t.ex. ppm) av en förorening över tid i ett exempel där utsläpp bara sker vid två tidpunkter. Syftet med exemplet är att illustrera samband mellan utsläpp, ventilationsflöde, maxkoncentration och medelkoncentration.

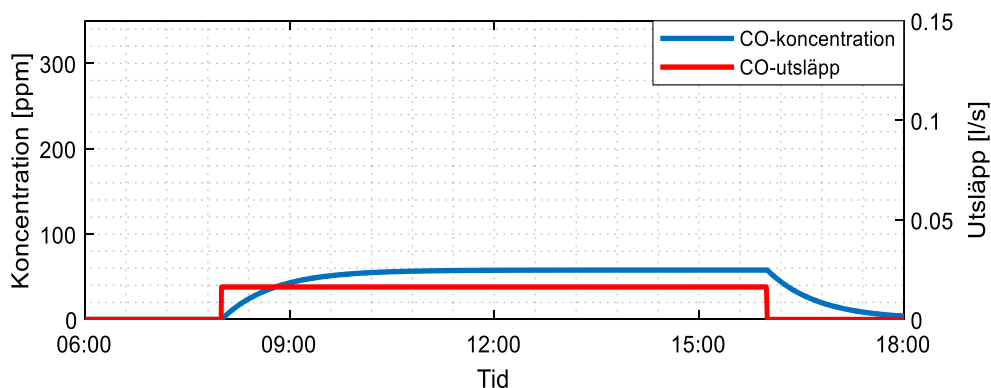
6.2 Olika metoder för fastställning av ventilationsbehovet i garagemiljö

Svensk Byggnorm SBN75

Ett tänkbart sätt att ta fram nya riktlinjer för luftflöde i garage är att med uppdaterade utsläppsvärden (emissioner från bilar) använda metodiken som beskrivs i SBN75 (1) (se ekvation 1 i avsnitt 3.2). Antalet bilplatser, antalet parkeringar per bilplats under dygnets mest belastade 8-timmars period, antagen körsträcka i garaget och alstringen av kolmonoxid från varje bil är viktiga indata för att fastställa ventilationsbehovet enligt SBN75. Den gamla byggnormen säger att kolmonoxidutsläppet från varje parkerande bil är 20 liter plus 0,1 liter per meter körsträcka i garaget. Vidare räknar SBN75 med att det krävs ett ventilationsflöde på 0,6 l/s frisk luft per liter kolmonoxid utsläppt under dygnets mest belastade åttatimmarsperiod (se tabell 1 i avsnitt 3.2). Det innebär att om det under perioden släpps ut 100 liter kolmonoxid så krävs ett kontinuerligt ventilationsflöde på 60 l/s för att hålla kolmonoxidkoncentrationen på en acceptabel nivå.

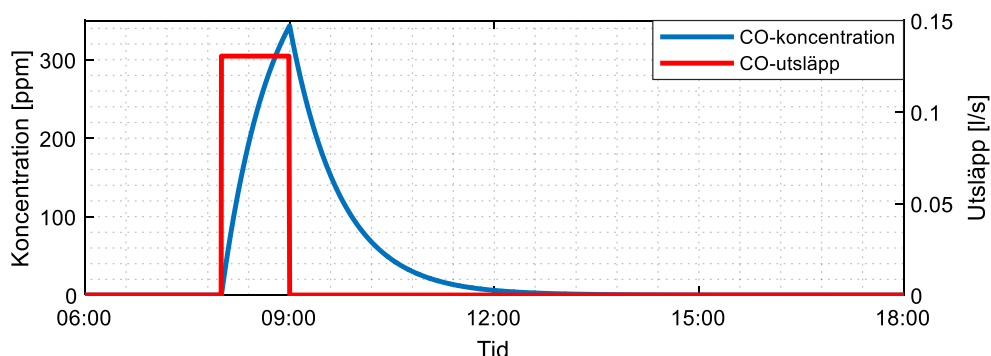
Vad kolmonoxidkoncentrationen i garaget i praktiken blir beror på garagets storlek och hur kolmonoxidutsläppen är fördelade över dygnet. Det scenario som ger lägst tänkbara kolmonoxidkoncentration är att utsläppen är jämnt fördelade över den mest belastade åttatimmarsperioden samt att ingen kolmonoxid släpps ut under resten av dygnets timmar. Då blir koncentrationen av kolmonoxid i garaget långvarigt runt 60 ppm vilket illustreras i Figur 5. Beräkningen baseras på att garagets volym är 750 m³, antal bilplatser är 20, genomsnittlig körsträcka 35

m och att det sker en parkering per bilplats under dygnets mest belastade åttatimmarsperiod.



Figur 5 Exempel på beräknad kolmonoxidkoncentration i ett garage med jämnt fördelat utsläpp under den mest belastade åttatimmarsperioden. Kolmonoxidutsläpp och luftflöde beräknat enligt SBN75 och koncentration beräknad enligt ekvation 3.

Om samma mängd utsläpp istället koncentreras till en av dygnets timmar och samma metodik används, så blir det ingen skillnad i föreskrivet luftflöde enligt SBN75, men beräkningen visar att maxkoncentrationen blir betydligt högre, över nivåer som kan medföra negativa hälsoeffekter, se Figur 6.



Figur 6 Exempel på beräknad kolmonoxidkoncentration i ett garage med utsläpp koncentrerade till en av dygnets timmar. Kolmonoxidutsläpp och luftflöde beräknat enligt SBN75 och koncentration beräknad enligt ekvation 3.

Exemplet ovan visar att i garage där utsläppen inte är någorlunda jämnt fördelade över den mest belastade åttatimmarsperioden kan metodiken enligt SBN75 leda till kraftigt förhöjda kolmonoxidkoncentrationer. Därför bedöms metodiken enligt SBN75 inte vara lämpligt att använda för att ta fram uppdaterade riktlinjer, även med utsläppsnivåer motsvarande moderna bilar.

ASHRAE-metoden

Den amerikanska VVS-föreningen ASHRAE har i sin handbok (2) beskrivit en något annorlunda metod för fastställning av luftflödesbehovet i slutna garage jämfört med metoden enligt Svensk Byggnorm SBN75. "ASHRAE-metoden" är

mer transparent och flexibel i och med att man själv kan välja både mängden utsläpp och i viss mån acceptabel maxkoncentration av kolmonoxid. Indata till beräkningen är antal bilar i rörelse under dygnets mest belastade timme, en genomsnittsbils utsläpp (exempel ges vid kall- och varmstart vid olika omgivningstemperaturer), genomsnittlig tid en bil är igång, acceptabel kolmonoxidkoncentration (15 ppm, 25 ppm eller 35 ppm) och garagets storlek.

“ASHRAE-metoden” tar alltså enbart hänsyn till utsläppen under dygnets mest belastade timme. Utsläpp som sker under dygnets övriga timmar påverkar inte resultatet. Hur dessa olika indata påverkar luftflödesbehovet beräknat enligt “ASHRAE-metoden” illustreras med efterföljande exempel. I följande beräkningar har, precis som i “ASHRAE-metoden”, endast utsläpp under dygnets mest belastade timme, medräknats. Dessutom har antagits att:

- Garaget är 8360 m² med takhöjden 2,75 meter och rymmer 450 bilar.
- Antal bilar som startas under den mest belastade timmen är 40 % av antalet garageplatser.
- Utsläpp utanför den mest belastade timmen har antagits vara noll.
- Inga andra utsläpp än kolmonoxid har tagits hänsyn till.
- Samtliga starter är kallstarter (dvs. motorn har varit avstängd ≥ 12 timmar) och kolmonoxidutsläppen per start är enligt Tabell .
- Redovisat erforderligt luftflöde avser den totala summan av ventilationsflöde och infiltration och bägge är helt fria från kolmonoxid.

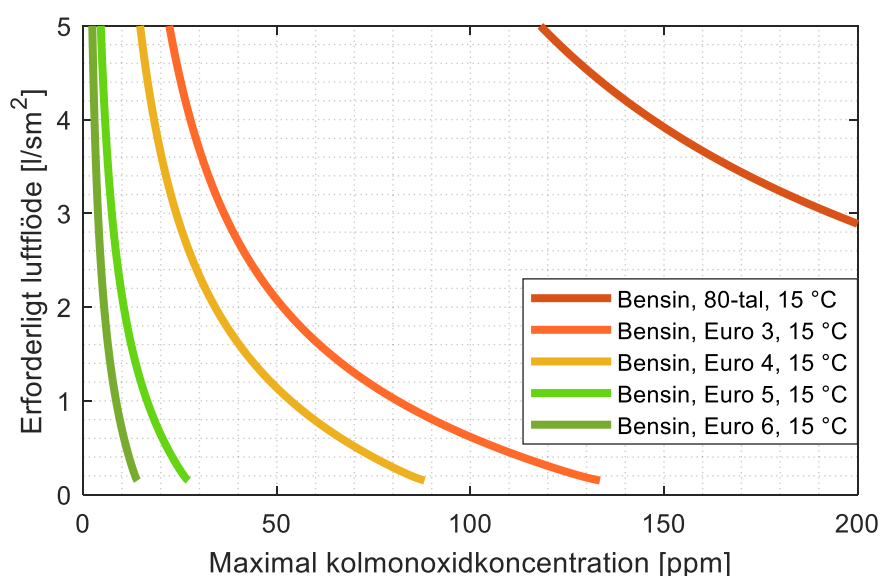
Tabell 5 Utsläppsnivåer som använts i beräkningarna för luftflödesbehovet enligt “ASHRAE-metoden”, fördelat mellan olika drivmedel, miljöklass och omgivningstemperatur. Utsläppsnivåer har hämtats från tidigare studier.

