

Rymdens miljöproblem

Tåg, bilar och flygplan började vi använda utan tanke på miljöeffekterna av utsläppen från dessa maskiner. Är mänskligheten på väg att upprepa samma nonchalans, den här gången för transport till rymden? Kanske, men det behöver inte vara så.

Aerospace America

År 2021 gjordes cirka 230 raketuppskjutningar av alla operatörer tillsammans, vilket inkluderar suborbitala turistflygningar. I framtiden kan det bli många fler. Elon Musk från SpaceX har föreslagit att två rymdskepp ska skjutas upp varannan vecka för att kolonisera Mars och Richard Branson planerar att använda sina Virgin SpaceShips för 400 turistflygningar per år från flera rymdhamnar.

Denna uppskjutningsrevolution, om den verkligen blir av, skulle i skrivande stund ske med endast rudimentär kunskap om vilka typer av raketer, som kommer att användas, deras utsläpp och miljökonsekvenserna av en sådan massiv ökning av uppskjutningar.

Osäkerheter hindrar oss från att fullt ut förstå hur raketutsläpp påverkar stratosfären. USA och andra borde finansiera provtagningsflygningar för att mäta deras utsläpp och sedan kvantifiera den potentiella effekten av olika typer av raketer. Därefter skulle tillsynsmyndigheter kunna sätta gränser för antalet uppskjutningar per år eller kräva bränslen, som släpper ut mindre föroreningar, eller helst göra båda. Just nu saknar forskare de utsläppsdata som de behöver för att driva på för sådana regler eller frivilliga åtgärder.

När det gäller klimatet är huvudfrågan inte koldioxiden i utsläppen av vissa raketer. Raketernas totala inverkan på klimatförändringarna genom koldioxidutsläpp är försumbar, och skulle sannolikt förbli så även med en betydande ökning av uppskjutningar. När det gäller raketer är den mer angelägna oron deras sot, känd för forskare som svart kol, vilket också har en betydande uppvärmningspåverkan.

Dessa klumpar av kolpartiklar lämnas i kölvattnet av raketer som bränner fotogen (SpaceX Falcon 9 och Heavy) eller syntetiskt gummi (VSS Unity och de fasta raketmotorerna i NASA:s Space Launch System), och eventuellt metan (Starship och New Glenn), som lite forskning har gjorts på.

Klumparna flyter och studsar i stratosfären, absorberar kortvågsljus från solen och värmer den omgivande luften tills tillräckligt med vattenmolekyler fastnar på dem för att de ska bli tunga och falla ner som nederbörd, ibland som en gråaktig snö.

Om tillräckligt med svart kolsot ackumuleras i stratosfären skulle det kunna störa vädermönstren utöver de förändringar, som redan pågår på grund av det varmare klimatet.

Vädret är i huvudsak bara rörelse av vatten och värme från en plats till en annan. När man släpper ut svart kol i den övre atmosfären ändrar man strukturen på uppvärmningen och det förändrar hur värme och vatten fördelas, vilket ger mer frekventa svåra väderhändelser.

Detta innebär också att effekterna av svarta kolutsläpp inte begränsas till det omedelbara område där de släpps ut, till exempel en uppskjutningsplats. Istället kan effekterna märkas mest i områden som ligger hundratals eller tusentals kilometer bort. Människor i delar av världen kan uppleva effekterna



oproportionerligt mycket mer än invånare i andra delar av världen.

Stratosfären är fortfarande en relativt ren plats, de största källorna till svart kol i stratosfären är enstaka vulkaner eller större bränder, som kastar upp aska till höga höjder. För den högsta regionen i stratosfären över 20 km är rymdfärd den enda källan till svart kol.

Stratosfären är också hem för ozonskiktet, ett täcke av molekyler bestående av tre syreatomer som bildas när ultraviolett solljus träffar syremolekyler.

År 2020 körde en forskargrupp vid University College London, modeller av raketuppskjutningar som genomfördes året innan. Tillsammans med svart kol katalogiserade de utsläpp av kväveoxider och -uteslutande från fasta raketmotorer - partiklar av aluminiumoxid och klor. Dessa utsläpp skulle kunna upphäva en del av ozonåtervinningen under de senaste tre decennierna även om det totala antalet flygningar per år inte når upp till de nuvarande planerna.

Aluminiumoxid är särskilt oroande eftersom det katalyserar en kemisk reaktion där kloratomer binder till ozonmolekyler och omvandlar dem till syre. Värmen som fångas i stratosfären från svart kol kan i sin tur påskynda hastigheten på dessa reaktioner.

