



Bedövningsmetoder för gris vid slakt

Stunning methods for pigs at slaughter

Torun Wallgren, Anna Wallenbeck, Charlotte Berg

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
Avdelningen för Miljö, omsorg och djurhälsa

Skara 2020

Rapport 51

*Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Animal Environment and Health
Section of Environment, care and herd health*

Report 51

ISSN 1652-2885

Bedövningsmetoder för gris vid slakt

Stunning methods for pigs at slaughter

Torun Wallgren, Anna Wallenbeck, Charlotte Berg

Rapport till jordbruksverket

Innehåll

Definitioner	6
Inledning.....	6
Uppdraget.....	6
Bakgrund.....	6
Arbetets upplägg och avgränsningar.....	6
Bedöma djurvälfärd	7
Drivning till och initiering av bedövning	8
Bedövning.....	9
Avblodning	10
Mekanisk bedövning.....	10
Penetrerande bultpistol	11
Drivning.....	11
Bedövningens inducering	11
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	11
Djurvälfärdsaspekter.....	11
Fri projektil	12
Drivning.....	12
Bedövningens inducering	12
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	12
Djurvälfärdsaspekter.....	13
Gasbedövning.....	13
Koldioxid	14
Drivning.....	14
Bedövningens inducering	14
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	15
Djurvälfärdsaspekter.....	15
Kväve	16
Drivning.....	17
Bedövningens inducering	17
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	17
Djurvälfärdsaspekter.....	17
Argon	18
Drivning.....	18
Bedövningens inducering	18
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	18
Djurvälfärdsaspekter.....	18
Helium.....	19
Drivning.....	19
Bedövningens inducering	19
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	19
Djurvälfärdsaspekter.....	19
Xenon.....	19

Drivning	20	
Bedövningens inducering	20	
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	20	
Djurvälfärdsaspekter	20	
Low atmosphere pressure stunning (LAPS)	20	
Drivning	20	
Bedövningens inducering	20	
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	21	
Djurvälfärdsaspekter	21	
Gasblandningar	21	
Kväve och koldioxid	22	
Argon och koldioxid	22	
Elektrisk bedövning		23
Elektrisk bedövning över huvudet	24	
Drivning	24	
Bedövningens inducering	24	
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	25	
Djurvälfärdsaspekter	25	
Elektrisk huvud-till-kropp eller huvud-till-rygg bedövning/avlivning, 1-fas metod		26
Drivning	26	
Bedövningens inducering	26	
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	26	
Djurvälfärdsaspekter	26	
Elektrisk huvud-till-kropp eller huvud-till-rygg bedövning/avlivning, 2- fasm Metod		27
Drivning	27	
Bedövningens inducering	27	
Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll	27	
Djurvälfärdsaspekter	27	
Diskussion		28
Vetenskapligt underlag	28	
Drivning	31	
Hantering och fixering	31	
Risk för misslyckad bedövning	31	
Bedövningssupplevelse	31	
Säkerhet i bedövning	31	
Risker med bedömningen av medvetlöshet	31	
Risker kopplade till sticketid	32	
Jämförelser mellan bedövningssystem och bedövningssystem	32	
Koldioxid och elektricitet	32	
Koldioxid och argon	32	
Koldioxid, kväve och argon	33	
Koldioxid och kväve	33	
Koldioxid och helium	34	
Koldioxid och LAPS	34	
Koldioxid och lustgas (N ₂ O)	34	

Övriga faktorer	34
Gasstabilitet och gashantering	35
Arbetsmiljö	35
Kostnad och tillgänglighet	35
Tidigare bedömningar	35
EFSA.....	35
Eurogroup for animals	36
Kunskapsluckor och framtida forskning	36
Slutsatser	36
Referenser.....	37

Definitioner

Anoxi: Fullständig avsaknad av syretillförsel.

Aversiv: Negativ stimulering.

Bedövning: Avsiktligt framkallad process som leder till att ett djur förlorar medvetandet och förmågan att känna smärta.

Död: Fysiologiskt stadium då andning och blodcirkulationen avtar samt motsvarande regioner i hjärnan är irreversibelt inaktiva (EFSA, 2013). I denna kontext är de främsta kliniska tecknen på död avsaknad av andning (eller dragande efter andan, avsaknad av puls och vidgade pupiller (EFSA, 2004; EFSA 2006). I Sverige används hjärtdöd, dvs. upphörd rytmisk hjärtaktivitet, som kriterium på att ett djur är dött.

Hypoxi: Otillräcklig syretillförsel.

Kloniskt anfall: Rytmiska, symmetriska sammandragningar/kramper i hela kroppen.

LOP: Loss of posture. Då grisen upphör att stå och försätts i en liggande position vid bedövning.

Residualsyre: Kvarvarande syre.

Sticktid: Tid från bedövning till avblodning.

Toniskt anfall: Muskelkramper i form av stelhet i kroppen, kollaps av kroppen.

Inledning

Uppdraget

Uppdraget omfattar att sammanställa all relevant djurvälståndsforskning på samtliga bedövningsmetoder för gris vid slakt på uppdrag av Jordbruksverket. Forsknings-sammanställningen ska ge korrekt bild av det aktuella vetenskapligt läget för dessa metoder och ta upp olika metoders för- och nackdelar omfattande alla faktorer som på något sätt kan påverka djurvälståndet vid bedövning och slakt och avsaknad av kunskap om vissa relevanta aspekter ska också redovisas. Forsknings-sammanställningen får innehålla forskarnas bedömningar om olika metoders potential att utvecklas när så är möjligt.

Bakgrund

Enligt Djurskyddslagen (2018:1192 5 kap 1§) ska djur skonas från onödigt lidande och obehag vid slakt, samt vara bedövade innan slakt via avblodning. Med bedövning avses varje avsiktligt framkallad process som leder till att ett djur förlorar medvetandet och förmågan att känna smärta (EG 1099/2009). Syftet med bedövning innan avlivning är förebygga smärta och lidande hos det djur som ska avlivas genom att inducera medvetlöshet fram till dess att döden inträder (Steiner m.fl., 2019).

En idealisk bedövningsmetod inducerar medvetlösheten utan att själv skapa stress eller smärta (Steiner m.fl., 2019). Det är dock känt att stress och smärta förekommer vid olika bedövningsmetoder både relaterat till induceringen av bedövningen och/eller hanteringen av djuren innan induceringen av bedövningen sker. Både hanteringen innan bedövningen, själva bedövningsprocessen och effektiviteten hos bedövningen, är därför av stor vikt när man bedömer djurvälståndet vid slakt hos djur (Brandt & Aaslyng, 2015).

Syftet med denna rapport är att sammanställa existerande vetenskaplig kunskap kring djurvälstånd vid bedövning i samband med slakt av gris med olika bedövningsmetoder samt att identifiera kunskapsluckor. Rapporten baseras på vetenskapliga studier och rapporter.

Arbetets upplägg och avgränsningar

Hantering av levande djur på slakteriet startar vid avlastning från slakttransporten och pågår fram till avlivning. Hanteringen av djur på slakteri omfattar därmed avlastning, uppställning, förflyttning av djur, fixering, bedövning och avblodning (EFSA, 2019). Hanteringen påverkar på djurens välfärd är därför relevant för alla dessa steg. Denna rapport fokuserar på de delar av hanteringen som relaterar till bedövningen och dess påverkan på djurens välfärd. Därför har vi endast inkluderat påverkan på djurvälfärd relaterad till drivningen innan bedövning samt till bedövning och avlivning eftersom övrig hantering av djuren normalt inte skiljer sig mellan de olika bedövningsmetoderna.

Eftersom syftet med denna rapport är att beskriva de djurvälfärdsrelaterade aspekterna av olika bedövningsmetoder läggs fokus på just djurvälfärden. Andra aspekter som påverkas av bedövningsmetod, såsom exempelvis köttkvalitet, arbetsmiljö och ekonomi, kommer inte att beröras i denna rapport.

Denna rapport tar heller inte hänsyn till faktorer utanför slakteriet som kan påverka djurvälfärden vid bedövning, såsom genetik eller transport, eftersom de inte påverkas specifikt av bedövningsmetoden. Eftersom rapporten endast omfattar bedövning av gris vid slakteri har bedövningsmetoder avsedda för icke slaktmogna (<100kg) djur, såsom slag mot huvudet vilket kan användas vid avlivning av mycket unga smågrisar på gård, utelämnats ur rapporten.

Det finns ett antal studier som undersökt samband mellan slaktkroppens egenskaper och djurens välfärd. Detta har ansetts ligga utanför syftet med denna rapport och har därför inte inkluderats. Nämnvärt i sammanhanget är dock att köttkvalitet generellt sett påverkas positivt vid bl.a. minskad stress vid hantering, vilket är positivt även ur djurvälfärdssynpunkt (Warner m.fl., 2007).

Bedöma djurvälfärd

Djurvälfärd inkluderar tre viktiga delar: djurets subjektiva upplevelse av sin situation, djurets biologiska funktion och djurets förmåga att anpassa sig till miljön den befinner sig i (se t.ex. Broom, 1986; Fraser m.fl., 1997; Keeling m.fl., 2011). Ett sätt som djurvälfärd ofta definieras på är genom de fem friheterna; frihet från hunger och törst, frihet från obehag, frihet från smärta, skada och sjukdom, frihet att utföra naturligt beteende samt frihet från rädsla och oro (FAWC, 2009). Vid slakt, och mer specifikt bedövningen innan slakt, är därför frihet från smärta och skada samt frihet från rädsla och oro särskilt relevanta. Vid drivning till bedövning är det därför viktigt att djuren får möjlighet att röra sig på ett för arten normalt och naturligt sätt och att drivningssystemen utformas för att underlätta detta (Grandin, 2003).

Att bedöma djurvälfärd är komplext. Eftersom begreppet djurvälfärd inkluderar djurets subjektiva upplevelse anses det svårt att mäta och man använder sig istället av indikatorer på djurvälfärd. För att bedöma djurvälfärd krävs information om flera olika aspekter av djurvälfärd, t.ex. både resursbaserade indikatorer (s.k. input indikatorer så som t.ex. utformning av drivgångar och hantering av djuren på slakteriet) och djurbaserade indikatorer (s.k. output indikatorer så som t.ex. djurets fysiologiska och beteendemässiga reaktioner). Ofta är det inte vetenskapligt klarlagt hur dessa olika bedömningar står i relation till varandra varför en enkel och total djurvälfärdsbedömning är svårt att presentera. På grund av komplexiteten i djurvälfärdsbedömningar så saknas specificitet, som t.ex. berättar *hur* aversivt något upplevs (Mason & Mendl, 1993). Specifika jämförelser mellan system är därmed o svåra att värdera vetenskapligt. Hur djurvälfärd bedöms, särskilt vilka olika aspekter av djurvälfärd som bedömts, skiljer dessutom mellan olika rapporter (Weary & Robbins, 2019) vilket ytterligare försvårar jämförelser mellan utvärderingar av olika metoder.

Välfärd bedöms ofta genom att undersöka djurens fysiologiska och beteendemässiga reaktioner i en situation. Att iaktta beteenden kan ge en direkt indikator på stressnivån hos djuren, medan fysiologiska tester såsom blodprov behöver analyseras innan de kan ge information om stressnivån. Beteenden såsom vokalisering, trängsel eller halka används ofta som indikatorer på att djuren är stressade eller påverkas negativt av sin miljö. Nya miljöer, såsom slakteriet eller bedövningsboxen, kan ofta orsaka stress i sig (Becerril-Herrera m.fl., 2009). Avsaknaden av beteenden kan också användas, så som att avsaknad av regelbunden andning eller avsaknad av reflexer kan indikera medvetslöshet. Fysiologiska mått kan vara invasiva (kräva ett ingrepp) såsom blodprov, eller icke-invasiva såsom observation av andningsrytm. Ett exempel på ett icke-invasivt fysiologiskt mått är hjärtrytm, vilken kan fungera som en indikator för det autonoma nervsystemet fungerar, men kan även användas som en indikator på stress (von Borell & Veisser, 2007). Analys av

avblodningsblodet kan ge information fysiologiska indikatorer om stressnivån hos djuret innan och avblodningen (Nowak m.fl., 2007).

Drivning till och initiering av bedövning

Hantering innan bedövningen kan påverka djurens välfärd (EFSA, 2004). Djurväl-färden under drivningen till bedövning kan bedömas genom att studera djurens beteende, där beteenden såsom fall, trängsel, backa, vända och vokalisera bedöms som negativa indikatorer för djurväl-färd (Brandt & Aaslyng, 2015). Vidare kan fysiologiska indikatorer såsom blodglukos, laktat, kropps- och blodtemperatur hos levande djur eller pH-mätningar av slaktkroppen indikera stressnivån hos det djuret (Brandt & Aaslyng, 2015).

Ett antal risker som påverkas specifikt av olika bedövningsmetoder har identifierats gällande hantering och förflyttning av grisar på slakteri; olämplig hantering, olämplig design av portar, användning av elektriska pådrivare, för snabb drivning, blanda obekanta djur samt drivgångar som omöjliggör att grisarna kan gå fler än en åt gången (EFSA, 2019). Felaktig hantering av djur kan resultera att djur upplever rädsla eller smärta, så även på slakteriet (Brandt & Aaslyng, 2015) och hantering är därför av stor vikt för djurväl-färden.