Drivmedel, miljöklass och omgivningstemperatur	CO-utsläpp vid kallstart [g/start]	Källa
Bensin, 80-tal, +15 °C	112,7	Weilenmann et al. (28)
Bensin, Euro 3, +15 °C	21,2	Weilenmann et al. (28)
Bensin, Euro 4, +15 °C	14,0	Weilenmann et al. (28)
Bensin, Euro 5, +15 °C	4,3	Bielaczyc et al. (13)
Bensin, Euro 6, +15 °C	2,21	Suarez-Bertoa & Astorga (29)
Diesel, Euro 4, +15 °C	1,79	Weilenmann et al. (28)
Diesel, Euro 5, +15 °C	1,2	Bielaczyc et al. (13)
Diesel, Euro 6, +15 °C	0,17	Suarez-Bertoa & Astorga (29)
Bensin, Euro 4, -7 °C	34,3	Weilenmann et al. (28)
Bensin, Euro 4, -20 °C	77,1	Weilenmann et al. (28)
Bensin, Euro 4, +23 °C	6,66	Weilenmann et al. (28)

Observera att utsläppsnivåerna i Tabell inte nödvändigtvis är representativa för respektive bilkategori utan bara är exempel på en bil eller ett genomsnitt av ett par bilar tillhörande respektive kategori. Eftersom datan är hämtad från olika studier finns också en överhängande risk att skillnader i mätmetod påverkar

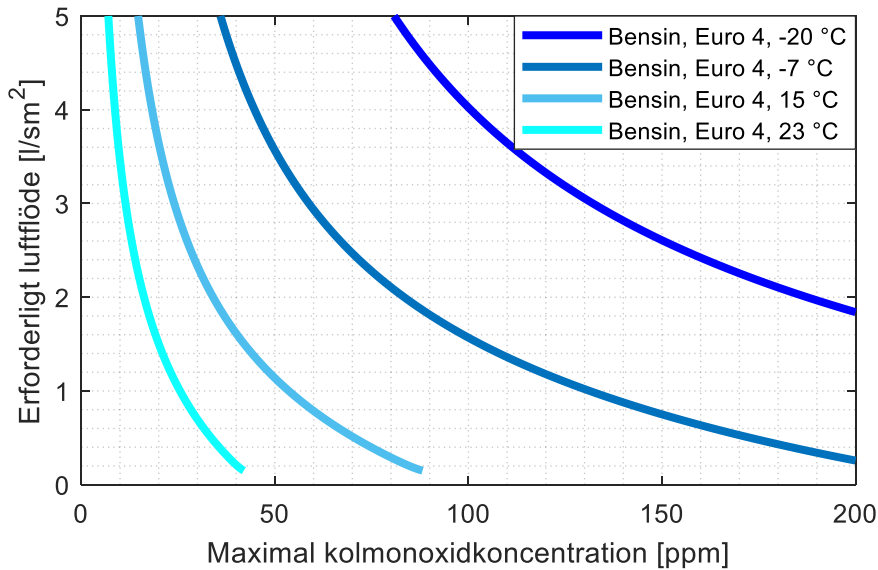
jämförbarheten. Linjär interpolering har använts för att ta fram värden vid en jämförbar och relevant omgivningstemperatur (+15 °C).

I Figur 7 visas erforderligt luftflöde beräknat med "ASHRAE-metoden", som funktion av maximal kolmonoxidkoncentration i garaget för bensindrivna bilar ur olika miljöklasser och vid kallstart vid omgivningstemperatur + 15 °C. Exempelberäkningen visar en tydlig skillnad mellan "80-talsbilarna" och nyare bilmodeller, med miljöklass Euro 3 eller högre. Resultatet för "80-talsbilarna" går till stor del utanför grafen, maxkoncentrationen för kolmonoxid för "80-talsbilarna" är 300 ppm vid 1,8 l/s m² och 450 ppm vid 0,9 l/s m². Med nyare bilmodeller, exempelvis bilar ur miljöklass Euro 5 eller högre (typgodkänd 2009 eller senare), kan kolmonoxidkoncentrationen exempelvis hållas under 35 ppm med luftflöden som ligger så lågt som runt 0,2 l/s m².



Figur 7 Erforderligt luftflöde som funktion av kolmonoxidkoncentration i ett exempelgarage för bensinbilar av olika miljöklass. Diagrammet visar exempel på luftflödesbehovet om alla bilar i garaget är ur samma miljöklass. Antaget utsläpp av kolmonoxid gäller för kallstart och vid omgivningstemperatur +15 °C.

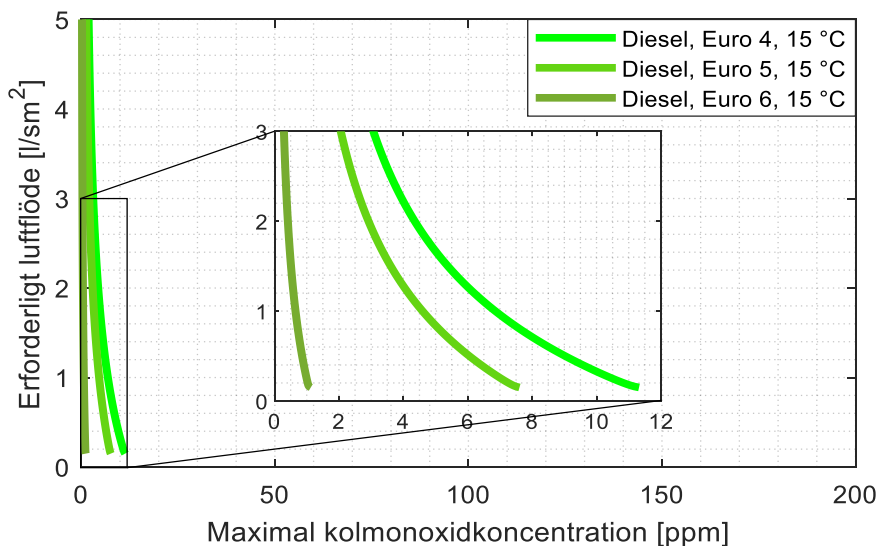
Omgivningstemperaturen har stor betydelse för hur mycket kolmonoxid en kallstartad bil släpper ut. I Figur 7 antogs alla bilar ha en omgivningstemperatur på +15 °C. I Figur 8 visas hur omgivningstemperaturen påverkar resultatet för en bensinbil ur miljöklass Euro 4, som gäller för bilar med typgodkännande år 2005.



Figur 8 Erforderligt luftflöde som funktion av kolmonoxidkoncentration i ett exempelgarage för bensinbilar ur miljöklass Euro 4 (typgodkännande 2005) vid olika omgivningstemperaturer. Antagen utsläpp av kolmonoxid gäller för kallstart.

Figuren kan användas för att få en uppfattning om hur mycket temperaturen i garaget påverkar kolmonoxidkoncentrationen. Kolmonoxidutsläpp är betydligt högre vid lägre omgivningstemperaturer och därmed behövs betydligt högre luftflöden för att hålla kolmonoxidkoncentrationen på önskad nivå i ett garage.

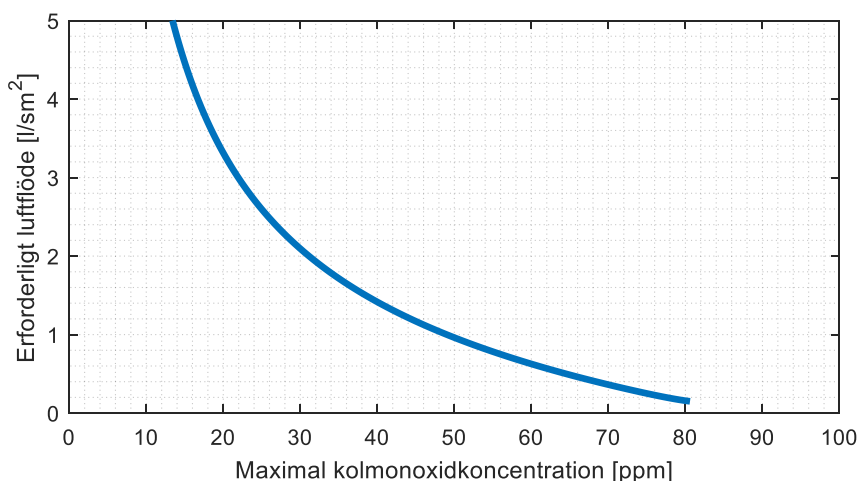
En kallstartad diesebil släpper generellt ut avsevärt mycket mindre kolmonoxid än en kallstartad bensinbil. Motsvarande diagram för dieselmotorer ur tre olika miljöklasser visas i Figur 9.



Figur 9 Erforderligt luftflöde som funktion av kolmonoxidkoncentration i ett exempelgarage för dieselmotorer av olika miljöklass. Diagrammet visar exempel på luftflödesbehovet om alla bilar i garaget är ur samma miljöklass. Antaget utsläpp av kolmonoxid gäller för kallstart och vid omgivningstemperatur +15 °C.

Som kan ses i figuren är den maximala kolmonoxidkoncentrationen i garaget under 12 ppm även vid väldigt låga luftflöden, runt 0,2 l/s m². Jämfört med bensinbilar släpper dieslbilar ut väldigt lite kolmonoxid. Här måste dock nämnas att dieslbilar släpper ut andra föroreningar vilket gör kolmonoxid till en olämplig indikator för luftkvaliteten i garage där en stor andel (över 20 % enligt ASHRAE (2)) av de utsläppsgenererande bilarna är dieslbilar.

