



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för veterinärmedicin och
husdjursvetenskap

Levande begravd
- Kan klimatförändringar ge
mjältbrandssporer nya förutsättningar?

Buried alive – could climate changes
provide new conditions for anthrax
spores?

Johanna Cavell

Uppsala
2019

Levande begravd – kan klimatförändringar ge mjältbrandssporer nya förutsättningar?

Buried alive – could climate changes provide new conditions for anthrax spores?

Johanna Cavell

Handledare: Susanna Sternberg Lewerin, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för biomedicin och veterinär folkhälsovetenskap

Examinator: Maria Löfgren, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för biomedicin och veterinär folkhälsovetenskap

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i veterinärmedicin

Kursansvarig institution: Institutionen för biomedicin och veterinär folkhälsovetenskap

Kurskod: EX0862

Program/utbildning: Veterinärprogrammet

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2019

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Mjältbrand, sporer, klimatförändringar

Key words: Anthrax, spore, climate change

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|------------------------------------------------|----|
| Sammanfattning | 1 |
| Summary | 2 |
| Inledning | 3 |
| Material och metoder | 3 |
| Litteraturoversikt..... | 4 |
| <i>Bacillus anthracis</i> | 4 |
| Sporer | 4 |
| <i>Faktorer som påverkar sporulering</i> | 5 |
| <i>Temperatur;</i> | 5 |
| <i>Jord och pH</i> | 5 |
| <i>Fuktighet</i> | 6 |
| <i>Koncentrering av sporer</i> | 6 |
| Mjältbrand och klimat..... | 7 |
| Utbrott | 7 |
| <i>Halland 2008</i> | 7 |
| <i>Örebro 2011 och 2013</i> | 8 |
| <i>Omberg 2016</i> | 8 |
| <i>Italien 2004</i> | 8 |
| <i>Bosnien och Hercegovina 2010</i> | 9 |
| <i>Ryssland 2016</i> | 9 |
| Klimatförändringar i Sverige | 9 |
| Diskussion | 10 |
| Litteraturlista | 12 |

SAMMANFATTNING

Mjältbrand är en dödlig sjukdom som varit känd under en lång tid och som drabbar både djur och människor. En av anledningarna till att mjältbrand är fruktad är bakteriens förmåga att sporulera vid icke gynnsamma förhållanden och persistera i jorden under en lång tid. Att sporer från gamla mjältbrandsgravar kan orsaka nya utbrott är ett problem, då det bara under tidiga delen av 1900-talet rapporterades över 3000 utbrott i Sverige. Om de döda djuren då inte begravdes på ett korrekt sätt överlever sporer i jorden. Syftet med denna litteraturstudie är att redogöra för de faktorer som påverkar mjältbrandssporer och besvara frågan om ett ändrat klimat i Sverige kan leda till fler mjältbrandsutbrott.

Det finns en mängd olika faktorer som gynnar sporbildningen och sporens överlevnad. Exempel på dessa faktorer kan vara jordens pH, temperatur och luftfuktighet. Experiment med dessa olika faktorer har visat att mjältbrandsbakterier sporulerar i högre grad, och snabbare, vid höga temperaturer och hög luftfuktighet. Man har efter ett experiment under andra världskriget sett hur länge infektionsdugliga sporer finns kvar i miljön och hur svårt det kan vara att bli av med dem. Vidare finns det olika teorier om hur sporer koncentreras i tillräckligt höga nivåer för att infektera djur på nytt.

Det finns beskrivningar över vilka väderförhållanden som gynnar mjältbrand och det har visats att kraftiga regn och översvämningar följda av torra och varma perioder med brist på bete är fenomen som ofta sätts i samband med mjältbrandsutbrott. Genom att studera utbrott i modern tid både i Sverige och i andra europeiska länder kan detta samband ses tydligt.

Att världen står inför globala klimatförändringar såsom temperaturhöjningar och förändrad nederbörd ses numera som ett faktum. Genom att använda olika utsläppsscenarioer i kombination med globala och regionala klimatmodeller kan klimatforskare skapa olika framtida klimatscenarioer. Med hjälp av utsläppscenariot RCP 8,5 har SMHI:s klimatmodelleringsenhet tagit fram olika klimatscenarioer som pekar mot att Sverige i slutet av detta århundrade kommer att få både högre temperaturer och ökade nederbördsmängder.

Genom att vara medveten om hur mjältbrandssporerna sprids och infekterar kan man undvika framtida utbrott genom att inte släppa djur på bete där det finns tidigare registrerade fall i kombination med att man utfört någon typ av grävarbete eller där man vet att marken är kalkrik och man tidigare sett översvämningar. Kunskap om var gamla gravar finns är en viktig del i att förebygga nya utbrott av denna fruktade sjukdom.

SUMMARY

Anthrax is a well-known deadly disease, affecting both animals and humans. One of the reasons that anthrax is feared is its ability to sporulate during non-favorable conditions and because of that persist in the ground for a long time. The fact that spores from old anthrax graves have the ability to cause new outbreaks is a problem, as only during the first half of the 20th century over 3000 outbreaks were reported in Sweden. If the carcasses weren't buried properly the spores could have survived in the ground. The aim of this literature study is to account for the factors that affect anthrax spores and answer the question if a changed climate in Sweden can lead to more anthrax outbreaks.

There are several factors that favors sporulation and the survival of the spores, such as the soil pH, temperature and humidity. Experiments with these different factors have shown that the anthrax bacterium sporulates faster and to a greater extent at higher temperatures and a high humidity. After an experiment during the WWII it was demonstrated how long viable spores persisted in the environment and just how hard it can be to get rid of them. Furthermore, there are different theories of how the spores can accumulate in numbers high enough to infect animals again.