Efter avlastning på slakteriet placeras grisarna vanligen i en väntbox, där de hålls fram till att det är dags att initiera bedövningen. I väntboxen kan grisar från olika grupper blandas, vilket kan ge upphov till bråk. Från väntboxen flyttas grisarna sedan via drivgångar till bedövningsboxen, antingen manuellt av människor eller genom automatiska grindar (Brandt & Aaslyng, 2015). I vissa system är drivgångarna utformade så att endast en gris i taget kan gå, medan andra är utformade så att grisarna kan gå i grupp (Brandt & Aaslyng, 2015). Grisar är flockdjur och upplever generellt stress när separeras från sin flock. Varför system där djuren kan röra sig tillsammans är att föredra. Isolering från andra grisar kan därför i sig självt fungera som ett aversivt stimulus och leda till flyktt försök (Raj & Gregory, 1996). Förflyttning av grisar i små grupper, så att drivaren kan nå alla grisar, är att föredra ur djurväl-färdssynpunkt (EC, 2002). Större grupper är svåra att hantera och ökar risken för blåmärken på slaktkroppen (Dalla Costa m.fl., 2019). I mindre grupper rör sig grisarna troligen mindre, även då grupperna delas i mindre enheter, vilket gör att de får färre blåmärken eller frakturer. Generellt anses hantering av grisar i mindre grupper mindre negativt ur välfärdssynpunkt. I system där grisar tvingas gå enskilt krävs oftare hårdare drivning, exempelvis med elektriska pådrivare (Brandt & Aaslyng, 2015). Användningen av elektriska pådrivare är aversivt för grisar och ökar hjärtfrekvensen, vokaliseringen, och trängseln samt ökar andelen grisar som halkar och ramlar i jämförelse med exempelvis drivning med paddel, samt ökar förekomsten av blåmärken i köttet (Correa m.fl., 2010). Användningen av elektriska pådrivare bör därför undvikas (EC, 2002). Ofta går heller inte drivningen fortare vid användning av elektriska pådrivare eftersom att grisarna kan bli så stressade att de försöker vända tillbaka istället för att fortsätta framåt (EC, 2002). Enligt en kanadensisk studie användes elektriska pådrivare på mellan 0 och 80 % av grisarna trots att pådrivaren endast använts då grisar vägrade att gå och trots att hanteringen skedde av personer med väl utbildade hanterare (Grandin, 2003). Även då grisar drivs i stora grupper krävs oftare elektrisk pådrivare för att få grisarna att gå in på rad en efter en, i bedövningsboxen (Stoier m.fl., 2001). I EU är användning av elpåfösare endast tillåten på vuxna grisar, vilket i Sverige och flertalet andra medlemsstater tolkas som att sådan utrustning inte får användas på slaktgrisar (ref 1099/2009).

Individuell bedövning, såsom bultning eller elbedövning, innebär normalt att djuret måste fixeras kraftigt vilket vanligen kräver individuell hantering. Fixering, särskilt då djuret hålls fast, kan orsaka både rädsla och stress, bland annat eftersom naturliga instinkter, så som att fly, hämmas. Felaktig fixering kan även orsaka smärta. Fixering har identifierats som en av de mest stressfyllda och smärtsamma situationerna under slaktprocessen (EFSA, 2004). Ett antal risker som påverkas specifikt av olika bedövningsmetoder har identifierats gällande fixering av grisar på slakteri; olämplig fixering som orsakar skador, olämplig design av fixering för mindre/större djur, olämplig hantering vid fixering, för lång fixering, otillräcklig underhåll av fixeringssystemet, för stort antal djur i fixeringen samt nödvändig immobilisering (EFSA, 2019). För att minimera stressen som uppkommer vid fixering ska djuret bedövas omedelbart efter fixeringen (SJVFS 2019:8 7 kap 4 §L22).

Gruppvis behandling och minimering av hantering och fixering anses därför som positivt från djurväl-färdssynpunkt (EFSA, 2004). Vid gruppvis bedövning kan djuren ofta hantera i grupp och föregås sällan av kraftig fixering inför bedövningen. Hur drivningen sker och hur bedövningen initieras kan därmed ha betydande roll för både djurflödet och djurväl-färden.

Bedövning

Bedövning innan slakt är ett lagstadgat krav inom EU, och finns för att djur ska kunna slaktas utan att ge upphov till onödigt lidande, rädsla, ångest, smärta och stress (EFSA, 2004). Bedövningen påverkar hjärnans basala funktioner och hindrar djuret från att uppleva smärta och stress. Effektiva bedövningsmetoder avbryter neuronernas eller neurotransmittornas normala mekanismer i hjärnan, vilket resulterar i att djuren blir medvetslösa och okänsliga (EFSA, 2004). Djurskyddsmässigt acceptabla slaktmetoder ska därför inducera medvetslöshet direkt *eller* när direkt inducering av medvetslöshet inte är möjligt ska induceringen av medvetslöshet vara icke-aversiv och inte i sig orsaka ångest, smärta, stress eller lidande hos medvetna djur. Det finns i huvudsak tre olika typer av bedövningsmetoder för gris; mekanisk, elektrisk och gasbedövning (EFSA, 2004) vilka kommer beskrivas mer i detalj under respektive avsnitt i rapporten. I Sverige är bultpistol, kulvapen, hagelgevär, elektricitet och koldioxid godkända bedövningsmetoder för gris (SJVFS 2020:22). De vanligaste metoderna för att bedöva gris är idag elektrisk bedövning eller koldioxidbedövning (Becerril-Herrera m.fl., 2009). Bedövningen kan vara reversibel, vilket innebär att djuret i teorin kan återfå medvetandet efter bedövningen släppt, eller irreversibel, vilket innebär att ett djur inte kan återfå medvetandet efter en korrekt utförd bedövning (Becerril-Herrera m.fl., 2009). Efter bedövningen ska djuren stickas och avblodas, varpå döden inträffar alternativt säkerställs (oavsett om bedövningen varit reversibel, irreversibel eller direkt dödande). Själva avlivningen sker vanligen genom att artärer (och vener) i halsen skärs av och därmed förhindrar blodflödet till hjärnan varpå djuret dör (Becerril-Herrera m.fl., 2009; Mota Rojas m.fl., 2012). Generellt är mekanisk bedövning irreversibel medan elektisk- och gasbedövning är reversibla, men detta beror bl.a. på vilka parametrar som används och under hur lång tid de används. Vidare kan vissa bedövningsmetoder, exempelvis gasbedövning, i förlängningen avliva djuren även utan avblodning. Under och efter bedövningen kan djurens beteende (inklusive reflexer) användas för att avgöra effektiviteten hos bedövningen (EFSA, 2004). Djurvälstånd vid bedövning kan undersökas bl.a. genom blodglukos, laktat och haematokrit, blodtemperatur, koldioxidkoncentration i bedövningssystemet, aversiva reaktioner mot ren koldioxid, vokalisering (Brandt & Aaslyng, 2015). Grisar som inte bedövats innan avblodning uppnår medvetslöshet ca 25 sekunder efter att stick skett (EFSA, 2004).

Vid otillräcklig bedövning hindras inte djurets upplevelser och djuret hindras inte från att uppleva smärta och stress i samband med avlivningen varför det är av stor vikt att bedövningen utförs korrekt (Brandt & Aaslyng, 2015). Påverkan av medvetande definieras som oförmågan att reagera normalt på externa stimuli (EFSA, 2004). För att säkerställa god djurvälstånd måste bedövningen vara ihållande fram till dess att döden inträffar, vilket därmed innefattar både intervallet mellan bedövning och avblodning och intervallet mellan avblodning och död (Atkinson m.fl., 2012). Idag regleras inte tiden mellan bedövning och avblodning i lagtexten utan ska anges i slakteriets standardrutiner. Symptom på inadekvat bedövning kan uppstå även efter att grisen avblodats och hängts upp (Atkinson m.fl., 2012). Bedövningens inträdande och varaktighet kan bedömas på olika sätt beroende på omständigheterna. Tiden till dess att djuret ramlar ihop (LOP= loss of posture) används ofta som en första indikator för förlorande av medvetande (Velarde m.fl., 2007). Experimentellt bedöms ofta bedövningens inträdande med hjälp av mätningar av hjärnaktivitet (exempelvis EEG). Men bedövning kan även bedömas med hjälp av beteende och andra fysiska reflexer som kan vara lättare att bedöma vid tillfällen såsom vid kommersiell slakt där EEG-mätning i praktiken är omöjlig. Olika typer av beteenden kan användas såsom; vokalisering, andning, kollaps och spasmer, epileptiformt anfall, avsaknad av reflexer. I praktiken rekommenderas att förekomst av bl.a. ögonreflexer, rytmiskt andning och försök att ställa sig upp alltid ska undersökas för att säkerställa att djuren inte är vid medvetande efter bedövning (EFSA, 2004; EFSA 2013)

Tecken på inadekvat bedövning är bl.a. cornealreflex(ögonreflex), eller regelbundna andetag (Atkinson m.fl., 2012). Avsaknad av reflexer används ofta som ett tecken på förlorat medvetande men är inte ett säkert tecken på medvetandegrad även om avsaknad av ögonreflex troligen bara förekommer hos medvetslösa djur. Upphörd eller oregelbunden andning är ett tecken på bedövning. Om andningen återgår till normal rytm är det ett tecken på att bedövningen är på väg att brytas. Vokalisering vid inducering av bedövning räknas generellt sett alltid som ett tecken på smärta eller lidande även om avsaknad av vokalisering inte ska ses som ett tecken på avsaknad av smärta eller lidande (EFSA, 2004). Kollaps och spasmer, ses ofta vid mekanisk bedövning och elektrisk bedövning, men sker ofta mer gradvis vid gasbedövning. Djur som inte blivit adekvat bedövade får bristande djurvälstånd eftersom de upplever smärta, rädsla och andra negativa effekter av slakten (EFSA, 2004). Bland annat skapar avblodningen en snabb sänkning av blodtrycket som ger rädsla och panik, om djuret inte är medvetslöst.

Avblodning

Bedövning inducerar temporär förlust av medvetandet och det är därför av största vikt att avblodning, vilket leder till döden, sker innan medvetandet återfås (EFSA, 2004). Döden definieras som ett fysiologiskt tillstånd då respiration och blodcirkulation har upphört till följd av att de respiratoriska och cirkulatoriska centrumen i förlängda märgen (hjärnan) har upphört att fungera. Eftersom syre och näring då inte längre tillförs hjärnan förloras medvetandet och kan inte återfås (EFSA, 2004). Avblodningen sker genom att snitta artärer (och vener) vid halsen eller bröstet, vilket förhindrar hjärnan att nås av syre och näring (Mota-Rojas m.fl., 2012). Grisar avblodas vanligen genom ett stick i bröstet, vilket kapar de huvudsakliga blodkärlen från hjärtat (EFSA, 2004; EFSA 2020). Tecken på att döden har inträffat är bland annat avsaknad av andning och puls samt påvisade förstorade pupiller (EFSA, 2004). Hur länge bedövningen håller i sig beror framförallt på vilken bedövningsmetod som använts, men det finns också individuella variationer mellan djur (EFSA, 2004). Sticktiden måste därför anpassas så att döden inträffar innan djuret återfår medvetandet efter bedövningen (EFSA, 2004). Bedövningsmetoder som i sig leder till döden är inte beroende av tiden till avblodning ur djurvälståndssynpunkt, under förutsättning att all bedövning är framgångsrik. Bedövningsmetoder som leder till döden ska därför prioriteras om de finns tillgängliga och är bevisat effektiva (EFSA, 2004).

Mekanisk bedövning

Vid mekanisk bedövning ska djuret skjutas så att hjärnan träffas och skadas på ett sådant sätt att djuret omedelbart förlorar medvetandet (SJVFS 2020:22, 7 kap 3 § L22). En lyckad mekanisk bedövning ska resultera i att djuret faller ihop och efterföljs av kramptillstånd varefter rytmisk andning ska upphöra och blicken bli ofokuserad (Tabell 1). Ögats cornealreflex försvinner och djuret ska inte vokalisera. Djuren ska bedövas på första försöket, särskilt eftersom en skjutning minskar risken för att bedövningen ska lyckas efterföljande försök (EFSA, 2004).

Det finns olika typer av mekaniska bedövningsmetoder. Den vanligaste mekaniska bedövningsmetoden är bultpistol, vilken kan vara penetrerande eller icke-penetrerande (EFSA, 2004). Vid bedövning av gris är dock endast penetrerande bultpistol godkänd inom EU. Förutom bultpistol räknas även bedövning med fri kula till de mekaniska metoder som är godkända för bedövning av slaktmogna grisar inom EU (över 100 kg levandvikt). Idag används vanligen inte mekanisk bedövning av gris under kommersiella förhållanden, utan snarare som back-up metod när den ordinarie bedövningsmetoden fallerat (EFSA, 2004).

Ett antal risker har identifierats gällande mekanisk bedövning av grisar på gårdsnivå, som även kan vara aktuella på slakteriet: otränad personal, felaktig placering av bultpistolen, underhållet av utrustningen, felaktig skjutposition, avsaknad av standardrutiner (SOP), felaktig bultstorlek samt att djur kan se andra djur bli bedövade (EFSA, 2019)

Tabell 1. Kontroll av bedövning vid mekanisk metod (Algers m.fl., 2012)

Normal kontroll	Ytterligare indikatorer
Omedelbar kollaps	Avslappnad muskulatur i nacke/hals, tunga och öron
Kramp, följt av benrörelser	Ingen vokalisering
Inga tecken på rättning	Dilaterad pupill
Ingen normal andning	Ingen hornhinnereflex
Öppna ögon, ofokuserad blick	Ingen rotation av ögongloberna
	Avsaknad av reaktion på smärtstimuli

Penetrerande bultpistol

Penetrerande bultpistol används vanligen inte som bedövningsmetod för gris vid kommersiell slakt, eftersom det krävs individuell hantering och kraftig fixering av djuret. Bultpistolen måste vara anpassad efter djuret som skall bedövas med avseende på bultpistolens massa, velocitet, diameter och bultens längd för att säkerställa korrekt bedövning (EFSA, 2004).