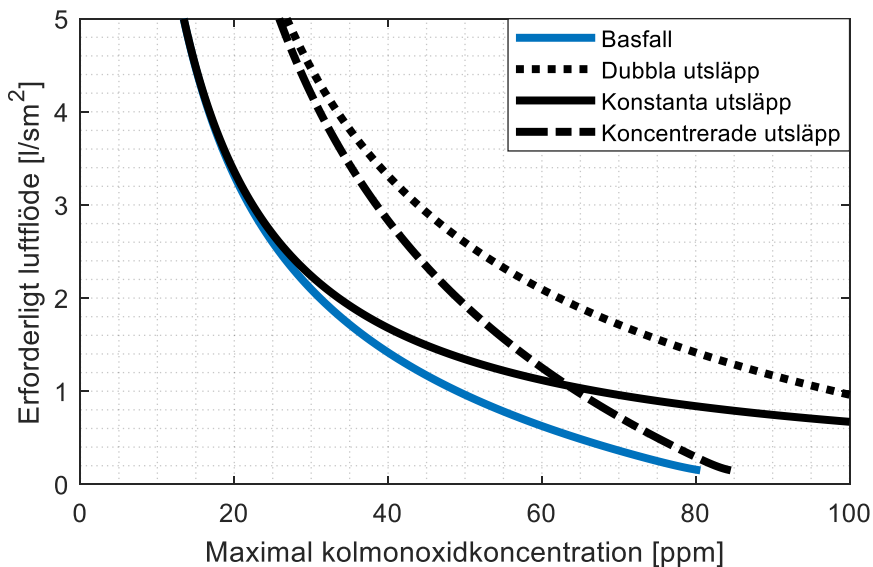
Med antaganden om åldersfördelningen i den svenska personbilsflottan, (som illustrerades i Figur 1 i avsnitt 4.1), drivmedel per tillverkningsår (se Figur 3), utsläppsstandardernas giltighetstid (se Tabell 3 och Tabell 4) och kolmonoxidutsläpp för olika bilkategorier och miljöklasser enligt Tabell 5 så kan man göra en grov uppskattning av den typiska sammansättningen av kolmonoxidhalten i garagemiljön där det finns bilar av olika ålder och med olika drivmedel. Sambandet mellan maximal kolmonoxidkoncentration och erforderligt luftflöde för en så kallad "svensk genomsnittsbil" i ett garage med en temperatur på +15 °C visas i Figur 10. Som kan ses från figuren, för att hålla kolmonoxidkoncentrationen under 50 ppm behövs luftflöde 1,0 l/s m² per golvarea. För kolmonoxidkoncentration max 35 ppm, så som rekommenderas i USA att luftflöde på ca 1,7 l/s m² per golvarea behövs. För att hålla kolmonoxidkoncentrationen närmare till 100 ppm, så som Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden visar, behövs betydligt lägre luftflöde, runt 0,1 l/s m² per golvarea.



Figur 10 Erforderligt luftflöde som funktion av kolmonoxidkoncentration i ett exempelgarage för en så kallad "svensk genomsnittsbil", där utsläppen motsvarar typiska sammansättningen av kolmonoxidhalten i garagemiljön där det finns bilar av olika ålder, med olika drivmedel och fördelningen baseras på hur bilflottan i Sverige ser ut idag. Antagen utsläpp av kolmonoxid gäller för kallstart och vid omgivningstemperatur +15 °C.

Kurvan i Figur 10 bygger på ett stort antal antaganden av varierande validitet. I Figur 11 visas därför resultatet av en känslighetsanalys. Känslighetsanalysen visar hur resultatet hade blivit med "Dubbla utsläpp" vilket exempelvis motsvarar ett fall där fler bilar av sämre miljöklass startar i garaget. Kurvan "Konstanta utsläpp" visar ett fall där dygnets samtliga timmar är lika hårt belastade som den mest

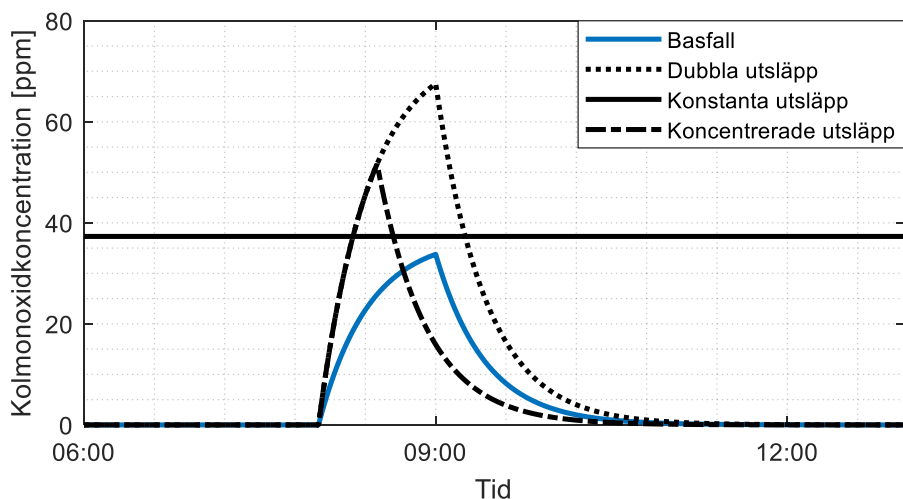
belastade timmen. Jämfört med i basfallet där utsläppen under övriga timmar antas vara noll. "Koncentrerade utsläpp" visar ett fall där samtliga utsläpp under den mest belastade timmen sker under en och samma halvtimme. Jämfört med basfallet där utsläppen antas vara jämnt fördelade över timmen.



Figur 11 Känslighetsanalys för beräkning av erforderligt luftflöde som funktion av kolmonoxidkoncentration i ett exempelgarage för en så kallad "svensk genomsnittsbil", där utsläppen motsvarar typiska sammansättningen av kolmonoxidhalten i garagemiljön där det finns bilar av olika ålder och med olika drivmedel, baserat på hur bilflottan i Sverige ser ut idag. Antagen utsläpp av kolmonoxid gäller för kallstart och vid omgivningstemperatur +15 °C.

Resultatet visar att "Dubbla utsläpp" resulterar till luftflödesbehovet 2,6 l/s m² golvarea, vid max kolmonoxidkoncentration 50 ppm. När samtliga utsläpp sker under en och samma halvtimme behövs två gånger så mycket luft för att hålla maximal kolmonoxidkoncentration på 50 ppm jämfört med basfallet där utsläppen antas vara jämnt fördelade över timmen.

För att ge en förståelse för varför kurvorna i Figur 11 ser ut som de gör visas i Figur 12 hur kolmonoxidkoncentrationen ändras över tid i de fyra simulerade fallen, under förutsättning att garaget ventileras med 1,8 l/s m² golvarea.



Figur 12 Känslighetsanalys, kolmonoxidkoncentration över tid för de fyra olika fallen, vid ett luftflöde på 1,8 l/s,m². Antagen utsläpp av kolmonoxid gäller för kallstart och vid omgivningstemperatur +15 °C.

För dimensionering av ventilationssystem i slutna garage är det viktigt att bestämma vilket säkerhetsmarginal man ska ha vid dimensioneringen. Ovan visade exempel baseras på ett antal antaganden som kan variera från verkligheten, exempelvis om antal bilar som startas under den mest belastade timmen är mer än 40 % av antalet garageplatser eller om andelen äldre bilar är större än vad som har antagits i ett exempelgarage för en så kallad "svensk genomsnittsbil". Även om människor i ett garage endast vistas tillfälligt gäller det att allmänna kraven på luftkvalitet uppfylls och att vistelse i garaget under de mer ovanliga förhållandena inte ska medföra oacceptabla risker för människornas hygien och hälsa. Därför är det viktigt att ta fram validerad indata om hur olika typer av garage används och hur aktiviteten ser ut under den mest belastade timmen.

Några sammanfattande slutsatser från exemplen ovan är:

- Den stora källan till kolmonoxidutsläpp är kallstartade bensinbilar (dvs. innan katalysatorn blivit varm). Dieslbilar släpper ut betydligt mindre kolmonoxid.
- Om mer än 20 % av de utsläppsgenererande bilarna är dieslbilar så är kolmonoxid en olämplig indikator för ventilationsbehovet. Fortsatt utredning bör närmare undersöka dieselavgaser.
- Temperaturen i garaget har stor påverkan på kolmonoxidutsläppen, utsläppen är lägre vid högre temperatur. Höjd temperatur kan därmed vara ett komplement till ökad ventilation.
- Det finns en mycket stor variation i bilars kolmonoxidutsläpp, även mellan bilar inom en och samma miljöklass.

- Att, som i SBN75, bestämma ventilationsflödet baserat på de totala utsläppen över en 8-timmarsperiod medför mycket hög kolmonoxidkoncentration i fall där utsläppen är koncentrerade till en kortare tid.

7 Systemval för garageventilation

För att få en bild av dagens system för ventilation av parkeringsgarage har en handfull fastighetsägare samt ventilationsprojektörer intervjuats.

Så kallad frånluftsventilation (F-ventilation) är enligt intervjuade fastighetsägare vanligt i befintligt bestånd, speciellt i befintliga bostadsgarage. Då sugs frånluft ut med mekanisk fläkt och tilluft tas in via uteluftsdon. I befintliga lokalbyggnader och generellt i nyproduktion används oftast FTX-ventilation, där ett luftbehandlingsaggregat ventilerar garaget med separata tillufts- och frånluftsfläktar och luftströmmarna möts i en värmeväxlare för att återvinna energi.

Enligt projektörer är värmeväxlare av typ roterande vanligast i nyprojekterade garage. Anledningen till att FTX-system föreskrivs är primärt ur energibesparingsperspektiv. I ett FTX-aggregat finns också ett eftervärmningsbatteri för att säkerställa en given tilluftstemperatur. Detta kan vara den enda källan för att aktivt tillföra värme eller så finns även annan värmekälla i garaget. Temperaturen i garage med FTX hålls till minst +10 °C för att värmeåtervinning ska fungera.

I garage med F-ventilation är det vanligast att värme tillförs endast inne i garageutrymmet. Endast i få fall behöver tilluften värmas direkt, då särskilt vid kallare breddgrader. Det förekommer också att garage inte uppvärms, d.v.s. så kallat kallgarage. Alternativt uppvärms garageytan med fläktluftvärmare där systemen dimensioneras för +10 grader, men vanligtvis hålls +5 grader inne i garaget för att hålla det frostfritt.

Överluft godtas enligt gamla standarden SBN 80 som tilluft till garage förutsatt att överluften inte tas från utrymmen där obehaglig lukt kan förekomma. Ett exempel på överluft till garage som nämnts av intervjuade projektörer är att frånluft från lägenheter tas som tilluft i garage innan det passerar värmeväxlare i ventilationsaggregat. Även överluft från förråd i källarplan har projekterats. Vid överluft från lokalutrymmen kan ett extra aggregat behövas som täcker upp när lokalventilationen ej är i drift. Vid projekterad överluft bör risk för fuktillskott beaktas. Risk föreligger primärt då luft tas från till exempel lägenheter eller utrymmen med fuktalstrande verksamhet.