The weather conditions that favor anthrax outbreaks have been described and it has been shown that heavy rain and flooding followed by dry and warm periods with a shortage of pasture is a phenomenon often connected to anthrax outbreaks. By studying outbreaks in modern time, both in Sweden and in other European countries, this connection can be clearly seen.

That the world is faced with global climate changes such as temperature increase is now regarded as a fact. By using different greenhouse gas concentration trajectories in combination with global and regional climate models, climate researchers can create different climate scenarios. By using the greenhouse gas concentration trajectory RCP 8,5 SMHI's climate modelling unit developed different climate scenarios indicating that by the end of this century Sweden will see both an increase in temperature and increased precipitation.

Future outbreaks can be avoided by being aware of how the anthrax spores spread and cause disease, for example by not letting animals browse in areas known to have experienced outbreaks in combination with excavating or soils with high calcium levels and a history of flooding. The knowledge of where old anthrax graves is located is an important part of preventing future outbreaks of this feared disease.

INLEDNING

Mjältbrandsutbrott är inget nytt i Sverige – i flera hundra år har denna farsot utgjort ett stort hot mot våra djur. Redan på 1700-talet gjorde man kopplingen att sjukdomen kunde smitta både djur och människor och man såg att de kvinnor som vårdade sjuka djur själva riskerade att drabbas av sjukdomen (Widenberg, 2017). Redan i bibeln talas det om en sjukdom som drabbar betande djur och människor, och det finns lösa hypoteser om att en av de tio plågorna Gud straffade Egypten med under Moses tid skulle ha varit mjältbrand (Schwartz, 2009).

Under tidigt 1900 tal registrerades över 3000 fall av mjältbrand i Sverige. Djuren begravdes av bönderna själva, och även om man idag vet vilka gårdar som var drabbade vet man inte exakt var de döda djuren grävdes ner och om förfarandet var korrekt utfört. Under många år var Sverige förskonat från mjältbrandsutbrott men under de senaste åren har vi sett ett antal fall som härrör från gamla gravar eller betesmarker förorenade med sporer från tidigare utbrott. (Elvander *et al.*, 2017)

Sommaren 2018 var varm och torr. I vissa delar av landet var sommaren 2018 den varmaste som uppmätts (SMHI, 2018). Detta fick stora konsekvenser för bönderna. På grund av värmen och torkan fanns det inte bete för alla djur och många tvingades nödslakta sina djur. Höga temperaturer och brist på bete kan dock leda till mer än matbrist för betande djur. Regniga vårar följda av torra och heta somrar är en riskfaktor för mjältbrandsutbrott (SVA, 2018). I Sverige har vi under den senare delen av 1900-talet och framåt sett ett relativt litet antal utbrott av mjältbrand men i länder med ett varmare klimat förekommer sjukdomen närmast endemiskt (Beyer & Turnbull, 2009).

Om växthusgaserna i vår atmosfär ökar och den globala uppvärmningen leder till ett varmare klimat i Sverige – kommer vi då få se ett ökat antal mjältbrandsutbrott i Sverige? Målet med denna litteraturstudie är att redogöra för de faktorer som gynnar mjältbrandssporer samt att diskutera ifall framtida klimatförändringar kan bidra till ett annat smittläge i Sverige för mjältbrand.

MATERIAL OCH METODER

Undersökningen har utförts genom litteratursökning i vetenskapliga databaser. De som använts har varit Web of Science, Scopus, Primo och Google Scholar. Även referenslistor från olika artiklar har använts.

Sökfrågorna som användes har varit olika kombinationer av orden (bacillus anthracis OR anthrax) AND spore AND climate AND outbreak. Vidare söktes det på ordet grave, men det gav inte några relevanta träffar.

LITTERATURÖVERSIKT

Bacillus anthracis

B. anthracis är en grampositiv sporbildande bakterie tillhörande genus *Bacillus* (Songer & Post, 2005). *B. anthracis* betraktas som en obligat patogen, den förekommer inte i normalfloran och framkallar alltid sjukdom, i olika grad, hos de värdjur den infekterar (Hugh-Jones & Blackburn, 2009). *B. anthracis* orsakar sjukdomen mjältbrand, en allvarlig zoonos vars utbrott kan få stora konsekvenser. Mjältbrand drabbar en mängd olika djurarter och sjukdomsförloppet skiljer sig hos de olika arterna (Beyer & Turnbull, 2009).

B. anthracis kan orsaka sjukdom hos djur och människor på olika sätt; sporererna kan inhaleras, förtäras samt upptas genom icke-intakt hud (Weiner & Dixon, 2004).

Olika djurslag är olika känsliga för mjältbrand, idisslare såsom kor, får och getter ses som de mest känsliga och drabbas ofta akut eller perakut av sjukdomen. Djuren får feber i en till två dagar som följs av död. I perakuta fall sker döden direkt utan föregående symptom. Typiskt för kadavren från djur som avlidit av perakut eller akut mjältbrand är att det kan ses ett mörkt blodflöde från kroppsöppningar och en bristande *rigor mortis*. Hästar drabbas av en akut till subakut infektion där döden oftast inträder inom nittiosex timmar. Har hästen förtärt mjältbrandssporerna ses septikemi samt enterit och kolik. Har hästen drabbats av den kutana varianten av mjältbrand ses lokala ödem som sedan sprider sig. (Songer & Post, 2005)

Grisar ses som resistenta mot mjältbrand men kan ibland drabbas, då ofta på grund av att de förtärt kontaminerat foder. Sjukdomen ger oftast digestionsstörning eller svalgantrax på grund av oral infektion. Ett fåtal grisar avlider och sjukdomsdurationen är då vanligen 8 dygn. (Weiner & Dixon, 2004)

När djur har ont om föda, under till exempelvis torra och varma perioder, betar de närmre jorden än vad de normalt gör och kan då få i sig jord och sporer (SVA, 2016). Stressen som djuren drabbas av på grund av födobrist och värme påverkar dessutom deras immunförsvar och kan därmed öka risken för att de ska insjukna i mjältbrand (Hugh-Jones & Blackburn, 2009).