Drivning

Vid bultning krävs att grisen fixeras kraftigt för att bultpistolen ska kunna riktas rätt och därmed krävs att grisarna hanteras och drivs individuellt.

Bedövningens inducering

Bedövningen initieras genom att bulten penetrerar skallbenet och orsakar skador på hjärna och hjärnstam liknande en kraftig hjärnskakning (EFSA, 2004). Hjärnskadorna påverkar nervfunktionen och orsakar medvetlöshet och avsaknad av reflexer (EFSA, 2004; Shaw, 2002).

Skadorna som uppkommer med penetrerande bultpistol blir irreversibla. Normalt sätt appliceras bultpistolen i pannan (Anderson m.fl., 2019). Appliceras inte bultpistolen i rätt vinkel riskerar bulten att inte penetrera skallbenet på rätt sätt vilket kan leda till ofullständig bedövning (EFSA, 2004). Grisar är svåra att bulta eftersom det korrekta området för bultning är litet. Appliceringen kan ytterligare försvåras av formen på huvudet hos vissa raser och äldre grisar (HSA, 1998; EFSA 2004). Äldre djur (galtar och suggor) kan ha tjockt ben där bulten ska placeras vilket försvårar för bultpistolen att penetrera ska benet och ökar därmed risken för ofullständig bedövning (HSA, 2001). Särskilt stora galtar kan vara mycket svåra att bedöva med bultpistol på grund av bihålornas storlek och det faktum att hjärnan ligger långt in i skallen (EFSA, 2004; HSA, 1998; Blackmore et al, 1995)

Applicering av bultpistolen bakom örat har undersökts eftersom applicering i pannan därtill försvåras av grisarnas nyfikenhet och ofta oförmåga att stå still vid hantering framifrån (Anderson m.fl., 2019). Vid bultning bakom örat förlängs bultens väg varför bultning i pannan är att föredra då det i större grad leder till kontakt mellan bult och hjärna och därmed korrekt bedövning. Det finns också skäl att anta att den kraft som överförs från bulten till huvudet blir lägre om bulten träffar mjukvävnad istället för ben, vilket innebär att bedövningen då riskerar att bli ofullständig och/eller mindre varaktig. Att bulta bakom örat har visat sig vara mer beroende av exakt korrekt placering, och bedömdes kräva mer studier innan det kan fungera kommersiellt (Anderson m.fl., 2019).

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Direkt efter korrekt bultning kollapsar djuret och får ett kort toniskt anfall (i ca 3-5 sekunder) efterföljt av att corneal-reflexen försvinner och andningen avtar (EFSA, 2004). Efter det toniska anfallet drabbas grisen av ett kloniskt anfall som varar i flera minuter varvid pupillerna vidgas. En korrekt bultning är irreversibel, men för att minimera risken för återhämtning ska grisen stickas så fort som möjligt, helst inom 15 sekunder (HSA, 2001; EFSA, 2004). Vid hemslakt i Sverige gäller max 60 sekunders sticktid.

Djurvälfärdsaspekter

Välfärdsriskerna med penetrerande bultpistol omfattar bland annat korrekt applicering och svårigheten att korrekt bedöva äldre djur och vissa raser, beroende på huvudets anatomi (Tabell 2). Bedövning med penetrerande bultpistol kan vara en lämplig bedövningsmetod, givet att det inte är äldre grisar som suggor och galtar som ska bedövas (EFSA, 2004). Idag finns ingen automatisk metod tillgänglig för att bulta grisar, varför effektiviteten och hanteringen kring bedövningsmetoden är helt beroende av den utbildning och skicklighet individen som ska utföra bedövningen besitter (EFSA, 2004). Bedövning med bultning är idag associerat med individuell hantering och fixering. Individuell hantering har, som tidigare nämnts, associerats med stress och hårdare drivning av grisar (Raj & Gregory, 1996; Brandt & Aaslyng, 2015) vilket anses negativt ur djurvälfärdssynpunkt. Vidare har individuell fixering identifierats som den enskilt mest stressande och smärtsamma delen av slaktprocessen (EFSA, 2004). Den omedelbara, irreversibla bedövningen ses däremot som positiv ur djurvälfärdssynpunkt.

Tabell 2. Djurvälståndaspekter och risker för bedövning med penetrerande bultpistol.

Positiva djurvälståndaspekter	Negativa djurvälståndaspekter	Välståndsrisker
Omedelbar bedövning	Individuell hantering	Korrekt applicering
Irreversibel bedövning	Fixering	Äldre djur och vissa raser

Fri projektil

Fri projektil är idag en tillåten bedövningsmetod på gris inom EU. Hit räknas kul- och hagelvapen inklusive stötbössor, dvs. ombyggda kulgevär som endast avfyras vid direktkontakt. All användning kräver att ammunitionen är anpassad för djurslag och djurets storlek. Fri kula anses dock inte som en lämplig metod för avlivning av gris på slakteri, utan används framförallt på gård vid hantering av sjukdomsutbrott (EFSA 2004). På gris används fri kula i princip endast som back-up metod vid när den ordinarie bedövningsmetoden inte fungerat adekvat (EFSA, 2004).

Drivning

Fri projektil används framförallt som back-up metod på slakteri, varför drivningsmetoderna snarare beror på den huvudsakliga bedövningsmetoden. Vid användning av stötbössor krävs att grisen fixeras för att bultpistolen ska kunna riktas rätt och därmed krävs att grisarna hanteras och drivs enskilt. Vid bedövning med kul- och hagelvapen kan djuret vara ofixerat, vilket i praktiken dock inte sker.

Bedövningens inducering

Induceringen av bedövningen motsvarar bedövning med penetrerande bultpistol, förutom att vapnet inte står i direktkontakt med djuret vid avfyrning, med undantag vid användning av stötbössor.

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Varaktigheten, tillförlitligheten och kontrollen är densamma för fri projektil som för penetrerande bultpistol.

Tabell 3. Djurvälståndaspekter och risker för bedövning med penetrerande fri projektil.

Positiva djurvälståndaspekter	Negativa djurvälståndaspekter	Välståndsrisker
Stötbössa		
Omedelbar bedövning	Individuell hantering	Korrekt applicering
Irreversibel bedövning	Fixering	Äldre djur och vissa raser
Kula/Hagel		
Omedelbar bedövning	Individuell hantering	Korrekt applicering
Irreversibel bedövning	Fixering	Äldre djur och vissa raser
		Skador orsakade fria projektiler

Djurvälfärdsaspekter

Välfärdsriskerna är desamma för bedövning med fri projektil som för bedövning med penetrerande bultpistol och innefattar negativ påverkan av djurvälzfärden genom individuell hantering och fixering, medan de positiva indikatorerna innefattar omedelbar och irreversibel bedövning (Tabell 3). En risk med bedövning med fri kula är att kulan vid miss kan rikoschettera mot slakteriets inredning och riskera skador på såväl personal som djur.

Gasbedövning

Vid bedövning med gas förs grisarna vanligen till en stängd miljö varvid gasen introduceras (EFSA, 2004). Bedövningen induceras vanligen genom att grisen får en hög andel av koldioxid (hyperkapni) eller låg andel syre i blodet (hypoxi) (EFSA, 2004). Ädelgaser orsakar anoxi, det vill säga total syrebrist, genom att de ersätter syret i luften (Kells m.fl., 2018). I regel är bedövningen reversibel medan en förlängd exponering leder till dödens inträffande. Sex risker har identifierats gällande gasbedövning av grisar på slakteri; olämplig nedsänkning i butinan, olämplig design av korgen, olämpligt underhåll av fixeringssystemet samt att djuren kan se andra djur bli bedövade, olämpliga bedömningsparametrar samt alltför kort exponeringstid (EFSA, 2019). De två sistnämnda parametrarna kan påverkas specifikt av olika gasblandningar. Kontroll av bedövningen sker genom bland annat avsaknad av normal andning, successivt förlorad balans och kollaps, öppna ögon samt kraftiga ryckningar (Tabell 4).

Tabell 4. Kontroll av bedövning med koldioxid (Algers m.fl., 2012).

Normal kontroll	Kompletterande indikatorer
Avsaknad av normal andning	Avslappnad kropp
Öppna ögon	Kraftigt vidgad pupill, oftast ingen hornhinnereflex
Successivt förlorad balans och kollaps	Inga tecken på rättning
Kraftiga ryckningar	Avtar efter bedövningens inträde
	Avsaknad av reaktion på smärtstimuli

Vid gasbedövning drivs grisarna vanligen in i ett stängt utrymme (en korg ofta kallad ”butina” efter en tillverkare) varvid gasen introduceras. Utformningen av butinans öppning påverkar grisarnas villighet att gå in varför en öppning som möjliggör att flera grisar kan gå in samtidigt är att föredra då man kan driva grisarna i grupp, och utnyttja deras naturliga grupp beteende så att hanteringen blir minimal. Väl inne i butinan krävs ingen fixering (EFSA, 2004). Förutom exponeringen för gas kan drivningen till och vistelsen i bedövningskorgen (mörker, ljud, lukt, rörelse) skapa obehag (Atkinson m.fl., 2015; Dalmau m.fl., 2010). Däremot har man visat att grisar habitueras (vänjer sig) till dip-lift-system som endast innehåller atmosfärisk luft, vilket tyder på att dip-lift systemet i sig inte är aversivt om rätt gasblandning används (Velarde m.fl., 2007). I praktiken är det dock alltid samtidigt både första och sista gången grisarna träffar på denna okända miljö.

Över lag anses bedövning med gas ha hög potential för djurskyddsmässigt acceptabel bedövning av grisar eftersom det är förknippat med låg stress relaterat till hanteringen kring bedövningen. För att gasbedövning ska vara humant krävs dock att gasen som används är icke-aversiv (EFSA, 2004). Vid bedövning med gas bör grisar bedövas i grupp, hållas i stabila sociala grupper samt fixeras så lite som möjligt (EFSA, 2004). Vidare rekommenderas att alla grisar uppnår irreversibel bedövning innan avblodning initieras.

Idag är koldioxid den enda godkända gasen för kommersiell slakt av gris i Sverige (EU tillåter flera olika gaser och kombinationer av gaser). Koldioxid har emellertid varit debatterat eftersom inandning av koldioxid i hög koncentration är aversivt och därmed förknippat med mycket obehag (Grandin, 2003; Atkinson m.fl.,

2015; Raj & Gregory, 1996 Velarde m.fl., 2007; Lonch m.fl., 2011). Andra gaser har föreslagits lämpliga för att kunna bibehålla de positiva aspekterna av gasbedövning (t.ex. minimal hantering och drivning i grupp) men minska de negativa aspekterna (obehag vid inandning) (Raj & Gregory m.fl., 1995). Vid bedövning med gas är initierandet av bedövningen beroende av gasblandningen som används. Tre tekniska aspekter bör tas i beaktande när man utvärderar gasens lämplighet och användande; gasens förmåga att ersätta syre i ett stängt utrymme, gasens stabilitet och dess uniformitet (möjligheten att hålla jämn koncentration) (Dalmau m.fl., 2010).

Koldioxid

Koldioxid är en av de vanligaste bedövningsmetoderna för gris både Sverige och i andra delar av världen. (EFSA, 2004; Llonch m.fl., 2012a). I Sverige använder alla stora slakterier sig av koldioxidbedövning från Butina® stun systems (Atkinson m.fl., 2012). Koldioxid är en ofärgad, luktfri gas som har en svagt sur smak och bedövande egenskaper, som inte lämnar rester i köttet (Mota-Rojas m.fl., 2012). Koldioxid finns i alla levande organismer och är lätt att utvinna och därmed relativt billig att framställa (Mota-Rojas m.fl., 2012).

Koldioxid är tyngre än luft (Dalmau m.fl., 2010) och under praktiska omständigheter sänks grisar ofta ner i en grop med hög halt av koldioxid (EFSA, 2004). Det finns i huvudsak två typer av koldioxidbedövningsmetoder; dip-lift (direkt nedsänkning i maximal koldioxidhalt) och pater-noster (successiv nedsänkning till maximal koldioxidhalt). Pater-noster-systemet fungerar likt ett pariserhjul som successivt sänker ned korgarna i en ökande grad av koldioxid. När de nått botten når de också maxkoncentrationen av koldioxid. Pater-nostersystemet fylls/töms kontinuerligt och flera korgar är igång samtidigt medan dip-lift-systemet endast har en korg (EFSA, 2004).

Drivning

En av fördelarna med koldioxidbedövning anses vara att grisarna kan hanteras och bedövas i grupp, utan att behöva fixeras individuellt (Atkinson m.fl., 2012; Bouwsema & Lines, 2019). Detta minskar förekomsten av separationsångest, ovilja att gå och användande av elektriska pådrivare (Atkinson m.fl., 2015). Vidare kan drivningen till gruppbedövningen ske med mekaniska grindar som separerar grisarna i små grupper som eliminerar användandet av elektriska påfösare (Atkinson m.fl., 2012). Minimeringen av hantering minskar stressen och risken att bedövningen initieras på fel ställe och främjar därigenom djurvälståndet (Bouwsema, & Lines, 2019). Grisar visar ovilja att gå in i utrymmen som innehåller koldioxid (Velarde m.fl., 2007) vilket kan leda till drivningen in till bedövningsboxen försvåras om den inte är tömd på koldioxid innan bedövningen initieras.