Ventilationsflödet i garaget kan vara konstant (CAV) eller variabelt (VAV). Vid VAV sänks luftflödena till minimum när behovet är lågt och ökas succesivt till maximum när föroreningar i luften överskrider ett givet gränsvärde.

Energimässigt har ventilation med variabelt luftflöde stor potential att minska energianvändningen då dimensionerande luftflöde kan vara långt över det genomsnittliga behovet av luftombyte. Bra energiprestanda är viktigt och särskilt när garaget finns inom en byggnad. Garagets area räknas då *inte* som en del av byggnadens tempererade area A_{temp} enligt definition i BBR och energi som behöver tillföras garaget belastar därför alltid byggnadens energiprestanda negativt.

Enligt intervjuade fastighetsägare och projektörer är det vanligt att luftflödena i garage styrs efter kolmonoxid, men även styrning efter kväveoxid (NO_2) och koldioxid förekommer. Som tidigare beskrivits i denna rapport består en betydande del av fordonsflottan idag av dieslbilar och CO-givare bör därför kompletteras av NO_2 -givare.

Då det saknas tydliga regler för gränsvärden för olika avgashalter i garagemiljö är det vanligt att gränsvärden bestäms först vid driftsättningen efter tillverkarens rekommendation, till exempel start av forcering vid 50 ppm kolmonoxid. Det är oklart hur ofta hygieniska gränsvärden i Arbetsmiljöverkets föreskrift (AFS 2018:1 med ändring i AFS 2020:6) används som underlag för styrning av flöden även om detta nämndes av några intervjuade fastighetsägare.

Forcering kan antingen ge maxflöde direkt eller stegvis ökande där maxflöde uppnås vid ett övre gränsvärde. Med givare placerade i garageutrymmet, med lagom mätpunktskoncentration, fås bättre kontroll på luftkvalité lokalt jämfört med om givare placeras i frånlufts kanal. För ett garage med flera våningsplan eller flera olika zoner borde separat zonstyrning tillämpas för att tillgodose god luftkvalité.

7.1 Förbättringspotential i projektering av garageventilation

Under intervjuerna med ventilationsprojektörer lyftes fördelar och nackdelar med dagens projektering av garageventilation. Fördelar är att systemet blir väl tilltaget i dimensionering vilket gör det lätt att få fram projekterade luftflöden vid injustering och SFP (specifik fläkteffekt) i drift blir lågt. Vissa projektörer lyfter upp nackdelar med överdimensionering samt problem med fukt när FTX-system används. Problem med fukt kopplat till FTX-system och användande av avdunstningsrännor har tagits upp tidigare i rapporten.

Det saknas idag tydliga riktlinjer för hur luftflöden i garage ska dimensioneras, som beskrivits i tidigare kapitel i denna rapport. Intervjuade projektörer efterfrågar tydligare regler för dimensionering. De intervjuade projektörerna projekterar främst garage till bostäder och då dimensioneras systemet för att

klara ett flöde om 0,9 l/s per m² golvarea, åtminstone på yta för parkeringsplatser och körbana, resterande delar 0,35 l/s per m² golvarea.

Vid projektering av garage till lokaler görs behovsanpassad dimensionering. Grundflödet som projekteras i garage varierar men är lägst 0,35 l/s per m² golvarea och utan tidsstyrning. När det gäller dimensionerande flöde nämnde de flesta intervjuade projektörer att 0,9 l/s per m² golvarea troligen är mer än vad som behövs i bostadsgarage. En projektör lyfte att det egentligen inte finns något lagligt hinder att ha lägre flöde än 0,35 l/s per m² golvarea. Man skulle kunna ha lägre grundflöde om man kan verifiera tillräckligt god luftkvalité ute i garaget genom mätning, men det är svårt att frånga praxis. För att sänka medelluftflöde så mycket som möjligt skulle till och med avstängd ventilation vid frånvaro vara möjligt. Det kräver dock genomtänkta lösningar för att kunna säkerställa god luftkvalité vid alla tänkbara scenarion. Även andra parametrar såsom fukt och radon behöver beaktas om luftomsättningen blir låg över tid.

För att minska investeringskostnad för ventilationssystem lyftes under en intervju också möjligheten att dimensionera systemet avseende SFP vid ett lägre flöde än dimensionerande flöde, för att klara BBR:s allmänna råd för Effektiv elanvändning 9.6 (17). Loggning av ventilationsaggregat i bostadsgarage med variabel ventilation visar att aggregaten sällan forcerar (gränsvärdena överskrids sällan eller aldrig) och det finns därför argument för att SFPv kan tillåtas vara högre vid dimensionerande luftflöde. Exempelvis att FTX-system dimensioneras för SFPv 1,5 vid flöde 0,5 istället för 0,9 l/s per m² golvarea.

7.1.1 Systemlösning utan värmeåtervinning (F-ventilation)

Frånluftsventilation är en betydligt enklare och billigare ventilationsteknik än FTX-system. Jämfört med FTX-system behövs inget aggregat med värmeväxlare och behovet av tilluftskanaler blir mindre eller behövs ej alls. Nackdelen är att värmen i frånluften inte återvinns utan lämnar byggnaden.

Frånluftsventilationen har ändå potential att vara en energismart lösning av tre skäl. Elanvändningen blir mycket lägre då endast en fläkt behövs per system i stället för två och man behöver inte övervinna tryckfall över värmeväxlare, filter och tilluftskanaler. Temperaturen i garaget kan också hållas lägre, exempelvis vid +5 °C, till skillnad från garage med FTX-system behöver garage med frånluft kanske endast hållas frostfritt. Om garaget är under mark kommer markvärme bidra till att hålla garaget frostfritt. Dock ska det tas hänsyn till att en sänkt temperatur riskerar att öka avgasutsläpp från bilarna, som diskuterades i tidigare kapitlen. Lägre temperatur ökar också risken för ytkondensation om luftfuktigheten inte beaktas, samt ger en sämre uttorkningspotential för avvattningssystem baserat på avdunstning. Risken för mikrobiell påväxt minskar dock generellt vid lägre temperatur.

7.1.2 Systemlösning med värmeåtervinning (FTX-ventilation)

Det vanligaste systemet för garageventilation vid nyprojektering är enligt intervjupersonerna FTX-ventilation med roterande värmeväxlare. FTX-systemet innebär mycket högre investeringskostnad jämfört med F-system, på grund av ventilationsaggregatet med värmeåtervinning och tilluftskanaler. Systemet tar samtidigt utrymme som hade kunnat användas till garageplatser eller till exempel förråd. Förhoppningen är att FTX-systemet ska innebära lägre driftkostnad avseende energi. Det kan också vara en fördel att inneklimatet i garage vid FTX till större del liknar inneklimatet i omkringliggande byggnad och därmed minskas behovet av att isolera garage från omkringliggande byggnad. För att värmeåtervinning ska fungera brukar garagetemperatur projekteras till minst +10 °C.

Det kan vara svårt att göra korrekta beräkningar av energiåtgång vid projektering av garage under mark med anslutande uppvärmd byggnad. Temperaturen i garaget beror på marktemperatur, värmetillskott från anslutande byggnad samt styrning på ventilation och värmeåtervinning. Genom en energiberäkning, där man inte tar hänsyn till risk för påfrysning i aggregatet och minskad värmeåtervinning vid avfrostningscykler, ges att i vissa fall behövs inget värmetillskott i garaget över huvud taget. Erfarenhet från NCC:s interna energiuppföljning visar dock att värmetillskottet kan vara betydande på grund av låg värmeåtervinning. Detta på grund av att värmeväxlaren i ventilationsaggregatet får mycket isbildning och att aggregatet då styr mot minskad värmeåtervinning för att avfrostas värmeväxlaren med frånluft.

Förutom att det är svårt att ta hänsyn till avfrostningsbehov spelar också temperaturregleringen in. FTX-aggregat har oftast ett fast börvärde för lägsta tilluftstemperatur där värmeväxlare och eftervärmningsbatteri styrs i sekvens. Tillräckligt hög tilluftstemperatur uppnås i första hand genom värmeåtervinning och i andra hand med eftervärmningsbatteri. Valet av tilluftstemperatur påverkar då alltså både värmeåtervinning och eftervärmning. En lägre tilluftstemperatur innebär att mindre energi för eftervärmning används. Men en lägre tilluftstemperatur innebär också, vid denna sekvensstyrning, att värmeåtervinningen blir mindre jämfört med den fulla potentialen som finns att ta vara av den energin som finns i rumsluften.

En erfarenhet från NCC är också att ett garage med FTX-system är ofta varmare än projekterat. Den främsta orsaken är antagligen värmetillskott från omkringliggande uppvärmda utrymmen över eller vid sidan om garaget, som inte hade tagits tillräcklig hänsyn till vid projekteringen. Bilar som kör i garaget kan också bidra med värme. Det kan också tillföras värme i eftervärmningsbatteri för att hålla en viss tilluftstemperatur, oavsett temperatur i garaget. Enligt intervjuade projektörer kan tilluftstemperaturen till exempel vara satt 3 °C över

projekterad innetemperatur i garaget. Genom att separera reglering för värmeåtervinning och eftervärmning skulle energianvändningen för garage kunna optimeras. Börvärdet för värmeåtervinning sätts då högt och börvärde för eftervärmning lågt. Eftervärmning kan dock också behöva vara behovsstyrt med avseende på garagetemperatur.

Hög värmeåtervinning hela året kan leda till att problem med luftfuktighet i garaget ökar, kopplat till fuktöverföring i roterande värmeväxlare. Med plattvärmeväxlare erhålls ingen fuktöverföring men projekteras sällan på grund av ännu större problem med igenfrysning än roterande värmeväxlare.

7.1.3 System med överluft

Som nämnts tidigare i kapitlet är det möjligt att använda frånluft från en annan del av byggnaden som tilluft i garaget. Energianvändning och investeringskostnader skulle då kunna minska. Garaget behöver då inte ha eget ventilationsaggregat, friskluft- och avluftskanaler med mera. Extra styrfunktioner och spjäll tillkommer antagligen. Elanvändning till fläktar skulle kunna minska när färre tryckfallsgenererande kanaler och aggregat finns. Värmeanvändning skulle kunna minska när luft återanvänds i stället för att tillföra ny uteluft.