Sporer

När *B. anthracis* utsätts för stress och näringsbrist kommer den att sporulera (Driks, 2009). Då den är fakultativ anaerob trivs den bra inne i den levande kroppen men vid en höjd redoxpotential, vilket uppstår när den döda kroppen öppnas upp för miljön och bakterierna utsätts för ett högre syrgastryck, kan de sporulera och hålla sig levande i en ogästvänlig miljö. Varje bakterie bildar en spor och lyserar sedan (Dragon & Rennie, 1995). Bakterierna har inte heller någon möjlighet att överleva i ett kadaver en längre tid då de naturliga förruttnelseprocesserna och konkurrerande mikroorganismer avdödar vegetativa bakterier (Dragon & Rennie, 1995). När bakterien sporulerar stängs dess metabolism ner och den blir extremt tålig för olika värmeförhållande (Gould, 1977). När sporererna sedan infekterar en organism germinerar de i kroppen för att återigen bli vegetativa bakterieceller med möjlighet att tillväxa.

Det är *B. anthracis* förmåga till att sporulera som ger den möjlighet till att persistera en längre tid i miljön i den utsträckning den gör. Sporeerna klarar sig utan näring, i extrema temperaturer och varierande pH. Willis (2002) beskriver i en artikel de experiment som utfördes på Guinard Islands under andra världskriget och de följer detta fick. Under ett tidigt skede av kriget bestämde sig den brittiska militärmakten i samförstånd med regeringen för att undersöka hur effekterna av mjältbrandssporer kunde yttra sig vid en eventuell biologisk krigföring och hur man bäst skyddade sig mot detta. På den lilla ön Guinard Island utanför Skottlands nordvästkust släppte de mellan juli 1942 och september 1943 en serie bomber innehållande mjältbrandssporer. I slutet av testerna grävde man ner kadavren av de får som avlidit i mjältbrand till följd av experimentet och täckte dem med jord och sten. I slutet av kriget insåg man att ön skulle fortsätta vara farlig i många år framöver och staten köpte därför ön från den privatperson som ägt den. Varje år togs det prover från ön och år 1979 hittade man fortfarande kontaminerad jord i de övre marklagren på vissa platser. År 1983 rapporterades det att man provat ett antal olika de-kontamineringsprocedurer och man bestämde sig för en lösning av 5% formaldehyd och havsvatten. År 1988 kunde man tillslut slå fast att hela ön var säker.

Faktorer som påverkar sporulering

Temperatur;

Man har länge sett att förekomsten av antraxsporer skiljer sig åt mellan länder med ett varmare klimat och länder längre norrut (Davies, 1960). Minnet (1950) har i en artikel sammanställt tidig forskning på området som tydligt visar att tiden det tar för bakterierna att sporulera minskar desto högre temperaturerna är. Artikelförfattaren studerade sedan själv sporbildning både i laboriemiljö samt under förhållanden skapade för att efterlikna naturen. I laboriemiljö kunde det ses att vid 90°F (32,2°C) hade en del bakterier börjat att sporulera redan efter 8 h medan bakterier som förvarades i 70°F (21,1°C) inte började sporulera förrän efter 24 h. Man studerade även två replikat av bakterieodlingar som hölls vid temperaturer mellan 55–60°F (12,7–15,6°C). I den ena odlingen kunde man efter 90 dygn se ett lågt antal levande bakterier och efter 121 dygn fanns inga levande bakterier kvar. I den andra odlingen fanns inga levande bakterier efter 55 dygn. Ingen sporulering syntes i någon av de två odlingarna.

Artikelförfattaren genomförde även flera experiment med kadaver från djur som avlidit i mjältbrand för att studera sporbildning under mer naturliga förhållanden. I ett experiment användes två marsvin som nyligen avlidit i mjältbrand. Deras nackskinn var uppskurna och blodkärlen öppnade. Det ena marsvinet placerades i 90°F (32,2°C) och det andra i 70°F (21,1°C). I blodet från marsvinet som förvarades i 90°F kunde sporulering ses efter 24 h medan man letade upprepade gånger under 120 h i blodet från marsvinet som förvarats i 70°F utan att kunna hitta sporer.

Jord och pH

Mjältbrandssporer föredrar kalkrika jordar med högt innehåll av organiskt material (Hugh-Jones & Blackburn, 2009). I en artikel redogör Himsworth (2008) för att kalk kan gynna mjältbrandssporernas överlevnad och att man därför i Kanada avråder från att använda kalk vid desinfektion efter mjältbrandsutbrott, något man förr rekommenderade.

I en studie gjord av Williams *et al.* (2013) undersökte man hur sporernas yttre lager kunde fästa till olika material. Man jämförde sporer med ett intakt yttre lager med sporer där man avlägsnat det yttre lagret och såg att de intakta sporer i högre grad band till jord med höga halter av organiska material och kalcium medan de sporer som saknade det yttre lagret band i lika stor grad till alla jordarna.