Bedövningens inducering

När koldioxid inandas bildas kolsyra som leder till förhöjda nivåer av vätejoner och skapar acidosis på cellnivå, vilken hämmar neuronernas funktion och ger en bedövningseffekt (Mota-Rojas m.fl., 2012; Woodbury and Karer 1960 i EFSA 2004). Innan bedövningen inträffar induceras mjölksyreacidosis, hyperglycemi, hyperkalemi, hyperkalcemi samt respiratorisk och metabolisk acidosis (Becerril-Herrera m.fl., 2009). Bedövningen är inte omedelbar och hur lång tid bedövningen tar beror på koncentrationen av koldioxid i luften: ju högre koldioxidkoncentration, desto kortare induceringstid (Raj and Gregory 1996; EFSA 2004; Velarde m.fl., 2007; Dalmau m.fl., 2010; Atkinson m.fl., 2015).

Koldioxid inducerar medvetlöshet från 40 % inblandning i luft (Raj & Gregory, 1996). Längden på den respiratoriska stressen som grisen upplever minskar när mängden koldioxid i luften ökar, eftersom LOP induceras fortare (Raj & Gregory, 1996). Vid 40 % koldioxid blir grisarna utsatta för respiratorisk stress ca 30 sekunder jämfört med ca 12 sekunder vid 90 % koldioxid inblandning av koldioxid (Raj & Gregory, 1996). Andra studier visar att första tecknet på medvetlöshet vid exponering för 90 % koldioxid inträffar efter 22,4 sekunder medan motsvarande siffra vid 70 % koldioxid är 34,4 sekunder (Velarde m.fl., 2007). Vid 80-90% koldioxid i luft tar det dock upp till 36 sekunder innan grisarna förlorar medvetandet (Raj et al 1997). Både antalet grisar per grupp, och tiden det tar att nå maximal koldioxidhalt, varierar mellan olika bedövningssystem (Atkinson m.fl., 2012). För smågrisar har det rapporterats att det är mindre aversivt att gradvis utsättas för en gasblandning jämfört med att introduceras till en förfylld hög koncentration av gasen (Raul et al, 2013). Velarde et al (2007) bedömer dock att dip-lift-systemet resulterar i bättre välfärd för djuren (Velarde m.fl., 2007).

Hur länge grisarna utsätts för koldioxiden beror på om de ska bedövas eller avlivas, och vid förlängd exponering avlider grisarna. Rekommendationen är att grisar ska utsättas för så hög andel koldioxid som möjligt, så fort som möjligt (EFSA, 2004). Velarde et al (2007) motsäger sig dock detta då grisar uppvisar mer undvikande beteende ju högre koldioxidhalten blir.

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Hur varaktig bedövningen blir beror på koncentrationen koldioxid och exponeringstiden eftersom detta avgör hur stark acidosen i djuret och därmed bedövningseffekten blir (EFSA, 2004). Sticktiden beror behöver därför anpassas till koldioxidkoncentrationen och exponeringstiden. Långvarig exponering till höga koldioxidkoncentrationer leder till döden (EFSA, 2004). Kort exponeringstid och låg koncentration ger högre risk för inadekvat bedövning (Atkinson m.fl., 2012). Vid 90 % koldioxidkoncentration i 100 sekunder möjliggörs en sticktid på 40-50 sekunder medan motsvarande siffra vid 80 % koldioxidinblandning är 25-35 sekunder. Detta beror på att det tar längre tid för hjärnaktiviteten att minska i 80 % koldioxid jämfört med 90 % koldioxid (Nowak m.fl., 2007). Över lag anses koldioxid resultera i både god bedövningskvalitet och god köttkvalitet (Llonch m.fl., 2012b).

Under försök har bedövning med 90 % koldioxid gett 100 % lyckad bedövning, troligen eftersom många grisar redan avlidit av koldioxiden (Atkinson m.fl., 2015). Pater-noster-system har vid försök visat högre andel korrekt bedövade djur jämfört med dip-lift-system (99,9% jmf med 98,2 %) (Atkinson m.fl., 2012). Bedövning med relativt låg koldioxidhalt, 80 %, under relativt kort tid, dvs. 70-100 sekunder, har visat sig ge stort antal djur med tecken på misslyckad bedövning (positiva reflexer) (Nowak m.fl., 2007). Vid 70 sekunders exponering till 90 % koldioxid sågs framgångsrik bedövning. Högre koncentration av koldioxid minskar mängden muskelryckningar hos grisarna (Llonch m.fl., 2012b).

Djurvälfärdsaspekter

Bedövning med koldioxid möjliggör grupphantering och minimal fixering av djuren innan slakt, vilket ses som positivt ut djurvälfärdsynvinkel, medan bedövningens initiering bedöms som mycket aversiv och därmed negativ för djurvälfärden (Tabell 5). Med koldioxidbedövning kan man eliminera drivning i singelfiler vilket förklarar drivning och minimerar stressen innan bedövning medan koldioxidens negativa konsekvenser rör induceringen av bedövningen vilka skulle kunna slå ut fördelarna med stresspåverkan innan bedövningen (Grandin, 2003). Grisar uppvisar motstånd mot att få in i bedövningsboxar med koldioxid (Atkinson m.fl., 2015) kan dock kräva hårdare drivning.

Hos däggdjur finns både kemoreceptorer och irritantreceptorer i lungorna som är akut sensitiva för koldioxid (Manning and Schwartzstein, 1995; EFSA 2004). Inhalering av koldioxid är därför aversivt för grisar och orsakar respiratorisk stress innan medvetandet försvinner vid en inblandning av över 30 % i luft (EFSA, 2004). Bedövning med 90 % koldioxid, vilket idag används vid kommersiell slakt, bedöms som högst obehagligt och ger upphov till lidande hos grisarna (Atkinson m.fl., 2015). Även avsaknaden av syre orsakar andnöd vilket förknippas med stress (Atkinson m.fl., 2015). Grandin (2003) argumenterar för att koldioxid är oacceptabelt som bedövningsmetod eftersom grisar försöker fly redan vid första kontakt med gasen. Det finns dock individuella skillnader i hur grisar reagerar på koldioxid och genetiska faktorer kring reaktionen på koldioxid behöver utredas mer (Grandin, 2003; Atkinson et al., 2015). Bland annat är det troligt att bärare av halotangen lider mer av koldioxidinandning jämfört med icke-bärare (Velarde m.fl., 2007). Grisar som är bärare av halotangen finns dock för tillfället inte inom kommersiell produktion i Sverige.

Grisar försöker undvika kontakt med högre halter av koldioxid, vilket indikerar upplevelse av stress eller smärta (Velarde m.fl., 2007; Raj & Gregory, 1995; EFSA, 2004; Nowak m.fl., 2007; Atkinson m.fl., 2015). Ju högre grad av koldioxid i luften, desto mer aversion och flyktförsök uppvisar grisarna, troligen eftersom irritationen på slemhinnan i nosen ökar med ökad koldioxidinblandning (Velarde m.fl., 2007; Raj & Gregory 1996). Vissa forskare anser att ju lägre koldioxidkoncentrationen är desto mindre aversiv är den och desto mindre påverkas djurvälfärden (Mota-Rojas 2012), medan andra forskare anser att intensiteten av den respiratoriska stressen inte skiljer sig beroende på koldioxidhalten (Raj & Gregory, 1996). Studier visar att koldioxid blir aversivt vid 15-30% inblandning i luft, men grisar veckar inte kunna skilja mellan 15 och 30% inblandning av koldioxid (Llonch m.fl., 2012a). Från och med 20 % inblandning av koldioxid kan man se hyperventilering, vars frekvens ökar med ökad koldioxidkoncentration och exponeringstid (Raj & Gregory 1996). Upp till 30 % inblandning av koldioxid har bedömts som tolerabelt för grisar eftersom det inte inducerar flykt eller allvarlig andningsstörning för en majoritet av grisarna (Raj & Gregory, 1996; Raj & Gregory 1995). Exponering av högre koncentrationer koldioxid är även förknippat med ett antal beteenden

såsom flyktförsök, oro, vokalisering, nysningar, hostningar, huvudskakningar och forcerad andning (Nowak m.fl., 2007; Manning and Schwartztein 1995; EFSA 2004; Atkinson m.fl., 2015; Grandin 2003). Vidare spärras ögonen upp, vilket kan indikera rädsla (Atkinson m.fl., 2015). Flyktförsök anses vara en emotionell reaktion på rädsla eller smärta (Velarde m.fl., 2007). Ju högre koldioxidhalt, desto tidigare börjar djuren dra efter andan och uppvisa flyktförsök (Velarde m.fl., 2007).

Vid 90 % inblandning av koldioxid i luften undviker majoriteten av grisarna kontakt med gasen även om de erbjuds godis (äpplen) i koldioxiden efter 24 h fasta (Raj & Gregory, 1995). Grisar som bedövas med 80 eller 90 % koldioxid uppvisar 800-1000 gånger så höga adrenalin- och noradrenalinhalter i blodet jämfört med lugna grisar vilket är ett tydligt tecken på att de upplever stress (Nowak m.fl., 2007). Även halten plasmakortisol (ett fysiologiskt tecken på stress) ökar efter att grisarna utsatts för koldioxid (Kells m.fl., 2018). Jämfört med bedövning med 90 % koldioxid uppvisar grisarna högre laktatvärden vid bedövning med 80 % koldioxid, vilket tyder på att grisarna upplever mer stress vid bedövning med den lägre halten koldioxid även om laktatvärdena vid 90 % även de var 6 till 8 gånger så höga som normalt (Nowak m.fl., 2007). Skillnaderna mellan 80 eller 90 % koldioxid påverkar dock inte beteendet i sådan grad att det finns anledning att tro att de båda koldioxidkoncentrationerna skiljer sig mycket ur djurvälståndssynpunkt (Verhoeven m.fl., 2016). Vid 80-90 % koldioxid verkade dock inte grisarna hinna utföra flyktförsök innan LOP inträffade (Raj & Gregory, 1996).

Grisar som utsattes för 90 % koldioxid försökte att fly i högre grad än grisar som utsattes för 70 % koldioxid (Velarde m.fl., 2007). Vid bedövning med 70-90 % koldioxid uppvisar grisar flyktförsök innan LOP inträffar medan grisar som utsatts för den högre andelen koldioxid har andningssvårigheter under en längre tid (Velarde m.fl., 2007). Tillsammans indikerar dessa beteenden att grisens överlevnadsinstinkt triggas när de befinner sig i den koldioxidfyllda butinan, vilket troligen inducerar högsta nivå av rädsla och stress (Atkinson m.fl., 2015). Även det höga ljudet i butinan (>100db) kan påverka grisarna negativt (Atkinson m.fl., 2015).

Bedövningen med koldioxid inte omedelbar (Atkinson m.fl., 2015) och fram till att medvetslöshet inträffar utsätts grisarna för lidande (Raj & Gregory, 1996). I ett pater-noster-system är koldioxidhalten vid första stoppet vanligen för låg för att inducera medvetslöshet, men tillräckligt hög för att grisarna ska uppleva obehag (Dalmau m.fl., 2010). Totalt utsätts grisen för obehag och stress från det att grisen går in i butinan till dess att den tappat medvetandet, vilket kan vara upp till 3 minuter och 39 sekunder (Atkinson m.fl., 2015).

Tabell 5. Djurvälståndaspekter och risker för koldioxidbedövning.

Positiva djurvälståndaspekter	Negativa djurvälståndaspekter	Välståndsrisker
Grupphantering	Mycket aversiv vid inandning	Reversibel bedövning
	Inte direkt bedövning	Individuell skillnad i reaktion

Kväve

Kväve används inte kommersiellt som bedövningsmetod idag, men har utvärderats under icke-kommersiella förhållanden (EFSA, 2004). Eftersom kväve finns i hög koncentration (80 %) i atmosfären är det en billig gas att framställa (Llonch m.fl., 2012b; Bouwsema, & Lines, 2019). Kvävgas är en färg- och luktlös gas. Tvärt emot koldioxid är dock gasens relativa densitet lägre än luft vilket komplicerar processen att bibehålla gasen i stängda utrymmen utan att den ersätts av syre, vilket skulle omöjliggöra bedövningsprocessen (Dalmau m.fl., 2010; Llonch m.fl., 2012b; Bouwsema & Lines, 2019). Kväve kan användas både enskilt (i luft) samt i gasblandningar med exempelvis koldioxid. Studier har dock visat svårigheter bibehålla höga (>94 %) koncentrationer av ren kvävgas, varför kvävgasen ofta blandas för att bedöva grisar (Atkinson m.fl., 2015; Dalmau m.fl., 2010). För att undvika att kvävet blandar sig med luften har man även gjort försök med att binda kvävgas i skum (Brattlund Hellgren, 2019; Bouwsema & Lines, 2019; Pöhlmann, 2019). Skummet motverkar att kvävet blandar sig med resten av luften i utrymmet genom att tränga bort syret och tränger i genomsnitt bort syret 2,7 gånger fortare jämfört med ren gas (Brattlund Hellgren 2019; Wallenbeck et al, 2020).

Drivning

Eftersom kväve inte används kommersiellt idag finns inga studier som undersökt drivningen till bedövningen. Eftersom det handlar om gasbedövning skulle grisarna kunna drivas och bedövas i grupp och både fixering och individuell hantering uteslutas.

Bedövningens inducering

Kväve inducerar hypoxi vid normala tryckförhållanden men kan också inducera anoxi då mindre än 2 % syre finns kvar i luften. Kväve anses mindre aversivt jämfört med höga koncentrationer koldioxid (Llonch m.fl., 2012a; Dalmau m.fl., 2010b; Raj & Gregory, 1995). Hypoxi anses heller inte aversivt (Raj, 1999; Raj m.fl., 1997)

Vid försök med bedövning med kväve i koldioxid (60% kväve, 20% koldioxid) uppvisade grisarna tydliga tecken på obehag i form av bland annat urinering och defekering, flyktförsök och dra efter andan (Atkinson m.fl. 2015). Generellt sätt uppvisade grisarna kamp innan kollaps.