Det är dock viktigt att ta hänsyn till energibalansen för hela byggnaden. När varm överluft tas från uppvärmda ytor kommer garaget antagligen få högre temperatur än nödvändigt vilket leder till ökade transmissionsförluster. Vid FTX-ventilation kan lägre temperatur på frånluft till värmeväxlare ge ökad igenfrysning och därmed ökad energikrävande avfrostning. Att använda avluft från andra delar av byggnadens FTX-system, som redan är värmeåtervunnen men som ändå är varmare än uteluften på grund av aggregatens begränsning i verkningsgrad samt minskad värmeåtervinning på grund av avfrostning, är också något som kan utredas.

Noggranna analyser behövs för att säga att en lösning med överluft verkligen blir energibesparande för byggnaden som helhet. I samtliga fall med överluft till garage behöver luftfuktighet beaktas. Man behöver även ta hänsyn till eventuell besvärande lukt och säkerställa att luftkvaliteten är tillräckligt god.

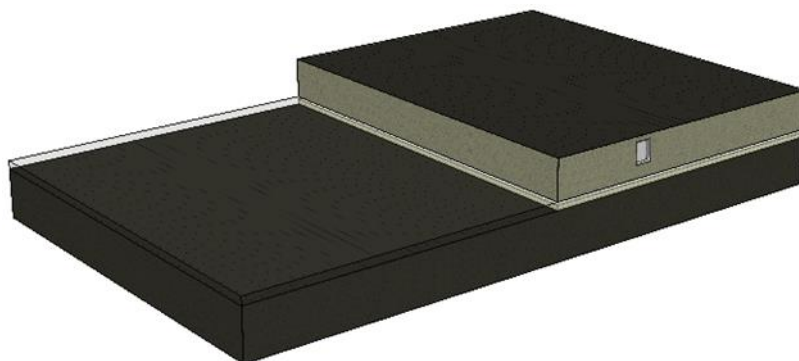
7.2 Energiberäkningar för underjordiskt garage

Energianvändningen för en garagebyggnad beror på många parametrar. Då energianvändning ska beräknas för en byggnad tas vanligen hänsyn till transmissionsförluster, ventilationsförluster samt värmelaster såsom solvärme, internvärme och värmelagring. För ett garage som ligger helt eller delvis under marknivå blir transmissionsöverföringar i klimatskalet i mycket högre grad beroende av marktemperatur i stället för uteluft som är fallet för en vanlig byggnad. Dessutom kan garaget ansluta till en byggnad som är mer uppvärmd än garaget självt och får då ett värmeutbyte med den uppvärmda byggnaden. Att

rakt av jämföra energiåtgång för olika ventilationsflöden eller olika värmeåtervinning av ventilationsluft blir därför inte rättvisande för ett sådant garage samt dess eventuellt anslutande byggnad.

Detta avsnitt innehåller en förenklad jämförelse av energianvändning i ett underjordiskt garage med antingen FTX-ventilation eller frånluftsventilation (F-ventilation) genom simuleringar i IDA ICE (v4.8). Dessa beräkningar är viktiga för att kunna svara på hur mycket luftflödet påverkar energianvändningen. Det ger också information om i vilka fall det är en energimässig fördel med FTX-respektive F-ventilation. Energinvändningen beror inte på dimensionerande flöde vid variabel ventilation utan resulterande medelluftflöde. I ett underavsnitt presenteras energiåtgång vid olika medelluftflöde.

Simuleringarna har utförts på ett tänkt underjordiskt garage under ett bostadshus för ett normalår. Garagets golv och väggar får anslutning mot mark medan taket varieras att ansluta mot luft, uppvärmd byggnad eller både och. I Figur 13 nedan syns fallet med både och, vilket skulle kunna representera ett garage som ligger delvis under ett bostadshus och delvis under en innergård. I verkligheten kan även garagets väggar ansluta mot uppvärmd byggnad men för att förenkla beräkningar används här endast byggnad ovanför och inte vid sidan.



Figur 13 IDA ICE-modell för underjordiskt garage med 50 % överbyggnad.

- Indata garage:
 - Yta: 1000m²
 - Plats: Stockholm Bromma
 - Höjd: 3m
 - Konstruktioner vägg: 250mm betong samt 100mm isolering
 - Konstruktion tak mot uteluft: 250mm betong samt 100mm isolering
 - Bjälklag mot överbyggnad: 250mm betong samt 100mm isolering
 - Temperatur överbyggnad: 21 °C
 - Ventilationsflöde: konstant flöde 0,35 l/s,m²
 - Internlast: inget
 - Vädring/portöppning: inget

- Indata FTX-system
 - Lägsta tillåtna temperatur i garage: +10 °C (rumsvärmekälla)
 - Inblåsningstemperatur tilluft:
 - Min +13 °C* (värmeåtervinning samt eftervärmning)
 - ≤ +16 °C* (endast värmeåtervinning)
 - Värmeväxlare temperaturverkningsgrad: 80 %.
 - Begränsning av värmeväxlarens lägsta avluftstemperatur: 0 °C.
 - SFP: 1,5 kW/m³ (vid 0,35 l/s,m²)
- Indata F-ventilation
 - Lägsta tillåtna temperatur i garage:
 - +10 °C (rumsvärmekälla)
 - +5 °C (rumsvärmekälla)
 - SFP: 0,6 kW/m³ (vid 0,35 l/s,m²)

*Varav 0,5 °C temperaturhöjning över fläkt

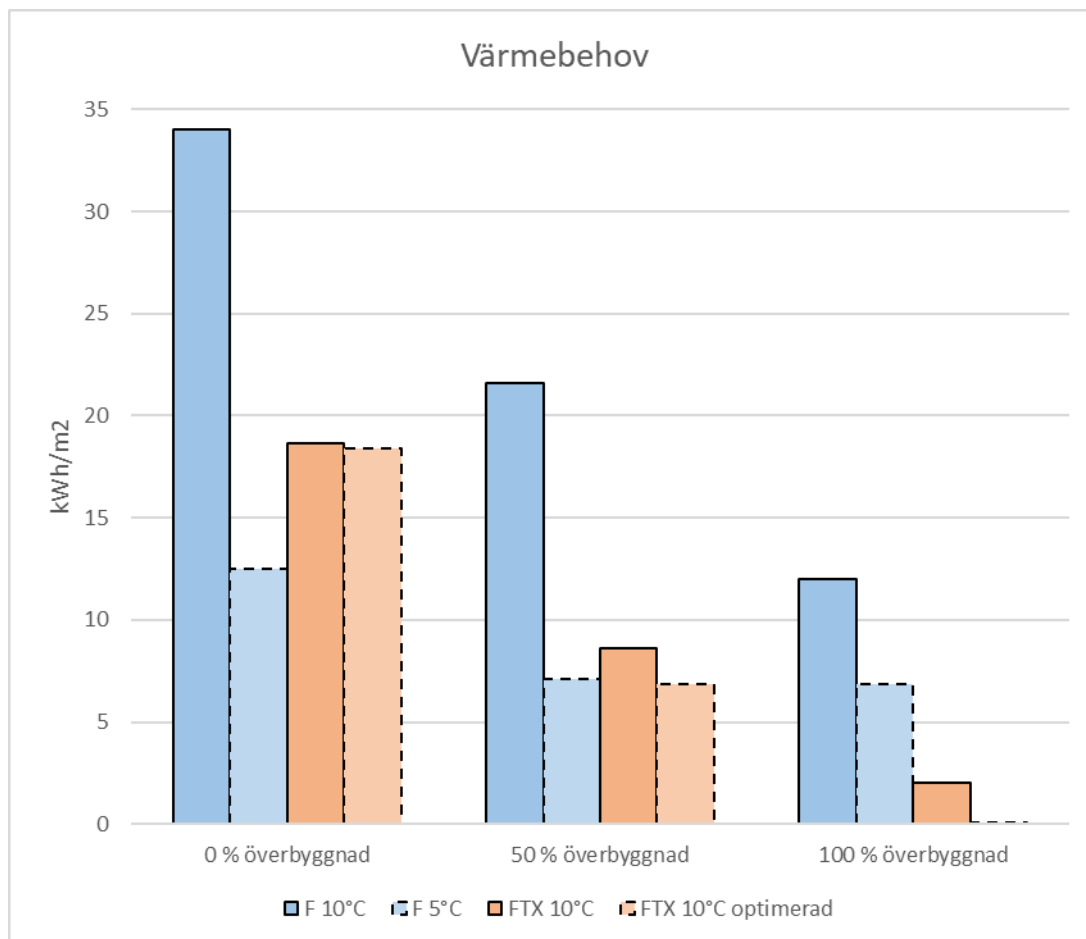
Indata är valt att representera ett typiskt garage under bostadshus vid nyproduktion idag. Flödet är i första hand valt till 0,35 l/s,m² vilket kan tyckas märkligt då det är vanligast att ventilationen i bostadsgarage dimensioneras för 0,9 l/s,m². Erfarenheter från intervjuade projektörer samt NCC är att uppföljning av verkliga ventilationsflöden i garage med variabel ventilation visar att ventilationen sällan forceras och att medelflödet i garaget blir nära grundflödet. Därför har detta till synes låga medelflöde valts.

Temperaturen i garaget hålls i modellen till minsta temperatur +10 °C för FTX och +10 °C/+5 °C för F med en så kallad "ideal heater". Det kan i verkligheten till exempel vara en fläktluftvärmare. För frånluftsventilation antas tilluft inte ha någon eftervärmare utan får uteluftstemperatur. Observera att temperaturen i garaget tillåts variera och inte nödvändigtvis når ned till minimitemperaturen. FTX brukar inte projekteras under +10 °C, antagligen på grund av att värmeväxlaren inte klarar lägre temperaturer särskilt bra. Flera av de intervjuade projektörerna samt NCC har uppmärksammat problem med påfrysning och resulterande låg värmeåtervinning trots över +10 °C i garagetemperatur. Vidare studier behövs för att fastställa verklig värmeåtervinningsprestanda för FTX i garage men det simulerade resultatet är antagligen en underskattning av värmebehovet med FTX i garage.