Det har också setts att sporer överlever bättre i basiska jordar med ett pH över 6,1 (Hugh-Jones & Blackburn, 2009). Den dominerande jordarten i Sverige är moränjord (SGI, 2018). Morän är en jord bildad av inlandsisen som när den rörde sig över landytan drog med sig material från berggrunden. Moräns sammansättning påverkas i hög grad av de omgivande bergarterna. Det innebär att jordens pH i Sverige kan variera beroende på de olika geologiska förutsättningarna i omgivningarna. På de ställen där det finns lättroderade bergarter kan man se kalkrika lermoräner. (SGU, 2017)

Fuktighet

Davies (1960) undersökte hur luftfuktigheten påverkade bakteriens förmåga till att sporulera. Detta gjordes genom att först applicera näringsagar på glasskivor och sedan låta dem torka ut helt. Därefter stoppades glasskivorna in i nio olika fuktkammare som hade luftfuktigheter mellan 20–100%. Det förutsattes att agarn skulle ta upp vätska från luften i burken och forskarna väntade 72 timmar för att detta skulle ske. Därefter inokulerades agarkulturerna med en vegetativ form av *B. anthracis*. Bakteriekulturerna förvarades sedan i grupper om fem replikat i två temperaturer; 37°C respektive 26°C för varje luftfuktighetshalt. Vid temperaturen 37°C noterades det att vid fukthalt 100% uppvisade ett av replikaten sporulering redan efter 6 timmar och vid 12 timmar hade alla fem replikaten bildat sporer. Vid 90% fukthalt syntes sporulering hos ett av replikaten inte förrän efter 12 timmar och vid 16 timmar hade alla sporulerat. Samma mönster sågs vid de lägre luftfuktighetshalterna och vid den lägsta luftfuktighetshalten, 20%, hade bara ett replikat uppvisat sporulering efter 34 timmar, de andra replikaten visade ingen sporulering. Vid temperaturen 26°C syntes vid 100% luftfuktighet den första sporuleringen hos två av replikaten efter 24 timmar och alla hade uppvisat sporulering efter 28 timmar. Även vid en luftfuktighet på 90% syntes den första sporuleringen efter 24 timmar och alla replikat hade sporulerat efter 28 timmar. Vid den lägsta luftfuktigheten, 20%, syntes sporuleringen hos alla fem replikat först vid 60 timmar.

Koncentrering av sporer

Van Ness (1971) beskriver i en studie hur mjältbrandssporer samverkar med miljön. Han menar att hypotesen om att sporer inte kan germinera i jord är felaktig och föreslår att det kan finnas områden i miljön som är speciellt gynnsamma för sporer där de kan utvecklas till vegetativa celler och sedan tillbaka till sporer. På detta vis skulle bakterien kunna föröka sig i miljön och därmed koncentreras i tillräckligt högt antal för att infektera betande djur. Van Ness pekar ut områden med pH över 6,0, en temperatur på lägst 15,5°C och där stillastående vatten har urlakat eller dödat gräs och kallar dessa områden för ”inkubatorområden”.

I en artikel menar Dragon & Rennie (1995) att fakta ger van Ness rätt i att mjältbrandsutbrott ofta kan associeras med basiska jordar med högt organiskt innehåll och hög fuktighet men menar att detta har att göra med att vatten samlar ihop och koncentrerar sporer. Antraxsporer är

hydrofoba och detta möjliggör att stora antal sporer kan transporteras med vatten och ackumuleras i stillastående vattenpölar. Detta skulle förklara varför mjältbrandsutbrott ofta följer på regniga vårar.

Mjältbrand och klimat.

I en kommunikation (Kangbai & Momoh, 2017) diskuteras hur klimatförändringar påverkar nordliga och arktiska länder. Författarna menar att dessa regioner nu kan utsättas för högre temperaturer, kraftiga regn samt långa torrperioder och att dessa väderförhållanden kommer att ändra förekomsten av flera olika sjukdomar, däribland mjältbrand. De menar vidare att förändringar i klimatet påverkar både människor och boskaps utbredning och att förändringar i temperatur och nederbördsmonster kan leda till att vilda djur kommer att leva närmre människor och därmed utgöra en större risk för spridning av smittor.

Walsh *et al.* (2018) använde ekologisk nishmodellering för att undersöka sambandet mellan klimatförändringar och utbrott av mjältbrand. De samlade in data för alla utbrott som skett norr om latitud 25°N. Genom att kombinera data från OIE och ProMed fick underökningen in 145 utbrott mellan årtalen 2005 och 2016 som analyserades. Forskarna hämtade data över temperaturavvikelser under samma period från NASA Earth Observation. Förutom att undersöka denna faktorn undersökte forskarna även huruvida faktorer såsom vatten-jord balansen (som ett mått på vattentillgänglighet), betydelsen av mängden vilda hovdjur, jordens pH, populationstätheten av nötkreatur, get och får samt jordens organiska kolhalt kunde kopplas till mjältbrandsutbrott. De fann att de faktorer som hade störst koppling till utbrotten var vatten-jord balansen och temperaturavvikelser. De visade att förutsättningarna för mjältbrandsutbrott blev betydligt gynnsammare när temperaturen steg med några grader.