Montrealprotokollet från 1987 om ämnen som bryter ned ozonskiktet - det multilaterala miljöavtal som reglerar produktion och konsumtion av nästan hundra ozonnedbrytande ämnen - läkte till stor del hålet i ozonskiktet, som hade uppstått över Antarktis. Men det internationella fördraget tar inte upp de potentiella effekterna av svarta kolutsläpp. Utan internationella bestämmelser - t.ex. begränsningar av dessa utsläpp - kan rymdindustrin i stor utsträckning fungera okontrollerat.

Det skulle kunna finnas en fungerande lösning även om företagen fortsätter att förlita sig på fotogen, metan och syntetiska gummidrivna motorer eller annan svart teknik för att släppa ut kol. Man kunde reglera var och när uppskjutningar sker för att ge sotet tid att falla från himlen.

För de forskare som efterlyser ytterligare studier av raketmotorutsläpp finns det redan en potentiell plan: ACCENT, förkortning för Atmospheric Chemistry of Combustion Emissions Near the Tropopause. Skapad för att mäta effekten av raketuppskjutningar på ozonnedbrytning, skickade detta NASA-Air Force-program ett forskningsflygplan på cirka ett dussin uppskjutningar i slutet av 1990-talet och början av 2000-talet.

Före varje uppskjutning steg två NASA-piloter till cirka 50 000 fot i ett WB-57-flygplan cirka 80 kilometer från platsen för uppskjutningen av en raket. Ungefär fem minuter efter uppskjutningen gjorde de flera passager genom den vita raketplymen. Omkring ett dussin pass gjordes genom plymerna under en tvåtimmarsperiod efter uppskjutningen för att mäta hur utsläppen inklusive de svarta kolpartiklarna spreds i stratosfären över tid. ACCENT-programmet samlade in emissionsprover från plymerna från fem raketer: Delta II, Atlas II, Athena, Titan IV och Rymdfärjan.

Resultatet var att de solida raketmotorerna och fotogenmotorerna deponerade färre partiklar i stratosfären än modellerna hade förutspått. Men åsikterna varierar om hur länge sotet stannar kvar. Svart kol är en kortlivad klimatförorening med en livstid på bara dagar till veckor efter utsläpp i atmosfären. Mindre partiklar dröjer sig sannolikt kvar längre, tre till fem år i genomsnitt.

Med mer data för att bestämma den exakta mängden svarta kolpartiklar som släpps ut av varje typ av raket – och hur länge dessa partiklar kan finnas kvar i stratosfären – kan forskare hjälpa till att formulera riktlinjer för uppskjutningar för att minimera den totala miljöpåverkan.

Strategin måste fokusera på hur man gör det på ett hållbart sätt. Det är därför framtida mätningar och modellering behövs och är motiverade. Man kan skapa ett detaljerat "svart kolin-dex" för olika typer av raketdrivmedel och motorer. Vi har instrumenten för att utföra mätningarna, vi har de plattformar vi behöver, vi vet hur man gör det. Det som saknas är finansiering.

Naturligtvis kan det finnas ett sätt för Bezos och Musk att tjäna sina miljarder i rymden utan att orsaka klimat- och väderkatastrofer: att övergå till icke-kolväteframdrivning. Blue Origins BE-3-motorer, varav en drev Bezos juliresa till rymdens kant ovanpå New Shepard-raketen, drivs av flytande väte och syre och ger vattenånga som avgaser. Baserat på forskning beräknar Blue Origin att klimateffekten från en enda BE-3PM skulle vara 750 gånger mindre än från en hybridmotor, den typ som flygs av rymdturismkonkurrenten Virgin Galactic.

Europeiska Ariane drivs av väte- och syredrivna motorer, av samma typ som kommer att driva NASA:s SLS. Men varje raket behöver extra dragkraft från ett par sotproducerande fasta raketmotorer.



Varför har inte andra gått över till dessa renare vätesyremotorer? Vissa företag kan tveka att byta till sådana motorer på grund av säkerhetsproblem vid hantering av de mycket brännbara flytande väte och flytande syre. Dessutom är vätgas svårt att lagra och fotogenmotorer är billigare att tillverka.

Det är inte heller så att flytande väte och syre inte skulle ha någon inverkan på atmosfären om det användes i stort antal. Vattenången kan bilda moln i den övre atmosfären och därmed påverka vädermönstren när fler och fler flygningar lyfter. Ändå har tekniken betydande miljöfördelar genom att eliminera sot.

När man tittar på rymdturismindustrin är det lite chockerande att det bara är den rikaste procenten av mänskligheten, som kommer att kunna ge sig ut i rymden för att i princip bara ta dyra selfies, men skada miljön för alla andra. Vi måste arbeta tillsammans som ett internationellt samfund för att utveckla en politik, som åtminstone kan mildra den inverkan som detta kommer att ha på atmosfären.