När det gäller olika garagetemperatur skulle även luftflöden kunna påverkas vid variabel ventilationsstyrning eftersom bilars avgaser vid kallstart påverkas av omgivande temperatur såsom presenterats tidigare i rapporten. Detta har ej tagits hänsyn till i dessa simuleringar.

För FTX har två olika fall för temperaturstyrning på tilluft simulerats. Dels vanlig tilluftstyrning med ett fast börvärde, som här satts till +13 °C. Sen även en tänkt optimerad styrning där värmeåtervinning används så mycket som möjligt upp till +16°C men eftervärme inte tillförs/ändast tillförs när det finns ett värmebehov för garaget.

Resultaten visas i Figur 14. För att få en rättvis bild av energianvändning för garaget när det är sammanbyggt med överliggande byggnad har även värmeutbyte från överliggande byggnad tagits med i värmebehovet. Detta genom att lägga till skillnaden i överliggande byggnadens värmeanvändning jämfört med om den hade haft golv mot mark.

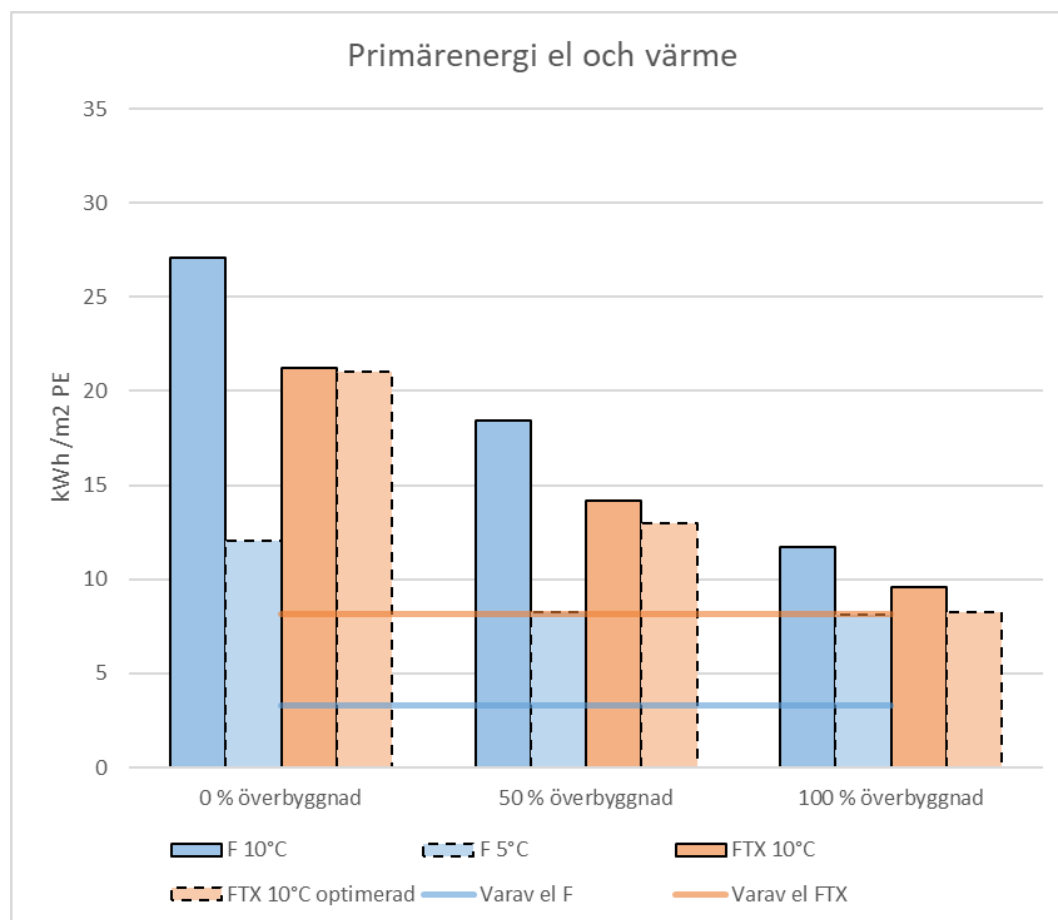


Figur 14 Värmebehov för exempelgarage inkl. värmutbyte från överbyggnad.

Resultatet visar att garagets värmeanvändning minskar ju mer av taket som täcks av överliggande byggnad jämfört med uteluft. FTX har potential att få mycket låg värmeanvändning vid mycket anslutande uppvärmd byggnad. Utan anslutande uppvärmd byggnad har dock F-ventilation potential att ha lägre värmeanvändning. F-ventilation med garagetemperatur +5 °C får lika värmeanvändning vid 50 % resp. 100 % överbyggnad. I det senare fallet är det värmen från överbyggnaden som tillgodoser (hela) värmebehovet.

I flera av de simulerade fallen ligger garagetemperaturen hela året över vald minimitemperatur. Markvärme och lagring av värme i konstruktioner bidrar till att motverka temperatursänkning på grund av till exempel kall tilluft. I två fall, F-system med garagetemperatur +5 °C och FTX med optimerad styrning vid 100 % överbyggnad, tillförs ingen värme direkt till garaget då temperaturen är tillräckligt hög och ingen tvingande värmning av tilluft finns. I det senare av de

två fallen är det ökade värmebehovet i överliggande byggnad minimalt och totala värmebehovet blir då nära noll.



Figur 15 Primärenergital för exempelgarage med FTX/F-ventilation inkl. korrigering för extra värmeförlust i överbyggnad.

Figur 15 innehåller förutom värmebehov även elanvändning. Dessutom är energin viktad med viktningsfaktorer för fjärrvärme och el enligt BBR29 (17) för att beräkna primärenergitalet (viktningsfaktor fjärrvärme 0,7 och el 1,8).

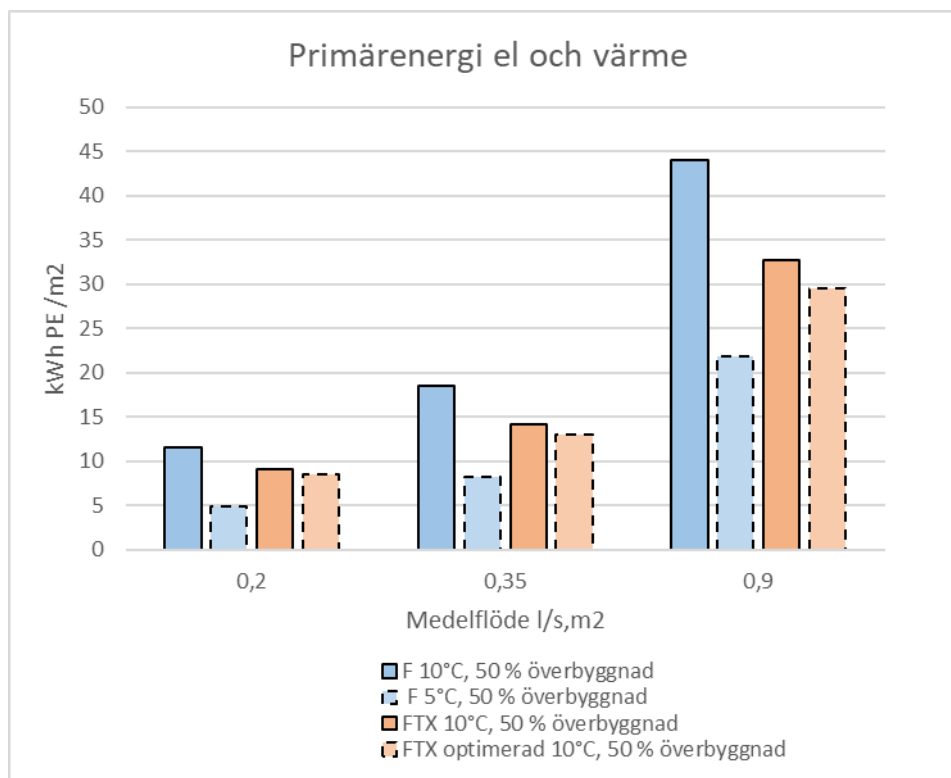
Vi ser nu att fallet med F-ventilation med lägsta temperatur +5 °C har ett primärenergital som är mindre än eller ungefär lika stor som fallen med FTX-system. Elenergianvändningen för FTX-system är ca 5 kWh/m² PE högre än F-ventilation med antagna SFP. Med lägre SFP, som ofta är fallet i verkligheten då systemet är överdimensionerat, skulle primärenergianvändningen sjunka mer för FTX-system än F-system. För 100 % överbyggnad skulle halverat SFP ge resultat 4,2 kWh/m² PE för optimerat FTX-system vid garagetemperatur +10°C och 6,4 kWh/m² PE för F-system vid garagetemperatur +5°C.

Som tidigare nämnts ger högre garagetemperatur fördel såsom lägre avgaser vid kallstart och eventuellt mindre behov av isolering mot anslutande byggnad, vilket kan tala till FTX-systemets fördel. I övrigt ser det svårt ut att motivera FTX-systemets högre investeringskostnad ur ett energiperspektiv. Särskilt då verklig

energianvändning vid FTX-system i garage sannolikt är högre än här beräknat på grund av igenfrysning och avfrostning.

7.2.1 Energianvändning vid olika medelluftflöde

För att visa hur ett garages energianvändning beror av olika medelluftflöde har garaget i föreliggande avsnitt med 50 % överbyggnad simulerats vid olika luftflöden. Resultatet beräknat som primärenergital visas i Figur 16.



Figur 16 Primärenergital inkl. el- och värmeenergianvändning för F-garage med 50 % överbyggnad.

För garaget med frånluftventilation och lägsta temperatur +10 °C minskar alltså primärenergitalet från 44 till 18 kWh/m² golvarea om medelluftflödet minskas från 0,9 till 0,35 l/s,m² golvarea, till exempel med hjälp av behovsstyrning. Det innebär en minskning med 58 %.