Walsh *et al.* (2018) fann alltså att klimatet, både temperatur och nederbörd, hade en betydande koppling till risken för mjältbrandsutbrott och menade vidare att under en period på 30 år kommer risken för mjältbrandsutbrott att öka vid fortsatt global uppvärmning. Artikelförfattarna nämner tre förklaringar till varför temperaturskillnader skulle kunna påverka utbrott av mjältbrand. För det första kan en temperaturökning leda till att permafrost i de arktiska områdena smälter och för upp sporer till markytan från kadaver från djur som tidigare avlidit i mjältbrand. För det andra skulle ett torrt klimat kunna leda till ökad mekanisk spridning av sporer om ett utbrott sker och för det tredje kan ett varmt klimat ha en negativ inverkan på värdarnas immunförsvar och på så vis göra dem mer mottagliga för en infektion

Utbrott

Halland 2008

År 2008 inträffade det första mjältbrandsutbrottet i Sverige på 27 år där sammanlagt tio nötkreatur avled. Utbrottet var atypiskt, då det inträffade under vintern och drabbade djur som stod uppstallade och utfodrades med ensilage. Trots försök lyckades forskarna inte påvisa några mjältbrandssporer i fodret. Odlingsmetoden som användes hade ingen känd detektionsnivå då den ej var validerad och det kan därför inte uteslutas att det förekom låga halter sporer som inte kunde detekteras. Fodret hade odlats på ängsmarker nära en å där det året innan varit översvämning och under det aktuella året en torka som innebar att det fanns en möjlighet att

skörda på mark som normalt låg under vattennivån. Det sades att man i denna ån dumpat kadaver från djur som avlidit i mjältbrand på 1950-talet (Lewerin *et al.*, 2010).

Örebro 2011 och 2013

Sommaren 2011 inträffade ett mjältbrandsutbrott i och intill ett naturskyddsområde utanför Örebro. Sammanlagt dog ett tjugotal kor och anledningen anses vara att djuren exponerats för sporer från en mjältbrandsgrav i området från 1940-talet som rubbades då man utdikade marken för dränering. Då ytterligare ett djur drabbades en bit bort från det ursprungliga utbrottet och detta djur druckit från Kvismare kanal som var sammanbundet med det dränerade diket misstänkte man att sporer spridits med vatten. (SVA, 2012)

Sommaren 2013 inträffade ytterligare ett mjältbrandsfall i samma område, men uppströms från den plats där utbrottet 2011 inträffade. Trots detta visade en helgenomsekvensering att bakterien var i det närmaste identisk med isolat från utbrottet 2011. (Ågren, 2014)

Omberg 2016

Den 7 juli 2016 avled en tjur på bete i området Omberg i Östergötland och senare kunde det bekräftas att den var smittad av mjältbrand. Under de följande månaderna drabbades ett flertal nötkreatur, en häst, ett får och även älg av sjukdomen. Utbrottet i Omberg skiljer sig åt från de andra svenska utbrotten under senare tid då det var ett flertal olika besättningar som drabbades över ett större geografiskt område. Dock finns det ett flertal faktorer vid detta utbrott som känns igen från andra tillfällen. Sommaren 2016 var väldigt varm och torr, något som ofta ses i samband med utbrott. Markerna runt Omberg är kalkrika, vilket bidrar till sporens överlevnad i jorden. Det är även känt att det i området förekommit mjältbrand tidigare. Statsepizootologen på SVA nämner att en möjlig hypotes till den större spridningen vid detta utbrott kan bero på att klimatet även gynnade insekter, och att dessa skulle kunna ha bidragit till spridningen mellan besättningarna. Detta är dock inget som kunnat fastslås vetenskapligt vid detta utbrottet. (SVA, 2016)

Hugh-Jones och Blackburn (2009) nämner de teorier som existerar angående flygande insekter som smittspridare av mjältbrand och menar att även då det är en trolig hypotes som skulle kunna förklara hur utbrott sprider sig mellan olika djurflockar, är det något man hittills inte kunnat visa på i praktiken.

Italien 2004

Fasanella *et al.* (2010) beskriver i en rapport ett antal utbrott som skedde i Basilicata i södra Italien sommaren 2004 där sammanlagt 124 djur dog. Mjältbrand förekommer endemiskt men med låg prevalens i detta området och mellan åren 1975 till 2003 finns det 45 fall rapporterade. Sommaren 2004 var dock ovanlig då utbrott skedde utspritt över ett stort område och drabbade många olika slags djur och därför utvärderades det vilka faktorer som kan ha haft betydelse för detta utbrott. Något artikelförfattaren återkom till var att våren 2004 kunde beskrivas som regnig och att den följdes av en het och torr sommar något som skulle kunna orsaka höga koncentrationer av sporer i markerna.

Bosnien och Hercegovina 2010

Maksimovic *et al.* (2017) beskriver i en artikel ett utbrott av mjältbrand i närheten av staden Livno i sydvästra Bosnien och Hercegovina. I en region som inte rapporterat några mjältbrandsutbrott sedan 1986, med undantaget att det inte går att säga hur det såg ut under krigsåren 1992 – 1995, avled 20 nötboskap i mjältbrand mellan den tjugonde augusti och tionde oktober 2010. Djuren betade på ett fält vid foten av en bergskedja. Området innehåller flera sjöar och åar. Våren 2010 var onormalt regnig och detta ledde till ökade vattenflöden och översvämningar. Sommaren som följde var torr och varm med temperaturer som låg ovanför medel. Författaren menar att översvämningarna förmodligen lett till att sporer fördes upp till marknivå och att torkan sedan lett till att vattnet avdunstat och sporer koncentrerats. I samma område inträffade även år 2014 översvämningar liknande dem i 2010 men resulterade i färre fall av mjältbrand. En möjlig förklaring framhäver författaren skulle vara att man i samband med utbrottet 2010 påbörjade ett vaccinationsprogram för boskap i förebyggande syfte.