Vid försök med kvävefyllt skum har skummet i sig inducerat undersökande beteende, vilket tyder på att det varken skummet eller kvävgasen är aversivt för grisarna (Brattlund Hellgren, 2019; Wallenbeck m.fl., 2020). När skummet börjar fylla bedövningsboxen försöker grisarna dock undvika och uppvisar bland annat halkning på skum, flämtning, flyktförsök och vokalisering (Brattlund Hellgren, 2019; Pöhlmann, 2019). Skummets funktion har dock inte utvärderats i grupp (Bouwsema, & Lines, 2019; Brattlund Hellgren, 2019; Pöhlmann, 2019) varför det är svårt att bedöma dess funktion under kommersiella förhållanden.

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Vid försök med bedövning med kväve i koldioxid (60% kväve, 20% koldioxid) påvisades ungefär 8 % inadekvat bedövning vid en sticktid på 1 minut och 23 sekunder, troligen beroende på en kombination av för kort exponeringstid och samt svårigheten att nå max 2 % residualsyre i butinan (Atkinson m.fl., 2015).

Försök med bedövning med kväveskum hos slaktmogna grisar (med 1 % residualsyre) har visat att 3,5 minuters exponeringstid efter att grisen är täckt med skum inte ger tillräcklig bedövning eftersom det ledde till att 22 % av grisarna behövde bedövas om då de hade en allt för kort bedövningsperiod (Pöhlmann, 2019). För grisar med en levandevikt runt 30 kilo inducerades LOP efter 57,9 sekunder och efter en total exponeringstid av gasen på 5 minuter var grisarna antingen döda eller djupt medvetslösa (Wallenbeck m.fl., 2020)

Djurvälfärdsaspekter

Kväve är mindre aversivt än koldioxid och har föreslagits vara ett bra alternativ för bedövning (EFSA, 2004; Dalmau m.fl., 2010). Bedövningsmetoden medger grupphantering vilket anses positivt för djurvälståndet, medan gasens aversivitet anses negativ ut djurvälståndssynvinkel (Tabell 6). Bedövning av slaktmogna grisar med kväve i högexpanderbart skum har inte påvisat höga stressnivåer genom höga halter katekolaminer eller glukos i blodet (Pöhlmann, 2018). Däremot påvisar grisarna i försöket med kväveskum beteenden såsom flämtning och flyktförsök, vilka tyder på att gasen eller skummet uppfattas som aversiv. Atkinson m.fl. (2015) gjorde bedömningen att mer forskning behövs innan kväve och koldioxid kan bli ett potentiellt alternativ till koldioxidbedövning på grund av riskerna med inadekvat bedövning. Den relativa aversiviteten hos gasen bör också undersökas vidare eftersom det finns motstridiga resultat hur aversiv den är.

Tabell 6. Djurvälståndsspekter och risker för bedövning med kväve.

Positiva djurvälståndsspekter	Negativa djurvälståndsspekter	Välståndsrisker
Grupphantering	Aversiv vid inandning	Svår att hantera
	Inte direkt bedövning	Reversibel bedövning

Argon

Ädelgasen argon har föreslagits som ett alternativ till koldioxidbedövning ur djurvälståndssynpunkt (Brandt & Aaslyng, 2015; Kells m.fl., 2018; Raj & Gregory, 1995). Argon används inte kommersiellt som bedövningsmetod för grisar idag, men har utvärderats under icke-kommersiella förhållanden (EFSA, 2004). Det är en stabil, icke brandfarlig eller explosiv gas som är lukt- och smakfri (Llonch m.fl., 2012a; Raj & Gregory, 1995; Dalmau, 2010). Argon är, liksom koldioxid, tyngre än luft, och kan därför relativt enkelt isoleras i ett stängt utrymme (Raj, 1999; Dalmau m.fl., 2010). Mindre än 0,01 % av atmosfären består av argon vilket medför att gasen dyr att framställa vilket kan påverka möjligheterna använda den kommersiellt (Raj & Gregory, 1995; Llonch m.fl., 2012b; Dalmau m.fl., 2010; Bouwsema, & Lines, 2019). Argon kan användas både enskilt (i luft) samt i gasblandningar med exempelvis koldioxid.

Drivning

Eftersom argon inte används kommersiellt idag finns inga studier som undersökt drivningen till bedövningen. Eftersom det handlar om gasbedövning skulle grisarna kunna drivas och bedövas i grupp och både fixering och individuell hantering uteslutas.

Bedövningens inducering

Argon har bedövande egenskaper vid övertryck (Raj, 1999). Bedövningen induceras genom att argon inducerar hypoxi, det vill säga syrebrist (Kells m.fl., 2018). Argon har visat sig mindre aversivt än koldioxid, men mer aversivt än luft (Dalmau m.fl., 2010). Grisar finner inte hypoxi aversivt även vid 90 % koncentration, och undviker inte utrymmen med argon (Raj, 1996; Raj & Gregory, 1995; Raj & Gregory 1996; EFSA). Vid 90 % argon infaller LOP efter 10 sekunder och föregås endast av undersökande beteende vilket tyder på att grisarna inte påverkas negativt av gasen (Raj & Gregory, 1995; Raj 1999). Däremot har fysiologiska tecken på stress såsom ökat plasmakortisol uppmätts efter att grisar utsatts för argon (Kells m.fl., 2018). Vid 5 och 2 % residualsyre under en minut visades varken LOP eller flyktförsök och bedöms inducera mild respiratorisk stress (Raj & Gregory, 1996).

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Bedövning med argon är mindre långvarig jämfört med bedövning med koldioxid, vilket kan leda till att grisen återfår medvetandet om avblodning inte sker tillräckligt snabbt (Brandt & Aaslyng, 2015). Vid exponering av 90 % argon i tre minuter ska grisar avblodas inom 25 sekunder för att förhindra att de återfår medvetandet eftersom de är medvetslösa i mindre än 50 sekunder (Raj, 1999; EFSA, 2014). Efter fem minuters exponering, återfick grisarna inte medvetandet inom 45 sekunder (Raj, 1999). Vid exponering av 90 % argon i sju minuter dog majoriteten av grisarna.

Djurvälståndsspekter

I teorin skulle bedövning med argon möjliggöra grupphantering vilket ses som positivt ur välförståndssynpunkt, medan gasens aversivitet ses som negativ (Tabell 7). Än så länge är dock gasen svårhanterlig, vilket bedöms som en välförståndsrisik. Argon bedöms som mer aversivt än luft men mindre aversivt än koldioxid. Ren argon orsakar stress innan det skapar medvetslöshet (Kells m.fl., 2018). Eftersom tiden för medvetslöshet är kortare jämfört med bedövning med koldioxid riskerar djurvälståndet att påverkas negativt om inte sticketiden är kort (EFSA, 2004).

Tabell 7. Djurvälståndsspekter och risker för bedövning med argon.

Positiva djurvälståndsspekter	Negativa djurvälståndsspekter	Välförståndsrisiker
Grupphantering	Inte direkt bedövning	Svår att hantera
	Aversiv	Reversibel bedövning

Helium

Ädelgasen helium har bedövande egenskaper vid inandning och har därför föreslagits som ett alternativ till koldioxidbedövning ur djurvälståndssynpunkt (Machtolf m.fl., 2013). Helium är lättare än luft. Helium används inte kommersiellt som bedövningsmetod idag, men har utvärderats under icke-kommersiella förhållanden (Machtolf m.fl., 2013). Även blandningar mellan helium och kväve har föreslagits som ett välfärdsmissigt alternativ till koldioxid men ej utvärderats. Helium bedövning bedöms dock som kostsam (Steiner m.fl., 2019)

Drivning

Eftersom helium inte används kommersiellt idag finns inga studier som undersökt drivningen till bedövningen. Eftersom det handlar om gasbedövning skulle grisarna potentiellt kunna drivas och bedövas i grupp och både fixering och individuell hantering uteslutas. Då helium är lättare än luft har man i försök med helium bedövats grisarna individuellt genom att drivas dem i en bur som sedan omsluts av en klocka innehållande ballong-helium (Machtolf m.fl., 2013).

Bedövningens inducering

Helium inducerar bedövning genom hypoxi, syrebrist, vid bedövning med 98,5 % iblandning (Machtolf m.fl., 2013). Helium är mindre aversivt än koldioxid och grisar som bedövats i helium uppvisar inte flykttförsök eller andra tecken på att gasen upplevs aversiv (Machtolf m.fl., 2013). Vid bedövning med 98,5 % helium inträdde LOP efter 20 sekunder, jämfört med 16 sekunder vid bedövning med 90 % koldioxid. Jämfört med bedövning i koldioxid uppvisar grisar signifikant lägre halter av adrenalin och noradrenalin vilket tyder på att grisarna upplever mindre stress vid heliumbedövningen (Machtolf m.fl., 2013).

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Vid individuell bedövning med 98,5 % helium under 180 sekunder induceras en god bedövning som är ihållande vid 15-30 sekunders sticktid (Machtolf m.fl., 2013).

Djurvälståndsspekter

I teorin skulle bedövning med helium möjliggöra grupphantering vilket ses som positivt ur välfördssynpunkt, samtidigt som gasen inte är aversiv (Tabell 8). Eftersom helium och andra ädelgaser reagerar sällan eller aldrig med andra molekyler inducerar de därmed ej heller smärtsamma eller obehagliga reaktioner med exempelvis kemoreceptorer i kroppen (Machtolf m.fl., 2013). Jämfört med koldioxid som inducerat hög grad av vokalisering, flykttförsök och andnöd, inducerar bedövning med helium inte dessa beteenden (Machtolf m.fl., 2013). Ytterst få studier har gjorts på medövning med helium, men bedöms av en forskargrupp som ett möjligt alternativ till koldioxid rent djurvälståndsmässig (Machtolf m.fl., 2013). Inga studier är dock utförda under kommersiella förhållanden.

Tabell 8. Djurvälståndsspekter och risker för bedövning med helium.

Positiva djurvälståndsspekter	Negativa djurvälståndsspekter	Välståndsrisker
Ej aversiv	Inte direkt bedövning	Svår att hantera
Grupphantering		Reversibel bedövning

Xenon

Xenon är en ädelgas som har anestetiska egenskaper och inducerar hypoxi vid normalt tryck, men mekanismerna är ännu inte helt utredda (Raj, 1999; Baumert 2009). Xenon har 4,5 gånger högre densitet än luft och har inerta egenskaper (Baumert 2009). Många av de positiva egenskaper som tilldelas xenon är förknippade med återhämtning efter bedövning eller minskad påverkan på exempelvis nervsystemet (Baumert 2009). För xenon saknas studier som undersöker bedövning för grisar i slaktrelaterade sammanhang. Xenonbedövning bedöms dock som kostsam (Steiner m.fl., 2019).

Drivning

Eftersom xenon inte används kommersiellt idag eller innefattar studier som relaterar till slakt finns inga studier som undersökt drivningen till bedövningen. Men eftersom det handlar om gasbedövning skulle grisarna potentiellt kunna drivas och bedövas i grupp och både fixering och individuell hantering uteslutas.

Bedövningens inducering

Studier angående bedövning med xenon hos gris inför slakt saknas. Över lag har en av fördelarna med bedövning med xenon har beskrivits vara dess snabba inducering samt att det anses som en säker och väl tolererad gas (Baumert 2009).

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Studier angående bedövning med xenon hos gris inför slakt saknas. Över lag har bedövning med xenon har visat sig vara mindre ihållande än många andra bedövningsmedel (Baumert 2009).

Djurvälfärdsaspekter

Eftersom inga studier gjorts som undersökt bedövning med xenon på gris inför slakt har heller inte djurvälståndet undersökts. Eftersom xenon är en inert ädelgas antas den inte reagera med omgivningen och exempelvis interagera med kemoreceptorer som kan inducera aversion, vilket är positivt för djurvälståndet (Tabell 9).

Tabell 9. Djurvälståndaspekter och risker för bedövning med xenon.

Positiva Djurvälståndaspekter	Negativa Djurvälståndaspekter	Välståndsrisker
Snabb inducering?	Ej direkt bedövning?	Reversibel bedövning
Ej aversiv?		

Low atmosphere pressure stunning (LAPS)

Vid low atmosphere pressure stunning (LAPS) induceras bedövning genom att syrebrist (hypoxi) induceras genom lågt omgivande tryck (Mackie & McKeegan, 2016). LAPS används inte kommersiellt som bedövningsmetod idag, men har delvis utvärderats under icke-kommersiella förhållanden, dock inte för grisar som uppnått slaktvikt. LAPS är idag tillåten som bedövningsmetod för slaktkyckling och utvärderas bland annat för gris vid Glasgow Universitet, Storbritannien på uppdrag av DEFRA (Storbritanniens jordbruksdepartement)(DEFRA, 2018) men resultaten därifrån är ännu inte publicerade.

Drivning

Eftersom LAPS inte används kommersiellt till gris idag finns inga studier som undersökt drivningen till bedövningen. Tanken är dock att grisarna ska kunna bedövas och drivas i grupp utan fixeringsbehov. Bouwsema & Lines (2019) spekulerar att LAPS skulle möjliggöra bedövning i större grupper om 15-30 grisar. Därmed skulle grisarna eventuellt kunna bedövas i samma grupper som de transporterats till slakteriet och därmed minimera blandandet av djur och dess konsekvenser.