Genom att interpolera resultaten i figuren kan man uppskatta en ungefärlig energibesparingspotential beräknat som minskning av primärenergital för varje sänkning av medelluftflödet om 0,1 l/s,m² golvarea:

- F-system med garagetemperatur +10 °C: ca 4 kWh/m²
- F-system med garagetemperatur +5 °C: ca 2 kWh/m²
- FTX-system med garagetemperatur +10°C ca 3 kWh/m²
- FTX-system med optimerad styrning och garagetemperatur +10°C ca 3 kWh/m²

Statistikmyndigheten SCB har statistik på antalet varmgarageplatser i Sverige. De uppgick år 2002 till 295 948 platser (33). Utifrån denna siffra har den totala arean varmgarage i tidigare arbeten uppskattats till ca 5-6 miljoner kvadratmeter. Med försiktigt antagande om besparing enligt F-system med garagetemperatur +5 °C blir den samlade energibesparingspotentialen för hela Sveriges varmgarage *minst* 10 GWh primärenergi per sänkning av medelluftflöde i garage om 0,1 l/s per m² golvarea. Med FTX-system kan högre besparing förväntas.

8 Diskussion och slutsatser

Idag dimensioneras ventilationen i slutna parkeringsgarage efter riktvärden från sjuttioalet, då bilar inte hade katalysatorer och därmed ett högre utsläpp av avgaser. Dagens krav på maximala utsläpp i fordonsavgaser och ökande andel av elbilar fordonsflottan gör att garagens ventilation ofta överdimensioneras och inte styrs energieffektivt. Vidare har antalet dieslbilar ökat i fordonsbeståndet vilket betyder att avgassammansättningen i dagens parkeringsgarage ser annorlunda ut jämfört med tider när nuvarande riktvärden togs fram. Om mer än 20 % av de utsläppsgenererande bilarna är dieslbilar så är kolmonoxid en olämplig indikator för ventilationsbehovet.

För att ge fastighetsägare och projektörer tillräcklig kunskap och grund för att anpassa ventilationen i parkeringsgarage initierades denna förstudie. Syftet har varit att utvärdera luftflödesbehovet i parkeringsgarage och undersöka vilka systemlösningar som effektivast kan tillgodose det ventilationsbehov som finns i dagens garage.

Förstudien har sammanställt befintliga kunskaper och erfarenheter som finns inom området garageventilation för att bedöma om nya riktlinjer kan tas fram för dimensionering och utformning av ventilationssystem. Beräkningar har genomförts för att bedöma potentialen med minskning av luftflöden, men också systemlösningar för energieffektiv drift vid olika förutsättningar.

8.1 Rekommendationer för nya riktvärden för luftflöden

Litteraturgenomgången pekar på bristen på tillräckliga riktlinjer för att bestämma luftflöden i dagens parkeringsgarage. Nya riktlinjer behöver tas fram för dimensionering av garageventilation. Även om tidigare studier visar på potentialen att sänka luftflödena utan att nå för höga avgashalter, saknas validerad indata för att skapa nya riktlinjer.

En betydande utmaning är att fastställa vilka avgasutsläpp som kan förväntas från en typisk bil med förbränningsmotor i garagemiljön och hur avgassammansättningen i ett garage kan se ut. Här spelar drivmedel för olika bilar, bilarnas ålder, motoreffekten och motorns skick (underhåll) en stor roll.

Utsläpp från en bil varierar också under olika förutsättningar, till exempel vid olika motortemperatur ("kallstart" eller "varmstart"), omgivningens temperatur, körhastighet, osv. Det behövs även beaktas att kolmonoxidens betydelse som indikator för ventilation minskar om andelen dieslbilar i garaget ökar.

Vidare behövs information om hur många bilar som är igång samtidigt och hur länge bilarna är igång. Olika förutsättningar gäller för bostads-, kontors- och centrumgarage. Det saknas tillräckliga studier för att använda validerad indata i beräkningar.

En annan faktor är bristen på enhetliga gränsvärden för föroreningar i garage. I Arbetsmiljöverkets föreskrifter finns riktvärden för de olika föroreningar som kommer från förbränningsmotorer, men dessa är främst avsedda för arbetsmiljön och kanske inte är helt tillämpliga för garageventilation där människor endast vistas tillfälligt. Detta lämnar en osäkerhet kring vilka gränsvärden som faktiskt bör tillämpas i garagemiljöer.

Exempelberäkningar har utförts för att demonstrera hur olika metoder och antaganden om indata kan påverka resultaten vid beräkning av luftflödesbehovet för parkeringsgarage. Beräkningar visar att ventilationsbehovet beräknad enligt Svensk Byggnorms regler SBN75 kan leda till höga kolmonoxidkoncentrationer i garage där utsläppen inte är jämnt fördelade över den mest belastade tiden, så som förutsätts i SBN75. Detta indikerar att metoden inte passar för att fastställa nya riktlinjer, även med moderna utsläppsnivåer.

Exempelberäkningar med den amerikanska metoden från ASHRAE visade stora variationer i luftflödesbehovet beroende på fordonstyp och ålder. Med nyare bilar, exempelvis bilar ur miljöklass Euro 5 eller högre, kan kolmonoxidnivåerna hållas på låga nivåer även med luftflöden så lågt som runt 0,2 l/s per kvadratmeter garagearea, medan äldre bilar behövde betydligt högre luftflöden för samma nivåer. Omgivningstemperaturer i garaget visade också betydande påverkan på luftflödesbehovet, där lägre temperaturer kräver högre luftflöden för att behålla önskade kolmonoxidnivåer.

Beräkningar gjordes också för en "svensk genomsnittsbil", där utsläppen motsvarar typiska sammansättningen av kolmonoxidhalten i garagemiljön där det finns bilar av olika ålder, med olika drivmedel och fördelningen baseras på hur bilflottan i Sverige ser ut idag. Resultatet visar att för att hålla kolmonoxidnivån under exempelvis 50 ppm, så som Svensk Byggnorm SBN75 rekommenderade, behövs luftflöde 1,0 l/s per kvadratmeter garagearea. För att hålla kolmonoxidhalten närmare till 100 ppm, så som Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden visar för arbetsmiljöer, behövs betydligt lägre luftflöde, runt 0,1 l/s per m² golvarea. Resultatet är dock beroende av flera antaganden, exempelvis att antal bilar som startas under den mest belastade timmen är 40 % av antalet garageplatser och alla bilstarter är "kallstart". Detta indikerar behovet av noggrannare data och analys för att fastställa lämpliga riktlinjer för ventilationsflöden i slutna parkeringsgarage.

För dimensionering av ventilationssystem i slutna garage är det även viktigt att bestämma vilken säkerhetsmarginal man ska ha vid dimensioneringen. Även om människor i ett garage endast vistas tillfälligt gäller det att allmänna kraven på luftkvalitet uppfylls och att vistelse i garaget under de mer ovanliga förhållandena inte ska medföra oacceptabla risker för människornas hygien och hälsa.

Sammanfattningsvis kräver framtagningen av nya riktlinjer en mer omfattande och noggrann analys av samtliga faktorer som påverkar luftkvaliteten i parkeringsgarage. Dessutom måste nya riktlinjer vara praktiskt tillämpbara och enkla att använda utan att behöva förlita sig på komplexa ekvationer.

8.2 Rekommendationer för systemval för energieffektiv drift

En förutsättning för energieffektiv drift av garageventilation är variabelt flöde. Bilden som intervjuade ventilationsprojektörer ger är att garageventilation oftast projekteras så idag men inom ramen för gällande riktlinjer. För att sänka resulterande medelluftflöde behöver nuvarande praxis med lägsta grundflöde om konstant 0,35 l/s per m² golvarea utmanas.

När garaget ansluter till en uppvärmd byggnad är det viktigt att hela byggnadens energibalans tas i beaktande. När möjlighet till värmeåtervinning finns i garaget bör den utnyttjas fullt ut och hålla uppe garagetemperaturen, för att minska värmebehov i byggnaden som helhet.

Energiberäkningarna i rapporten visar att det finns potential för den enklare frånluftsventilationen att ha en likvärdig eller till och med bättre energiprestanda än den dyrare och mer utrymmeskrävande FTX-ventilationen. Underlag saknas på verklig värmeåtervinningsprestanda för värmeväxlare i garage med FTX-ventilation. Men erfarenheter från intervjuade projektörer och NCC talar för att den är lägre än antaget i rapporten.

Systemval med återluft från omkringliggande byggnad har potential att minska energianvändningen men byggnadens ventilationssystem som helhet behöver analyseras.

Det finns procentuellt sätt stor energibesparingspotential i att sänka medelluftflöden i garage. Eftersom garage som projekteras idag oftast har variabelt ventilationsflöde blir potentialen störst i befintliga garage med konstant flöde.

I samband med optimering av ventilationssystemen bör även fler parametrar beaktas vid projektering och injustering för att säkerställa att förändrade grundflöden inte bidrar till andra typer av problem. En av dessa parametrar som redan med dagens projekteringsmetodik i vissa fall kan ge upphov till avvikelser

är garagens luftfuktighet och hur tillförd fukt omhändertas av ventilationssystemen.

Hur energieffektivitet kan säkerställas utan att erhålla fuktproblem är en komplex fråga som beror på flertalet faktorer och kräver en parameterstudie som ej inrymts i föreliggande förstudie. Tydligt är dock att luftfuktigheten, typ av aggregat och val av avvattning, samt hur styrning av ventilationssystemen utformas påverkar utfallet och bör därmed beaktas under projekteringsfasen och injustering för att minska risken för avvikelser under driftskedet.

8.3 Rekommendationer från referensgruppen

Till projektet ingick fyra representanter i referensgruppen. Samtliga fyra var personer med god insyn i frågeställningen och lång erfarenhet i ämnet. I samband med referensgruppsmötet diskuterades framtidsbehov inom området från referensgruppens perspektiv.