Ryssland 2016

I Yamalsky-distriktet i Ryssland inträffade sommaren 2016 ett mjältbrandsutbrott som tog livet av ett tusental renar. Det senaste utbrottet inom området var 1941. En möjlig förklaring som diskuteras är att det var de onormalt höga temperaturerna under säsongen för området som ledde till att permafrosten tinade och sporer som legat begravda lyftes upp till ytan. Djuren drabbades när de betade på den kontaminerade marken. (OIE, u.å.)

Klimatförändringarna i de nordligaste delarna av Ryssland är större än i andra delar av världen. Då vi fått en medeltemperaturökning med 0,7°C globalt sett är temperaturökningen i norra Ryssland 1,2°C. Detta leder till att permafrosten smälter och under 1900-talet har dess area på norra halvklotet minskat med 7%. Modelleringar över värmeutbytet i den berörda marken har visat att permafrostens area kommer minska med 10–12% under de kommande 25 åren. I Ryssland finns det över 13 000 gravplatser för mjältbrandskadaver, över hälften av dessa befinner sig i permafrosten i de norra delarna av Ryssland. Man vet att många av dessa gravar inte hanterades enligt de riktlinjer staten förordnat. Klimatmodeller pekar mot en 2,3°C temperaturökning i dessa områden fram till år 2050, något som kommer påverka permafrostens utbredning ytterligare. (Revich *et al.*, 2012)

Klimatförändringar i Sverige

Representative Concentration Pathways (RCP) är fyra utsläppscenarion framtagna på initiativ av FN:s klimatpanel Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) för att beskriva möjliga utvecklingar på grund av människans utsläpp. RCP 8,5 är det scenario som beskriver vad som sker med utsläppen om de fortsätter på samma höga nivåer vi ser idag. Med hjälp av dessa scenarier i kombination med globala och regionala klimatmodeller har forskare vid SMHI:s klimatmodelleringsenhet, Rosby Centre, skapat klimatscenarion där man tex kan se hur Sverige kommer att påverkas av en 2°C global temperaturhöjning. (Persson *et al.*, 2015).

Enligt utsläppsscenario RCP8,5 kommer den globala uppvärmningen på 2 grader ha uppnåtts runt 2040. Medeltemperaturen i Sverige beräknas då ha ökat med mellan 2°C till 4°C. Enligt

ett medelvärde från nio olika klimatscenarion som tagits fram med hjälp av globala klimatmodeller och den regionala klimatmodellen RCA4 kommer temperaturen fortsätta öka och i slutet av århundradet uppgått till en 8°C ökning i de norra delarna av Sverige. (SMHI, u.å.a)

Nederbörd är även det något som kan ändras vid en global uppvärmning på 2°C. Baserat på utsläppscenario RCP8,5 har forskarna vid Rosaby Centre sammanställt nio olika klimatscenarion och räknat ut medelvärdet för de olika scenariernas nederbördsförändringar. Mellan år 2011 - 2040 kommer Sverige se en ökning i nederbörd med 10–15% om klimatförändringarna följer det beräknade scenariot. Nederbörden är beräknad att öka i olika modeller fram till 2100 och om utvecklingen som setts kvarstår kan Sverige i slutet av århundradet ha en nederbörd som ökat med 20–35% jämfört med dagens mängd. (SMHI, u.å.b)

DISKUSSION

Antalet kända mjältbrandsfall i Sverige under 1916 - 1961 överskrider 3000 i antal (Elvander *et al.*, 2017). Det man vet är var utbrotten skedde, vad man inte vet är var kadavren begravdes och huruvida de begravdes korrekt, efter att ha bränt av ytan på djuren innan de lades ner i graven. Utbrotten i Sverige har visat på att det finns faktiska möjligheter att sporer som överlevt i marken kan orsaka nya utbrott. Under olika förutsättningar såsom översvämningar eller av misstag uppgrävda gravar kan mjältbrand utgöra ett reellt hot mot betande djur. Lewerin *et al.*, (2010) visar i sin utbrottsrapport på möjligheten att foder som växt på marker kontaminerade med sporer från tidigare utbrott kan orsaka sjukdom hos djur. Under utbrotten i Örebro kunde det ses att mjältbrandssporer på grund av ett grävarbete infekterade djur samt spreds med vatten (SVA, 2012). Vid det stora utbrottet i Östergötland 2016 fanns flera faktorer som påverkade sporererna, det var en varm och torr period med magert bete och djuren betade nära marken (SVA, 2016). Jorden runt Omberg är kalkrik, något man sett är en gynnande faktor för mjältbrandssporers överlevnad (Hugh-Jones & Blackburn, 2009).

Bakteriernas möjlighet att sporulera när förhållandena är mindre gynnsamma är det som ger *B. anthracis* en förmåga att persistera i markerna under en lång tid, och att motstå extremer i form av låga/höga temperaturer och pH-värden (Gould, 1977). Att veta var mjältbrandsgravar förekommer och jordens sammansättning är viktig kunskap för att kunna förekomma att dessa utbrott sker. Att med hjälp av kunskap om gamla fall kunna undvika att släppa djur på bete där man ser samverkande faktorer såsom kalkrika jordar och översvämningar kan bli viktigt om vi står inför ett ändrat klimat i Sverige.

De olika teorierna som van Ness (1971) samt Dragon & Rennie (1995) framför om hur sporererna samlas i tillräckligt höga koncentrationer är intressanta när man undersöker hur klimatförändringarna kan påverka utbrott. Medan en av teorierna snarare framhäver jordens egenskaper skulle den andra teorin bättre kunna förklara mönstret att mjältbrandsutbrott verkar uppstå efter perioder av kraftiga regn och översvämningar följda av ett varmt och torrt klimat.