Bedövningens inducering

Bedövningen induceras genom att det omgivande trycket successivt sänks tills att det partiella trycket av syre i atmosfären inte längre räcker till för att syresätta hjärnan och hypoxi induceras (Bouwsema & Lines, 2019). Hos människor inducerar hypoxi eufori och sänkt medvetandegrad varför LAPS har därför föreslagits vara mindre stressande jämfört med dagens kommersiella bedövningsmetoder (t.ex. koldioxid eller elektrisk bedövning) (Bouwsema, & Lines, 2019). Dock saknas forskning kring hur minskningen av omgivande tryck påverkar både människor och djur, och forskning på djur är framförallt framtagen på råttor och kycklingar och saknas helt för slaktmogna grisar (Bouwsema & Lines, 2019). Bouwsema & Lines (2019) estimerar att bedövning av slaktmogna grisar skulle ta 7 minuter vid en syrehalt på 2 % vilket uppnås vid ett tryck på 16,5

kPa. En bedövningscykel skulle därmed ta ungefär 15 minuter inklusive in och urlastning. Vid ett tryck på ca 10 kPa, vilket används till höns, skulle tiden potentiellt kunna förkortas till ca 9,5 minuter.

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Eftersom inga praktiska försök gjorts på LAPS på slaktmogna grisar är det svårt att dra slutsatser kring varaktigheten eller tillförlitligheten av metoden.

Djurvälfärdsaspekter

I teorin skulle bedövning med LAPS möjliggöra grupphantering vilket ses som positivt ur välfärdssynpunkt, medan den långa induceringen till bedövning ses som negativ (Tabell 10). Lufthunger är en obehaglig och ökande akut känsla som människor känner när de håller andan en längre tid (Bouwsema & Lines, 2019). Lufthunger diskuteras i relation till kontrollerad atmosfär bedövningsmetoder eftersom det kan uppstå då andelen syre i luften minskar (Bouwsema & Lines, 2019).

Grisar som har problem med övre luftvägar eller tänder samt grisar som har gas i tarmarna skulle kunna uppleva smärta under LAPS på grund av det låga trycket (Bouwsema, & Lines, 2019). Idag är luftvägssjukdomar, exempelvis pleurit (lungsäcksinflammation) eller pneumoni (lunginflammation) några av de vanligare anmärkningarna vid slakt vid svenska slakterier. En besättning kan ha många anmärkningar på slakteriet utan att ha kliniska besvär i besättningen (Ehlorsson m.fl., 2016) vilket antyder att man inte på ett säkert sätt kan utesluta grisar med luftvägsproblem. Vidare kan semistängda hålror såsom i öronen och i lungorna påverkas av tryckförändringarna under bedövningen, ungefär på samma sätt som vi får lock för örat vid exempelvis flygplanslandningar. Men eftersom att grisarna är bedövade när de återvänder till normalt tryck igen, förväntas inte de resterande tryckförändringarna påverka grisarnas välfärd negativt. Hos människor kan även dykarsjuka uppträda vid snabba tryckförändringar. Men av samma anledning som tidigare bedöms detta inte vara ett problem då grisarna ska vara medvetslösa då de återgår till normalt tryck (Bouwsema & Lines, 2019).

Fler studier av hälsa och djurvälfärd i relation till LAPS saknas (Bouwsema & Lines, 2019). LAPS har dock nämnts som ett möjligt alternativ för att kunna ge friska grisar en stress- och smärtfri bedövning eftersom det i teorin möjliggör att grisarna hålls i samma konstellation som i transporten och inte irriterar slemhinnorna. Om så är fallet även i praktiken är okänt.

Tabell 10. Djurvälfärdsaspekter och risker för bedövning med Low atmosphere pressure stunning (LAPS).

Positiva Djurvälfärdsaspekter	Negativa Djurvälfärdsaspekter	Välfärdsrisker
Grupphantering	Inte direkt bedövning	Svår att hantera
	Långsam inducering	Reversibel bedövning
		Hälsostatus hos grisarna

Gasblandningar

På grund av att bedövning med koldioxid, den gas som idag används kommersiellt, bedöms ha negativ effekt på djurvälfärden eftersom den bedöms vara aversiv vid en inblandning över 30 % har försök gjorts med olika typer av gasblandningar med koldioxid. Grundidén med gasblandningar med koldioxid är blanda in andra gaser in för att öka den bedövande effekten utan att öka aversiviteten hos gasblandningen (Ras and Gregory 1995; Raj 1996; EFSA 2004). Bedövningseffekten hos koldioxid är beroende av koldioxidhalten, ju lägre koldioxidhalt, desto längre tid tar det innan bedövningen initieras, och desto längre exponering krävs för att bedövningen ska vara ihållande. För att förhöja bedövningseffekten har man därför försökt att ersätta koldioxid med andra bedövande gaser, och därmed minska andelen koldioxid och den aversiva effekten koldioxiden har. Djurvälfärdsaspekterna för koldioxidblandningarna har sammanställts i Tabell 11.

Inga gasblandningar är idag kommersiellt tillgängliga eller utvärderade med avseende på drivning inför bedövningen, men tanken är att drivningen till bedövningen ska fungera som vid bedövning med koldioxid. Induceringen av bedövningen fungerar som tidigare beskrivet för de enskilda gaserna och omfattar därmed i teorin varken individuell hantering eller fixering.

Tabell 11. Djurvälståndaspekter och risker för gasblandningar.

Positiva djurvälståndaspekter	Negativa djurvälståndaspekter	Välståndrisker
Alla gasblandningar	Aversiv	Mängd koldioxid
Grupphantering	Inte direkt bedövning	Reversibel bedövning
		Individuell skillnad i reaktion
		Svårigheter att fylla systemen

Kväve och koldioxid

Bedövning med en blandning av kväve och koldioxid har föreslagits minska aversionen om koldioxidhalten understiger 30 % (Llonch m.fl., 2012a). Tidigare studier har visat på svårigheter att fylla befintliga kommersiella system med gasblandningen inom en rimlig tidsram och kräver att befintligt pater-nostersystem kompletterats med kraftigare pumpsystem, mätsystem och värmekällor för att kunna bibehålla rätt förhållanden för gasblandningen (Atkinson m.fl., 2015).

Försök med olika gassammansättningar (70 % kväve och 30 % koldioxid; 80 % kväve och 20 % koldioxid; 85 % kväve och 15 % koldioxid) har visat att gasblandningen är mer aversiv än luft, men att aversionen är mindre än vid höga koncentrationer koldioxid (Llonch m.fl., 2012a; Dalmau m.fl., 2010). Ju högre koldioxidhalten är, desto mer ovilliga är grisarna att gå in i ett utrymme med gasblandningen (Dalmau m.fl., 2010). Vid upprepade besök till en gasfylld box ökade flyktförsöken med antalet besök (Llonch m.fl., 2010). De olika gasblandningarna påverkade inte tiden för det första flyktförsöket, men flämtandet ökade med ökande andel koldioxid. Tiden till LOP påverkades inte av gasblandningen, men var längre för de djur som inte gått in i boxen frivilligt. Andelen djur som fick kramper muskelsammandragningar var lägre vid 80 % kväve jämfört med de andra blandningarna.

Vid bedövning med 80 % kväve och 20 % koldioxid uppvisar grisar tecken på att de känner av syrebristen (tuggar med öppen mun, försök att undvika gasen, aggressiva kroppsrorelser) (Atkinson m.fl., 2015). Vidare har beskrivits att de har vidöppna ögon, vilket kan indikera rädsla (Atkinson m.fl., 2015). Tillsammans indikerar dessa beteenden att grisens överlevnadsinstinkt är triggad till max, vilket troligen inducerar högsta nivå av rädsla och stress (Atkinson m.fl., 2015). Jämfört med grisar som bedövas med 90 % koldioxid påvisade grisarna framförallt kraftigt motståndsbeteende efter LOP. Bedövning med 80 % N, 20 % koldioxid gasblandning bedömdes som högst obehaglig (Atkinson m.fl., 2015). Grisarna visade individuell variation i hur de reagerade på gasen. Jämfört med koldioxid var ljudnivån i butinan lägre då en kväve- och koldioxidblandning användes (80 % kväve, 20 % koldioxid) jämfört med endast koldioxid (Atkinson m.fl., 2015). Vid en avblodning på max 2,21 minuter var 92,4 % adekvat bedövade vid ett stick intervall på max 2,21 minuter. De obedövade grisarna påvisade hornhinnereflex (4,8 %) hornhinnereflex och regelbundet flämtande (2,9 %) eller regelbundet flämtande (2,4 %) vid avblodning (Atkinson m.fl., 2015). En del av problemen (6,2 %) med bedövningen härrördes till syrenivåer över 2 % medan andra troligen berodde på för kort exponeringstid. Efter att butinan sprayades med varmt vatten minskade mängden inadekvat bedövade grisar.

Argon och koldioxid

Blandningar mellan koldioxid och argon har föreslagits för bedövning av grisar (Raj & Gregory, 1995; Raj & Gregory 1996; Raj 1996) eftersom det kan vara snabbare än endast bedövning med argon, men där koldioxidhalten är så låg att den inte blir aversiv (<30%) och därmed minskar stressen jämfört med koldioxidbedövning (Grandin, 2003; Dalmau m.fl., 2010).

Vid bedövning med 30 % koldioxid och 60 % argon ska grisar avblodas inom 25 sekunder för att förhindra medvetande efter tre minuters exponering av gasen (Raj, 1999). Vid försök med fem minuters exponering (30 % argon, 60 % koldioxid) återfick inte grisarna medvetandet inom 45 sekunders sticktid medan sju minuters exponering resulterade i att grisarna dog.

En blandning av 60 % argon och 40 % koldioxid anses orsaka stress innan medvetlösheten inträder (Kells m.fl., 2018). Vid exponering för gasblandningar med 30 % koldioxid och 60 % argon uppvisade grisarna hyperventilering (Raj, 1999). Vid 30 % koldioxid i argon med 2 eller 5 % residualsyre kunde inga flyktt försök ses under den första minuten (Raj & Gregor, 1996) vilket indikerar att gasblandningen inte är aversiv.

Elektrisk bedövning

Elektrisk bedövning är en av de vanligaste metoderna att bedöva grisar vid slakt i världen och i EU (Dalmau m.fl., 2010; Llonch m.fl., 2010; EFSA, 2004). Det finns i huvudsak två typer av elektriska bedövningsmetoder: applicering över huvudet vilket inducerar bedövning samt applicering över huvud och kroppen, vilket inducerar både bedövning och avlivning (EFSA, 2004). Syftet med elektrisk bedövning är att inducera ett epileptiformt anfall (Grand Mal) genom att ström går genom djurets huvud och orsakar medvetlöshet (McKinstry & Anil, 2004). Omfattningen av anfallet har betydelse för huruvida djuret förlorar medvetandet eller inte. Elektroden måste därför placeras så att organen (hjärnan eller hjärtat och hjärnan) som ska påverkas ligger mittemellan elektroderna som strömmen leds emellan. Effektiv bedövning uppstår när ström av tillräckligt styrka passerar hjärnan, hur mycket ström som behövs beror bl.a. på djurets storlek, form samt utrustningens renhet (EFSA, 2004). Det är viktigt att elektroderna har god kontakt med djuret för att strömstyrkan ska bli tillräcklig för att inducera medvetlöshet samt för att minska risken för exempelvis brännskador på djurets hud.

Det epileptiska anfallet som orsakar bedövningen består av tre faser; tonisk, klonisk och återhämtningsfasen (McKinstry & Anil, 2004). Vid elektrisk bedövning ska djuret kollapsa omedelbart och först uppvisa stelhet (toniskt anfall) för att därefter uppvisa muskelryckningar (kloniskt anfall) vilket följs av att normal andning upphör, blicken blir ofokuserad och pupillerna vidgas kraftigt. Exakt hur mekanismerna kring hjärnfunktionen under appliceringen av elektricitet till huvudet fungerar är inte helt fastställt (EFSA, 2004).

Inför elektrisk bedövning med manuell tång krävs ofta enskild hantering av grisen och att den blir fixerad, vilket i sig är en stressor (Brandt & Aaslyng, 2015; EFSA, 2004). Fixeras djuret (vilket orsakar stress) kan tången även placeras automatiskt. Fixering kan ske via s.k. belt restrainer där grisen hängs upp på ett band som fixerar och förflyttar dem, vilket sedan kan kombineras med automatisk applicering av elektroder (EFSA, 2004). Belt restrainer är inte tillåtet enligt svensk djurskyddslag. Automatisk placering försvåras av olika individers olika anatomi, och bedövningen blir därför mindre precis vilket kan påverka bedövningens inducering (EFSA, 2004). Om djuren inte hanteras enskilt vid bedövningens initiering finns risken att elektroderna även nuddar andra djur än det som ska bedövas, vilket resulterar i smärtsamma stötar utan att bedövning sker. Vidare kan elstötar orsaka stress och obehag vid hantering och applicering av elektriska tången (Bouwsema & Lines, 2019). Enligt en amerikansk studie användes 19 av 20 slakterier elektriska bedövningen korrekt placerad på minst 99 % av grisarna (Grandin, 2003). En senare studie i samma land visade att elektroderna placerades korrekt på 100 % av grisarna i undersökta slakterier i USA, oavsett om det gällde bedövning över huvudet eller huvud till kropp bedövning (Grandin, 2012). I dessa fall användes dock en V-restrainer vilken förhindrar att grisarna rör sig, vilket inte är tillåtet i Sverige. I Sverige förekommer elektrisk bedövning endast på mindre slakterier, utan samma möjlighet till kraftig fixering.