Ett av branschens störta hinder vid förändring av gamla rutiner är svårigheter att frångå gängse riktlinjer och rekommendationer. Under projekteringsfasen, vilket är den fas där förändringspotentialen är som störst, finns ett visst motstånd till gradvis förflyttning från rådande praxis även då rådande riktlinjer är daterad. För att en förändring skall få genomslag krävs nya riktlinjer.

Inom området garageventilation finns stor optimeringspotential. Systemoptimering med avseende på typ av ventilationssystem måste utvärderas med avseende på optimal temperatur, utsläpp, energi, relativ fuktighet. Detta medför även att nya riktlinjer för olika system bör uppföras.

I samband med uppförande av nya riktlinjer bör även flera perspektiv inkorporeras i dimensioneringsförutsättningarna. Exempel på detta är behovet att se över FTX systemens fuktåtervinningsfunktion och hur systemen bör dimensioneras och styras för att motverka dess negativa effekter. Utöver detta bör riskerna för CO/avgasfickor vid låga luftflöden klargöras. Rekommendationer kring placering av givare samt utvärdering av cirkulationsfläktar bör uppföras och inkluderas i nya riktlinjer.

8.4 Förslag till fortsatt arbete

Denna förstudie visar att det finns behov av nya beräkningsmetoder och riktlinjer för dimensionering av luftflöden i slutna garage för att ta hänsyn till dagens förutsättningar och till hur bilflottan förväntas se ut framöver.

För att utveckla nya riktlinjer behöver först verifierade indata tas fram. Detta ska inkludera:

- vilken alstring av föroreningar som kan förväntas från bilar under olika förutsättningar och vad den typiska sammansättningen av avgaser är i garagemiljöer där det finns bilar av olika ålder och med olika drivmedel.
- förankrad information om hur många bilar som är igång och hur länge de är igång under den mest belastade perioden under dygnet i ett garage. Olika förutsättningar gäller för bostads-, kontors- och centrumgarage.
- tydliga riktlinjer om vilka gränsvärden som ska tillämpas för olika föroreningar i garagemiljöer och hur ventilationssystem ska utformas och styras för att hålla avgashalterna under dessa gränsvärden samtidigt som energieffektiv drift säkerställs

Metodiken för beräkning av luftflödesbehovet ska vara relativt enkel att använda i praktiken, så att beräkningar med avancerade ekvationer och många variabler kan undvikas.

Vidare behövs nya riktlinjer utvecklas för utformning av ventilationssystem i slutna parkeringsgarage. Riktlinjerna ska visa konkreta exempel på systemlösningar som är väl lämpade för olika typer av parkeringsgarage och vid vilka förutsättningar. Exempelen ska utgå från säkerställd teknisk funktion samt energi- och resurseffektivitet ur ett livscykelperspektiv. Här kan följande delar vara intressanta att studera mer i detalj:

- Verklig värmeåtervinningsprestanda för FTX i garage
- Uppmätt medelluftflöde vid olika systemlösningar/styrlösningar
- Optimerad värmeförsörjning i FTX-aggregat i dialog med aggregattillverkare
- Simulering av energianvändning med olika indata så som uppmätt medelluftflöde, optimerad aggregatstorlek (SFP), verklig värmeåtervinningsprestanda för FTX, samt optimerad värmeförsörjning i FTX-aggregat.

Även nya riktlinjer för styrning, reglering och övervakning av garageventilation behövs tas fram. Riktlinjerna ska utgå från säkerställd bra luftkvalitet och energieffektiv drift samtidigt som problem med fukt undviks. Här kan följande moment vara intressanta att studera mer i detalj:

- Mätstudie/parameterstudie med avseende på de olika identifierade föroreningarna och inneklimatparametrar, så som CO, NOX, RF vid olika driftstrategier och vid olika sammansättning av bilar i garage.
- Validering av befintliga anläggningars projektspecifika dimensionerade driftfall mot faktiskt behov med avseende på identifierade parametrar vid styrd ventilation.

Referenser

1. Satens planverk. Svensk Byggnorm, SBN 1975 Utgåva 2; 1975
2. ASHRAE. ASHRAE Handbook -HVAC Applications, Chapter 16. Enclosed Vehicular Facilities; 2019
3. Landsbygds- och infrastrukturdepartementet SPN BB. Plan och byggförordningen (2011:338), 2011
4. Krarti M, Ayaru A. Ventilation for enclosed Parking Garages. ASHRAE Journal, February 2001.
5. Arbetsmiljöverket. Hygieniska gränsvärden, AFS 2018:1; 2018 (Ändringar införda till och med den 7 november 2022).
6. Arbetsmiljöverket. Hygieniska gränsvärden. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om ändring i Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2018:1) om hygieniska gränsvärden, AFS 2020:6; 2020
7. World Health Organization. WHO Housing and health guidelines; 2018. Hämtad från: [18157 WHO Housing and Health Guidelines 160 x 240mm For Web](#)
8. Faramarzi, Afshin, et al. Assessing ventilation control strategies in underground parking garages. Building Simulation. Vol. 14. Tsinghua University Press; 2021
9. Bielaczyc P et al. An overview of cold start emissions from direct injection spark-ignition and compression ignition engines of light duty vehicles at low ambient temperatures. Combustion Engines, 154(3):96-103; 2013
10. Statistikmyndigheten SCB. Fordon. Fordon 2022, Hämtad från: [Fordon \(scb.se\) fordon-2022_230303.xlsx \(live.com\)](#)
11. Statistikmyndigheten SCB. Fordon. Nyregistrerade fordon 2023, Hämtad från: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/transporter-och-kommunikationer/vagtrafik/fordon/pong/tabell-och-diagram/fordonsstatistik/>
12. Miljödepartementet. Bilavgaslag, SFS 1986:1386. 1986. Hämtad från: [Bilavgaslag \(1986:1386\) | Sveriges riksdag \(riksdagen.se\)](#)
13. Miljödepartementet. Proposition 1990/91:156 om miljöklasser för nya fordon, m.m. 1991. Hämtad från: [om miljöklasser för nya fordon, m.m. \(Proposition 1990/91:156\) | Sveriges riksdag \(riksdagen.se\)](#)
14. Regeringskansliet. Faktapromemoria 2022/23:FPM31. Förordning om avgasutsläpp för vägfordon, utsläpp från slitage och batteriers hållbarhet (Euro 7). 2022. Hämtad från: [Förordning om avgasutsläpp för vägfordon, utsläpp från slitage och batteriers hållbarhet \(Euro 7\) \(Fakta-pm om EU-förslag 2022/23:FPM31 : COM\(2022\) 586\) | Sveriges riksdag \(riksdagen.se\)](#)

15. Boverket. Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 1993:57 (BBR 1). Boverkets författningssamling 1993
16. Boverket. Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2005:17 (BBR 11). Boverkets författningssamling 2005
17. Boverket. Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4 (BBR 29) Boverkets författningssamling.
18. Automatikprodukter.se, hämtad september 2023 från:
https://www.automatikprodukter.se/index_proj_guide_parking_se.htm#:~:text=Acceptabel%20koncentration%20av%20kolmonoxid%20i%20garage%2C%20tunnlar%20etc.,2%2C%203A67.%20Gr%C3%A4nsen%20%C3%A4r%20satt%20till%2050%20ppm.
19. Satens planverk. Svensk Byggnorm, SBN 1980 Utgåva 2; 1980
20. ASHRARE, ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality; 2019
21. EPA, United States Environmental Protection Agency, NAAQS Table. Hämtad September 2023 från: [NAAQS Table | US EPA](#)
22. European Commission, Commission proposes new Euro 7 standards to reduce pollutant emissions from vehicles and improve air quality. 10 November 2022. Hämtad November 2023 från: [Commission proposes new Euro 7 standards \(europa.eu\)](#).
23. Keisu, S. Dimensionering av luftbehandlingsystem för varma garage, Luleå tekniska universitet, Institutionen för teknikvetenskap och matematik. Studentuppsats (Examensarbete); 2017
24. Andersson, F. Utvärdering av ventilationsflöde och luftkvalitet i bostadsgarage - En mätstudie och utformning av ett verktyg för framtida projekt. Uppsala universitet. Studentuppsats (Examensarbete); 2020
25. Pohjanen, A. Energibalans och inomhusklimat i ett parkeringshus under jord med behovsstyrd ventilation. Umeå universitet. Studentuppsats (Examensarbete); 2017
26. Gylling, J och Pettersson, V. Bilbränder i slutna parkeringsgarage. Personbilar från olika tidsåldrar och dess påverkan vid implementering av brandgasventilation. Luleå tekniska universitet. Studentuppsats (Examensarbete); 2022
27. Jenssen, L. Fuktöverföring vid regenerativ värmeväxling, Bygg och teknik 5/11 s 54-57; TVIT 10/7048, Lunds tekniska högskola, Lund; 2010
28. Weilenmann, M., et al. Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories. Atmospheric environment, 43(15), 2419-2429. 2009
29. Suarez-Bertoa, R. och Astorga, C. Impact of cold temperature on Euro 6 passenger car emissions. Environmental pollution, 234, 318-329. 2018

30. Wikipedia, European emission standards. Hämtad november 2023 från: [European emission standards - Wikipedia](#)
31. DieselNet. Emission Standards. EU: Cars and Light Trucks. 2015. Hämtad november 2023 från: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
32. Ruud, S. Styrning av FTX för fuktsäkra småhus, Rapport 2022:14, E2B2, 2022
33. SCB Statistikdatabasen. Ytor och antal för lägenheter, lokaler, garage och bilplatser i flerbostadshus efter region, fastighetsägarkategori och lägenhetstyp. (Urvalsundersökning, se fotnoter.) År 2001 – 2002. Hämtad november 2023 från: [Ytor och antal för lägenheter, lokaler, garage och bilplatser i flerbostadshus efter region, fastighetsägarkategori och lägenhetstyp. \(Urvalsundersökning, se fotnoter.\) År 2001 - 2002. PxWeb \(scb.se\)](#)



LÅGAN (program för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett samarbete mellan Energimyndigheten, Boverket, Byggföretagen, Västra Götalandsregionen, Formas, byggherrar, entreprenörer och konsulter med syfte att öka byggtakten av lågenergibygnader.

www.laganbygg.se