Undersökningarna som gjordes på *B. anthracis* förmåga att sporulera visar att de vegetativa cellernas i hög grad påverkas av både temperatur och luftfuktighet (Minnet 1950) (Davies 1960). Om vi ser ett ökat antal utbrott i kombination med klimatförändringar i Sverige så skulle

en sporulering av bakterier från oupptäckta kadaver kunna ske med en större effektivitet än vad vi sett tidigare i Sverige. Den normala medeltemperaturen för Sverige under månaden juli, månaden med den högsta medeltemperaturen, pendlar mellan 4°C till 18°C beroende på var i Sverige man mäter. De högsta temperaturerna uppmäts i södra Sverige och vid Mellansveriges ostkust (SMHI, 2017). Om den förutspådda globala temperaturhöjningen inträffar kan vi i Sverige i slutet av århundradet se en medeltemperaturhöjning under sommaren på upp emot 4–5°C, det skulle innebära att vi på vissa ställen skulle kunna få en medeltemperatur under juli månad på 22° C (SMHI, u.å.c). Som Minnet (1950) visade finns det ett fastställt samband mellan sporulering och temperatur, desto högre temperaturer desto mer effektivt sporulerar bakterien. Om detta dessutom sker på områden där jorden på grund av omgivande bergarter är rik på kalk skulle ett utbrott kunna få långtgående konsekvenser då sporer skulle kunna persistera i marken under många år framöver och dessutom kunna orsaka nya utbrott vid stora nederbördsmängder.

När det gäller utbrottet i Sibirien finns det funderingar över hur det kan ha blivit så pass allvarligt. Då det visats i försök att det inte går att se någon sporulering av bakterier vid temperaturer under 15,6°C (Minnet, 1950) är det underligt att det kan finnas ett sådant högt antal sporer i permafrosten att utbrottet 2016 kostade flera tusen renar livet. En hypotes skulle kunna vara att det är de vegetativa bakterierna som frysts in i permafrosten tillsammans med kadavren och som sedan sporulerat under upptining. Hur länge vegetativa celler skulle överleva i ett fryst tillstånd är svårt att säga, de levande bakterierna är inte lika tåliga som sporer. Under sovjettiden tillverkades mjältbrandssporer medvetet för biologisk krigsföring i Ryssland, och vid ett tillfälle vet man att de spreds utanför en fabrik. Kanske att det möjligtvis persisterar sporer i miljön oavsiktligt spridda av människor?

Att Sverige, och världen, står inför en utmaning när det gäller vårt klimat är svårt att bortse från, och det utsläppsscenario som stämmer bäst överens med trenderna vi ser idag förutspår en 2° global temperaturhöjning redan 2040 (SMHI, u.å.a). Klimatförändringar innebär inte bara höjda temperaturer för Sverige utan även ökad nederbörd. Som man har kunnat se på utbrotten i Italien (Fasanella 2010) samt Bosnien och Hercegovina (Maksimovic *et al.*, 2017), som precis som Sverige ingår i Europa, är kombinationen av översvämningar och påföljande varma och torra perioder något man med stor säkerhet kan koppla till utbrott av mjältbrand. Walsh *et al.* (2018) visade i sin undersökning en för första gången fastställd koppling mellan höjda temperaturer och sammansättningen av jord-vatten med risken för mjältbrandsutbrott och menar att vid en fortsatt global uppvärmning kommer risken för utbrott att öka. Däremot är det inte säkert att utsläppsscenario RCP 8,5 kommer att vara det scenario som blir verklighet, det finns möjligheter att minska våra utsläpp och se en långsammare uppvärmning av vår planet.

Vissa av referenserna i denna litteraturundersökning har varit reviewartiklar, de artiklarna är i sig ofta använda som källor inom området. Detta skulle kunna ses som problematiskt då vissa hypoteser upprepas i flera olika artiklar trots att det inte finns en stark evidens för dessa påståenden. Genom att dessa hypoteser upprepas finns risken att de ses som allmänna sanningar om mjältbrand. Ett exempel på en hypotes som återkommer i flera artiklar är teori om att insekter skulle kunna sprida mjältbrand, något som inte bevisats i praktiken men som det ofta diskuteras kring.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Beyer, W. & Turnbull, P. C. B. (2009). Anthrax in animals. *Molecular Aspects of Medicine*, 30: 481–489.
- Davies, D. G. (1960). The influence of temperature and humidity on spore formation and germination in *Bacillus anthracis*. *Journal of Hygiene*, 58: 177–186.
- Dragon, D. C. & Rennie, R. P. (1995). The ecology of anthrax spores: tough but not invincible. *The Canadian veterinary journal. La revue vétérinaire canadienne*, 36: 295–301.
- Driks, A. (2009). The *Bacillus anthracis* spore. *Molecular Aspects of Medicine*, 30: 368–373.
- Elvander, M., Persson, B. & Sternberg Lewerin, S. (2017). Historical cases of anthrax in Sweden 1916-1961. *Transboundary and Emerging Diseases*, 64: 892–898.
- Fasanella, A., Garofolo, G., Galante, D., Quaranta, V., Palazzo, L., Lista, F., Adone, R. & Jones, M. H. (2010). Severe anthrax outbreaks in Italy in 2004: considerations on factors involved in the spread of infection. *New Microbiologica*, 33: 83-86
- Gould, G. W. (1977). Recent Advances in the Understanding of Resistance and Dormancy in Bacterial Spores. *Journal of Applied Bacteriology*, 42: 297–309.
- Himsworth, C. G. (2008). The danger of lime use in agricultural anthrax disinfection procedures: The potential role of calcium in the preservation of anthrax spores. *Canadian Veterinary Journal*, 49: 1208–1210.
- Hugh-Jones, M. & Blackburn, J. (2009). The ecology of *Bacillus anthracis*. *Molecular Aspects of Medicine*, 30: 356–367.
- Kangbai, J. B. & Momoh, E. (2017). Anthropogenic Climatic Change Risks a Global Anthrax Outbreak : A Short Communication. *Journal of Tropical Diseases*. doi: 10.4172/2329-891X.1000244: 2019-03-03
- Lewerin, S. S., Elvander, M., Westermark, T., Hartzell, L. N., Norström, A. K., Ehrens, S., Knutsson, R., Englund, S., Andersson, A.-C., Granberg, M., Bäckman, S., Wikström, P. & Sandstedt, K. (2010). Anthrax outbreak in a Swedish beef cattle herd - 1st case in 27 years: Case report. *Acta Veterinaria Scandinavica* 52:7. doi: 10.1186/1751-0147-52-7: 2019-03-03
- Maksimovic, Z., Cornwell, M. S., Semren, O. & Rifatbegovic, M. (2017). The apparent role of climate change in a recent anthrax outbreak in cattle. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 36: 959–963
- Minnet, F.C. (1950) Sporulation and viability of *B. anthracis* in relation to environmental temperature and humidity. *Journal of Comparative Pathology*, 60: 161-176
- van Ness, G. B. (1971). Ecology of Anthrax. *Science*, 172: 1303–1307.