Bedövningskvaliteten vid elektrisk bedövning kan vara svår att bedöma och kontrollera. Vid felplacerade elektroder finns risken att elektriciteten inte passerar hjärnan vilket leder till att djuret immobiliseras utan att bedövas. Liknande resultat kan fås om bedövningen sker med en för låg strömstyrka. Immobiliseringen kan innebära att djuret felaktigt bedöms som korrekt bedövd. Trots att lagstiftningen kräver att elektrisk bedövning ska ge omedelbar insensibilitet är det vanligt att elektrisk bedövning behöver appliceras flera gånger för att på grund av att bedövade djur faller innan stick eller att en medveten gris hamnar på golvet istället för på bandet (McKinstry & Anil, 2004). Om elektroderna inte är tillräckligt rengjorda kan strömmen föras sämre genom elektroderna på grund av ökat motstånd, vilket kan leda till att bedövningen blir otillräcklig. Smutsiga elektroder kan vidare orsaka värmeutveckling som kan ge upphov till smärta. För att förbättra kontakten och minska det elektriska motståndet bör antingen området för bedövning eller elektroderna blötas. Felplacerade elektroder kan också orsaka inadekvat bedövning och smärta och resultera i dålig djurvälstånd (EFSA, 2004). Bedövningsapparaten ska visa vilken spänning och strömstyrka som ges

djuret i varje fas. God elektrisk kontakt krävs mellan elektroder och kropp och utrustning behöver underhållas. Bland annat krävs att elektroderna är rena för att möjliggöra flöde. Utrustningen kräver underhåll och ska kalibreras (EFSA, 2004). Kontrollparametrar för en korrekt bedövning återfinns i Tabell 12. Tre risker med kopplade elektrisk bedövning på slakteri har identifierats: Olämpliga parametrar, felpositionering av tänger, dålig elektrisk kontakt (EFSA, 2019). En av fördelarna med elektrisk bedövning är att induceringen av medvetlöshet är direkt medan en nackdel är att det ofta krävs individuell hantering och fixering av djuren (EFSA, 2004).

Tabell 12. Kontroll av bedövning med elektricitet (Algers m.fl., 2012)

Normal kontroll	Kompletterande indikatorer
Omedelbar kollaps i tonisk kramp, efterföljt av klonisk kramp	Avslappnad muskulatur i nacke/hals
Ingen normal andning	Inga tecken på rättning
Öppna ögon	Ingen hornhinnereflex
Kraftigt utvidgade pupiller	Avsaknad av reaktion på smärtstimuli

Elektrisk bedövning över huvudet

Elektrisk bedövning som appliceras vid huvudet ger en kort period av medvetlöshet samt toniskt-kloniskt anfall (EFSA, 2004).

Drivning

Bedövningen kräver ofta fixering och individuell hantering och drivning. Vid automatisk bedövning ska grisen fixeras för att möjliggöra korrekt applicering av elektroderna (EFSA, 2004). Automatiska restrainer-system är dock inte tillåtna i Sverige. Kraftig fixering möjliggör automatisk applicering av elektroderna. Vid manuell applicering av elektroderna kan elektroderna appliceras utan kraftig fixering samt i grupp. Applicering i grupp medför dock risker att elektroderna kan nudda andra grisar och inducera smärta utan att medföra bedövning.

Bedövningens inducering

Elektrisk bedövning över huvudet har visats ge metabolisk acidosis (ansamling av sura metaboliter i blodet), hypokapni (onormalt låg halt av koldioxid i blodet), hypernatremi (onormalt höga halter av natrium i blodet) och hyperglykemi (onormalt höga blodsockernivåer), hyperfosfatemi (onormalt låga halter av fosfater i blodet), mjölksyreacidosis (acidosis orsakad av mjölksyra i blodet), ökad hematokrit (ökad andel röda blodkroppar) (Becerril-Herrera m.fl., 2009).

Vid applicering över huvudet går ström genom huvudet genom hjärnan (EFSA, 2004). Spänning och strömstyrka avgör hur fort djuret blir medvetlost (EFSA, 2004). Strömstyrkan måste vara tillräckligt hög för att gå igenom alla vävnader för att kunna inducera medvetlöshet. Positioneringen av elektroderna ska säkerställa att elektriciteten går igenom hjärnan och vara anpassad till den individuella grisens storlek, vikt samt skaens porositet, densitet, tjocklek, fett och päls (EFSA, 2004). Vid elektrisk bedövning placeras elektroder på var sida om huvudet, och en styrka på 1,3 ampere genom minst 240V rekommenderas (Raj & Gregory, 1995; EFSA, 2004). Det är viktigt att elektroderna har kontakt under hela bedövningen för att det ska fungera korrekt (EFSA, 2004). Vid inadekvat underhåll eller kontakt (exempelvis pga. smuts) med huvudet kan det även orsaka skador på huden (EFSA, 2004). Den bästa placeringen av elektroderna är mellan ögonen och öronbasen (Anil & McKinstry, 1998). Denna position är dock svår att få till på alla grisar varför man ofta placerar den vid öronbasen eller i pannan/underkäken (Anil & McKinstry, 1998). Den senare positionen, vertikalt, rekommenderas dock inte (Anil & McKinstry, 1998).

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Elektrisk bedövning över huvudet är reversibel och grisarna måste därför avblodas innan den kloniska fasen infaller (Grandin, 2003). Sticktiden ska stå i relation till elektricitetens frekvens och våglängd och därmed bedövningens varaktighet och djup, det dock är inte utrett vad som är ett godtagbart sticktid i alla avseenden (EFSA, 2004). Bedövningens varaktighet kan inte förlängas genom ökad exponeringstid. Sticktiden bör inte vara längre än 15 sekunder men bör vara kortare vid hög frekvens-låg-spännings-bedövning ca 6 sek (Anil, 1991; Anil & McKinstry, 1992; EFSA, 2004; Vogel m.fl., 2011).

Efter bedövning skall tecken på medvetande kontrolleras under tre tillfällen under slaktprocessen; efter bedövning, under stick och under avblodning (EFSA, 2013). Grisar som bedövats ska kollapsa direkt och visa tecken på toniskt anfall och uppvisa andningsuppehåll. Efter det toniska anfallet startar det kloniska anfallet vilket ger gradvis avslappning av kroppen (EFSA, 2004). Grisar som inte blivit bedövade ordentligt får inte toniskt eller kloniskt anfall samt kan uppvisa rytmisk andning, fokuserade ögonrörelser, sammandragna pupiller, vokalisering samt närvaro av reflexer (EFSA, 2004). Dock kan grisar som blivit inadekvat bedövade bli immobiliserade vilket kan misstas för bedövning (EFSA, 2004). EFSA (2013) rekommenderar särskilda kontrollpunkter vid de olika tillfällena under slaktprocessen. Efter bedövningen skall toniskt och kloniskt anfall påvisas, samt avsaknad av andning och corneal-reflex. Även tecken som spontan blinkning, rättningsreflex och vokalisering kan användas. Under stick skall avsaknad av andning, toniskt och kloniskt anfall samt muskelavslappning påvisas. Även tecken som corneal-reflex, spontan blinkning och vokalisering kan användas. Vid avblodning skall avsaknad av andning och muskelavslappning påvisas. Även tecken som vokalisering, cornealreflex och spontan blinkning kan användas (EFSA, 2013).

Tabell 13. Djurvälståndaspekter och risker vid elektrisk bedövning över huvudet.

Positiva djurvälståndaspekter	Negativa djurvälståndaspekter	Välståndasrisker
Direkt bedövning	Individuell hantering	Reversibel bedövning
Smärtfritt vid korrekt bedövning	Fixering	Inkorrekt bedömning av bedövning
	Ej smärtfritt vid inkorrekt bedövning	Ofrivilliga stötar från elektroderna
		Kort medvetslöshet

Djurvälståndaspekter

Elektrisk bedövning över huvudet ger en smärtfri direktinducerad bedövning om den utförs korrekt, vilket är positivt ur djurvälståndssynpunkt (Tabell 13). Dock krävs ofta individuell hantering och kraftig fixering av djuren vilket är negativt ur välståndssynpunkt. Elektrisk bedövning över huvudet initierar medvetslöshet under relativt kort tid, ca 15 sekunder, vilket har medfört att avblodning inte alltid sker inom den korta tidsramen (Vogel m.fl., 2011). Elektriska tänger har i försök påvisats mycket aversiva i de fall de inte inducerar direkt medvetslöshet och kan därmed utgöra ett djurvälståndproblem (Jongman m.fl., 2000).

Upprepad bedövning med elektrisk bedövning över huvudet har bedömts acceptabelt vid nödlägen för att försäkra sig om att grisar inte återfår medvetandet (McKinstry & Anil, 2004). Att återfå medvetandet efter bedövning bedöms dock som ett djurvälståndproblem, och för att undvika detta bör upprepade bedövningar ske inom 60 sekunder och efterföljas av avblodning inom 15 sekunder.

Elektrisk huvud-till-kropp eller huvud-till-rygg bedövning/avlivning, 1-fas metod

Elektrisk huvud-till-kropp bedövning utvecklades under 1920-talet med började användas kommersiellt först under 1980-talet. Många slakterier har dock fasat ut metoden eftersom det förknippats med att även ryggraden knäcks vilket är negativt i produktionssynpunkt (Gregory, 1994). Metoden används inte i Sverige.

Drivning

Elektrisk huvud-till-kropp bedövning kräver oftast att grisarna är fixerade och hanteras individuellt. I automatiska system så som V- och belt-restrainer, krävs att grisarna fixeras en och en för att elektroderna ska kunna appliceras ordentligt (EFSA, 2020). Automatiska restrainer-system är dock inte tillåtna i Sverige. Vid manuell applicering av elektroderna kan elektroderna appliceras utan kraftig fixering samt i grupp. Applicering i grupp medför dock risker att elektroderna kan nudda andra grisar och inducera smärta utan att medföra bedövning.

Bedövningens inducering

Bedövningens inducering sker vanligen med tänger eller elektroder som placeras på var sida av djurets huvud (över djurets hjärna) och på kroppen (över djurets hjärta) så att elektriciteten går genom både hjärta och hjärna (EFSA, 2004). Bedövningens sker genom att ström går genom huvudet och bakom hjärtat eller över bröstet samtidigt som ger elektricitet genom hela kroppen (EFSA, 2004).

Den lägsta strömstyrkan som krävs är 1,3A och ska appliceras minst en sekund för att inducera förlust av medvetandet. Minst 240V krävs för att uppnå denna styrka för så kort tid som möjligt. God elektrisk kontakt krävs mellan elektroder och kropp (EFSA, 2004).

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Elektrisk huvud-till-kropp bedövning är irreversibel. Strömcyklerna inducerar hjärtstillestånd vilket ger en snabb förlust av hjärnfunktion och hindrar att djuret kan återfå medvetandet och är därmed inte beroende av att djuret avblodas inom kort efter bedövningens inducering (Gregory, 1994).

Vid en korrekt bedövning ska grisarna kollapsa direkt, efterföljt av ett toniskt och därefter kloniskt anfall. Det kloniska anfallet kan ibland utebli eller vara mycket svagt. Hornhinnereflex och dragande efter andan kan förekomma, men ska upphöra omgående. Vidare ska pupillerna öka kraftigt i storlek och kroppen bli avslappnad (EFSA, 2004). Vid inkorrekt bedövning återfås rytmisk andning, konvulsioner vid stick (EFSA, 2004).

Tabell 14. Djurvälståndaspekter och risker vid elektrisk huvud till kropp bedövning, 1 fasmetod.

Positiva djurvälståndaspekter	Negativa djurvälståndaspekter	Välståndaspekter
Direkt bedövning/död	Individuell hantering	Korrekt bedömning av bedövning
Smärtfritt vid korrekt bedövning	Fixering	Ofrivilliga stötar från elektroderna
Irreversibel bedövning	Ej smärtfritt vid inkorrekt bedövning	

Djurvälståndaspekter

Elektrisk bedövning över huvudet ger en smärtfri direktinducerad irreversibel bedövning om den utförs korrekt, vilket är positivt ur djurvälståndssynpunkt (Tabell 14). Dock kräver metoden ofta kraftig fixering och individuell hantering vilket är negativt ur djurvälståndssynpunkt. Utrustningen kräver underhåll och ska kalibreras (EFSA, 2004). För att upprätta god kontakt mellan hud och elektroder krävs att elektroderna är rena. Vid otillräcklig kontakt riskeras både att bedövningen inte induceras korrekt samt att induceringen av elektricitet kan orsaka skada. Elektriska tänger har i försök påvisats mycket aversiva i de fall de ger en stöt utan att bedöva djuret och kan därmed utgöra ett djurvälståndproblem (Jongman m.fl., 2000).

Elektrisk huvud-till-kropp eller huvud-till-rygg bedövning/avlivning, 2- fasmotod

I 2-fasmotoden ges först ström genom hjärnan som under bedövning över huvudet. Denna ström efterföljs direkt av ström från huvudet till kroppen eller över bröstet för att skapa hjärtventrikelflimmer. Detta sker i två faser, istället för i en fas, likt 1-fasmotoden. Förutom att bedövningen sker i två faser fungerar metoden motsvarande 1-fasmotoden. Denna typ av tvåstegsbedövning är idag inte tillåten vid slakt i Sverige, men kan efter myndighetsbeslut användas vid besättningsavlivningar.

Drivning

Elektrisk huvud-till-kropp-bedövning kräver att grisarna är fixerade och hanteras individuellt. I automatiska system så som V- och belt-restrainer, krävs att grisarna fixeras en och en för att elektroderna ska appliceras ordentligt (EFSA, 2020). Automatiska restrainer-system är dock inte tillåtna i Sverige. Vid manuell applicering av elektroderna kan elektroderna appliceras utan kraftig fixering samt i grupp. Applicering i grupp medför dock risker att elektroderna kan nudda andra grisar och inducera smärta utan att medföra bedövning.