OIE (u.å.). *Anthrax, Russia*.

https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Reviewreport/Review?reportid=20689 [2019-03-11]

Persson, G., Strandberg, G. & Berg, P. (2015). *Vägledning för användande av klimatscenarier*. Norrköping: SMHI. (Klimatologi nr 11, 2015)

Revich, B., Tokarevich, N. & Parkinson, A. J. (2012). Climate change and zoonotic infections in the Russian Arctic. *International Journal of Circumpolar Health*. doi: 10.3402/ijch.v71i0.18792. 2019-03-18

Schwartz, M. (2009). Dr. Jekyll and Mr. Hyde: A short history of anthrax. *Molecular Aspects of Medicine*, 30: 347–355.

SGI (2018-10-30). *Jordarter*. <http://www.swedgeo.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/lera-och-kvicklera/> [2019-03-11]

SGU (2017-04-30). *Morän – spår av inlandsisen*. <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/inlandsisen/moran-spar-av-inlandsisen/> [2019-03-11]

SMHI (2017-03-20) *Normal medeltemperatur för juli*.

<https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normal-medeltemperatur-for-juli-1.3991> [2019-03-18]

SMHI (2018-10-04) *Sommaren 2018 – extremt varm och solig*.

<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/sommaren-2018-extremt-varm-och-solig-1.138134> [2019-03-11]

SMHI (u.å.a). *Globala uppvärmningsnivåer*.

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/uppvarmningsnivaer?area=swe&var=t&sc=2C&seas=ar&dnr=0&sp=sv&sx=0&sy=406> [2019-03-12]

SMHI (u.å.b). *Globala uppvärmningsnivåer*.

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/uppvarmningsnivaer?area=swe&var=n&sc=2C&seas=ar&dnr=0&sp=sv&sx=0&sy=439> [2019-03-12]

SMHI (u.å.c). *Klimatscenarier*.

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier#seas=som> [2019-03-18]

Songer, J.G. & Post, K.W. (2005) *Veterinary Microbiology: Bacterial and Fungal Agents of Animal Disease*. St. Louis, Missouri: Elsevier Saunders

SVA (2012). *Sjukdomsrapportering 2011 – En uppdatering av regeringsrapporten 2006*.
https://www.sva.se/globalassets/redesign2011/pdf/om_sva/publikationer/sjukd_rapp2011_low.pdf [2019-03-11]

SVA (2016–08–10). *Statsepizootologen kommenterar: Mjältbrandsutbrottet på Omberg*.
<https://www.sva.se/smittlege/statsepizootologen/statsepizootologen-kommenterar/dates/2016/8/mjaltbrandsutbrottet-pa-omberg> [2019-03-11]

SVA (2018-06-14). *Statsepizootologen kommenterar: Ökade risker för mjältbrand*.
<https://www.sva.se/smittlege/statsepizootologen/statsepizootologen-kommenterar/dates/2018/6/okade-risker-for-mjaltbrand> [2019-03-11]

Walsh, M. G., De Smalen, A. W. & Mor, S. M. (2018). Climatic influence on anthrax suitability in warming northern latitudes. *Scientific Reports*. doi: 10.1038/s41598-018-27604-w. 2019-02-07

Weiner, M.A. & Dixon, T.C. (2004). *Bacillus anthracis*. I: Gyles, C.L., Prescott, J.F., Songer, J.G. & Thoen, C.O. (red), *Pathogenesis of Bacterial Infections in Animals*. 3.uppl. Ames, Iowa: Blackwell Publishing, 57-67

Widenberg, J. (2017). *Den stora kreatursdöden: kampen mot boskapspest och mjältbrand i 1700-talets svenska rike*. Stockholm: Carlsson Bokförlag

Williams, G., Linley, E., Nicholas, R. & Baillie, L. (2013). The role of the exosporium in the environmental distribution of anthrax. *Journal of Applied Microbiology*, 114: 396–403.

Willis, E. A. (2002). Landscape with Dead Sheep: What They Did to Gruinard Island. *Medicine, Conflict and Survival*, 18; 199-211.

Ågren, J. (2014). *Using genomics to improve Bacillus anthracis diagnostics and outbreak investigations*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.