Bedövningens inducering

Bedövningens inducering sker med två separata elektriska strömcykler (EFSA, 2004). Först går ström genom hjärnan för bedövning och sedan genom hjärtat för att orsaka hjärtstillestånd vilket även leder till avlivning (EFSA, 2004; Gregory, 1994). Den främre elektroden ska placeras på pannan och hjärtflimmerelektroden placeras på var sida om hjärtat. Den minsta strömstyrkan som krävs är 1.3A och ska appliceras minst en sekund för att inducera medvetlöshet. Minst 240V krävs för att uppnå denna styrka för så kort tid som möjligt och en strömstyrka på minst 1,0 A, vid 50 Hz växelström (sinuskurva) krävs för att inducera hjärtflimmer. Strömmen ska appliceras i minst tre sekunder. Den andra fasen ska appliceras så fort som möjligt, inom 15 sekunder, efter första fasen.

Varaktighet, tillförlitlighet och kontroll

Elektrisk huvud-till-kropp/rygg-bedövning är irreversibel. Strömcyklerna inducerar hjärtstillestånd vilket ger en omedelbar förlust av hjärnfunktion och hindrar att djuret kan återfå medvetandet och är därmed inte beroende av att djuret avblodas inom kort efter bedövningens inducering (Gregory, 1994). Vid en korrekt bedövning ska grisarna kollapsa direkt, efterföljt av ett toniskt anfall. Vidare sker en gradvis avslappning av kroppen och pupillerna vidgas. Vid inkorrekt bedövning återfås rytmisk andning, och konvulsioner uppvisas vid stick.

Tabell 15. Djurvälståndaspekter och risker vid elektrisk huvud till kropp bedövning, 2 fasmotod.

Positiva djurvälståndaspekter	Negativa djurvälståndaspekter	Välståndasrisker
Direkt bedövning/död	Individuell hantering	Korrekt bedömning av bedövning
Smärtfritt vid korrekt bedövning	Fixering	Ofrivilliga stötar från elektroderna
Irreversibel bedövning	Ej smärtfritt vid inkorrekt bedövning	

Djurvälståndaspekter

Elektrisk huvud-till-kropp/rygg bedövning ger en smärtfri direktinducerad irreversibel bedövning om den utförs korrekt, vilket är positivt ur djurvälståndssynpunkt (Tabell 15). Dock kräver metoden ofta kraftig fixering och individuell hantering vilket är negativt ur djurvälståndssynpunkt. Utrustningen kräver underhållning och ska kalibreras (EFSA, 2004). För att upprätta god kontakt mellan hud och elektroder krävs att elektroderna är rena. Vid otillräcklig kontakt riskeras både att bedövningen inte induceras korrekt samt att induceringen av elektricitet kan orsaka skada. Elektriska tänger har i försök påvisats mycket aversiva i de fall de ger en stöt utan att bedöva djuret och kan därmed utgöra ett djurvälståndproblem (Jongman m.fl., 2000).

Diskussion

Vid utvärdering av djurvälstånd kopplad till en bedövningsmetod bör man se till hela systemet (Grandin, 2003). Därför ska alla delar i slaktprocessen som rör det levande djuret och som kan påverkas av den specifika bedövningsmetoden tas i beaktande när system och metoder utvärderas och vägs emot varandra.

I Tabell 16 har de identifierade bedövningsmetodernas funktion sammanställts. Av tabellen framgår bedövningens initiering, varaktighet, huruvida bedövningsmetoden även avlivar djuren och om den finns kommersiellt tillgänglig. De djurvälståndsjämförelser som kan göras är helt beroende av den litteratur som finns publicerad. De metoder som sedan lång tid tillbaka används kommersiellt, exempelvis koldioxidbedövning och elektrisk bedövning, är mer väldokumenterade än metoder som inte används kommersiellt. Därmed blir underlaget för att göra överväganden kring djurvälståndet kring etablerade metoder större. Nyare eller mindre väldokumenterade bedövningsmetoder kan behöva mer forskning för att säkra slutsatser beträffande deras inverkan på djurvälståndet ska kunna dras.

I Tabell 17 presenteras de relativa djurvälståndsjämförelser som gjorts utifrån relevant litteratur, med avseende på drivning, hantering och fixering, risk för misslyckad bedövning, bedövningsupplevelse och säkerheten i bedövningen. Den relativa betydelsen av olika typer av stress och hur dessa ska registreras och bedömas i relation till olika aspekter på djurvälstånd är inte helt klarlagt (Brandt & Aaslyng, 2015), vilket komplicerar jämförelser av olika bedövningsmetoder med avseende på djurvälstånd. Vidare kan olika aspekter påverka djurvälståndet på olika sätt, vilket gör ett sammanvägt djurvälståndsbetyg är omöjligt att sammanställa. Exempelvis har det föreslagits att en väldigt stressande hantering innan slakt inte kan kompenseras av att bedövningens initiering inducerar minimalt med stress (EFSA, 2004). En sådan sammanvägd ranking av metoderna ingår därför inte i jämförelserna.

Vetenskapligt underlag

Specificiteten för djurvälståndsbetygarna är beroende av det vetenskapliga underlaget, vilket innebär att när underlaget är begränsat blir även djurvälståndsbetyget mindre precis. Hos mer etablerade bedövningsmetoder är underlaget större varför också djurvälståndsbetyget kan bli mer specifikt och säkert. Exempelvis är underlaget för koldioxid stort varför en mer specifik bedömning möjliggörs. För många av de metoder som testats men inte praktiserats i kommersiell skala saknas mycket information för att en bedömning av dess effekt på välståndet ska vara möjlig (Tabell 17). Eftersom många försök är gjorda i mindre skala saknas också ofta beskrivning eller utvärdering av exempelvis drivningsmetoder och hur dessa skulle fungera i kommersiell drift, trots att det är känt att detta kan påverka välståndet. Vidare är det känt att olika individer reagerar olika på olika bedövningsmetoder, exempelvis beroende på individuella skillnader i metabolism, respiration, stresshantering eller genuppsättning, vilket sin tur exempelvis kan påverka olika gasers inverkan på individen (Atkinson et al., 2015; Velarde m.fl., 2007). Exempelvis har det visats att det ofta är den gris som först reagerar på en specifik gasblandning (80 % kväve och 20 % koldioxid eller 90 % koldioxid) som är den sista att nå LOP (Atkinson m.fl., 2015).

Hos icke kommersiella metoder saknas ibland försök på slaktmogna grisar (levandevikt runt 115 kg). För att säkerställa påverkan på välståndet hos slaktmogna djur under kommersiell slakt krävs försök på just slaktmogna djur under liknande förhållanden som kommersiell slakt. I vissa avseenden finns dock inte anledning att anta att vuxna grisar skulle reagera annorlunda än yngre grisar. En studie av Kells et al (2018) visade exempelvis att 17 dagar gamla grisar reagerade mer negativt på koldioxidbedövning än på bedövning med argon. Dessa resultat styrks av flertalet andra studier (t.ex. Raj & Gregory, 1996; Dalmau m.fl., 2010) vilket tyder på att resultaten är giltiga även för äldre grisar. Tidigare studier har även visat att det är receptorer i lungorna som är känsliga för koldioxid och inducerar obehag (Kells m.fl., 2018). Eftersom koldioxiden i blodet hjälper till att reglera andningen och koldioxid skadar cellerna torde koldioxidkänsliga mekanismer finnas på liknande sätt oberoende av ålder. Jämfört med bedövning med LAPS, där inga studier gjorts på slaktmogna grisar eller andra djur i motsvarande storlek är däremot resultaten mer svårtillämpade, bland annat eftersom vi ännu inte vet hur man rent tekniskt ska överföra tekniken på större djur även om systemet finns kommersiellt tillgängligt för exempelvis fjäderfå (Berg & Raj, 2015).

En del av den litteratur som är publicerad återfinns i tidskriften Meat Science, eller har fokus på köttkvalitet, vilket indikerar att en av drivkrafterna när man undersökt bedövning har varit kvaliteten på slutprodukten snarare än djurvälståndet. Generellt ger metoder som medför lågt djurvälstånd även dålig köttkvalitet varför förbättring av bedövningsmetoden också kan påverka flera faktorer som är viktiga för produktion och ekonomi positivt (EFSA, 2004).

Tabell 16. Olika bedövningsmetoders funktion.

”Funktion” innefattar hur bedövningen initieras fysiologiskt av bedövningsmetoden, ”initiering” innefattar tiden det tar från att bedövningen initieras till dess att medvetslösheten inträffar, ”varaktighet” innefattar huruvida bedövningen är reversibel eller ej, ”avlivning” innefattar om bedövningsmetoden även avlivar djuret eller ej, ”kommersiellt tillgänglig” innefattar om bedövningsmetoden är kommersiellt tillgänglig eller ej.

Metod	Funktion	Initiering	Varaktighet	Avlivning	Kommersiellt tillgänglig
Mekanisk bedövning					
Penetrerande bultpistol	Hjärnskador	Omedelbar	Irreversibel	Nej ¹	Ja
Fri projektil	Hjärnskador	Omedelbar	Irreversibel	Nej ¹	Ja
Gasbedövning					
Koldioxid	Hypoxi, hyperkapni	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Ja
Low atmosphere stunning	Hypoxi ⁵	Ej omedelbar ⁵	Irreversibel ⁵	Ja ⁵	Nej ⁵
Argon	Hypoxi	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Kväve	Hypoxi	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Koldioxid, argon	Hypoxi	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Koldioxid, kväve	Hypoxi	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Kväve, argon	Hypoxi	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Kväve, argon, koldioxid	Hypoxi	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Helium	Hypoxi	Ej omedelbar ²	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Xenon	Hypoxi	Ej omedelbar ¹	Reversibel ³	Nej ⁴	Nej
Elektrisk bedövning					
Bedövning över huvudet	Epileptiformt anfall	Omedelbar	Reversibel ⁶	Nej	Ja
Huvud till kropp/huvud till rygg	Epileptiformt anfall, hjärtstillestånd	Omedelbar	Reversibel ⁶	Nej	Ja

¹De skador som uppstår vid mekanisk bedövning är vanligen dödande på sikt, men utgör i sig inte en avlivningsmetod

²Beror på koncentrationen, desto högre koncentration, desto snabbare initieras bedövningen

³Beror på koncentrationen och exponeringstiden, ju högre koncentration och längre exponeringstid, desto långvarigare effekt av bedövningen

⁴Vid påtagligt förlängd exponering leder gasbedövningen till döden

⁵Inga försök är genomförda på grisar som uppnått slaktvikt (~115 kg), varför det är svårt att dra säkra slutsatser

⁶Generellt ger elektrisk bedövning kortvarigare bedövning än gasbedövning

Tabell 17. Jämförelse av olika bedövningsmetoders påverkan ur djurskyddssynpunkt. ¹En bedömning har gjorts utifrån en tre-gradig skala där 1 motsvarar låg negativ påverkan på välfärden och 3 motsvarar hög negativ påverkan på välfärden. ”Drivning” innefattar drivningen från väntboxen till bedövningen, ”Hantering och initiering” innefattar hanteringen vid bedövningen, ”Risk för misslyckad bedövning” innefattar risken att djuren inte blir korrekt bedövade av bedövningsmetoden, ”Bedövningsupplevelse” innefattar tiden mellan bedövningens initiering till dess att medvetenhet inträffar, ”Säkerhet i bedövning” innefattar bedövningskvalitet och bedövningsgenomslag. Bedömningen utgår från att bedövningen har skett med ”best practice”. För metoder där den mänskliga faktorn har en stor effekt, vägs denna in men förutsätter att bedövningen initieras på rätt sätt. DD: Data deficient, det vill säga att tillräckligt underlag för bedömning saknas.

Metod	Drivning	Hantering och fixering	Risk för misslyckad bedövning	Bedövningsupplevelse ¹	Säkerhet i bedövning ³
Mekanisk bedövning					
Penetrerande bultpistol	3	3	3	1	2
Fri projektil	3	3	3	1	2
Gasbedövning					
Koldioxid	1	1	1	3	1
Low atmosphere stunning	1 ³	DD	DD	DD	DD
Argon	1 ³	1	DD	2	1
Kväve	1 ³	1	DD	2	2
Koldioxid & argon	1 ³	1	DD	2-3 ⁴	1
Koldioxid & kväve	1 ³	1	DD	2-3 ⁴	1
Helium	1 ³	1 ³	DD	2	1
Xenon	1 ³	1 ³	DD	DD	DD
Elektrisk bedövning					
Huvudbedövning	3	3	3	1	2
Huvud till kropp/huvud till rygg	3	3	3	1	2

¹I bedömningen av bedövningsupplevelsen inkluderas längden hos bedövningens initiering. Vid icke momentan bedövningseffekt bedöms även graden av aversion under induktionsfasen.

²En bedömning har gjorts utifrån en tre-gradig skala där 1 motsvarar hög säkerhet i bedövningen och 3 motsvarar låg säkerhet i bedövningen. Säkerheten omfattar både att djuren blir bedövade och att bedövningen är ihållande till dess att djuret dör.

³Inga försök är genomförda på grisar som uppnått slaktvikt (~115 kg), varför det är svårt att dra säkra slutsatser. Bedömningen bygger på antagandet att grisarna kan drivas i grupp liknande kommersiell koldioxidbedövning

⁴Bedövningen upplevs troligen mer aversiv, desto mer koldioxid gasblandningen innehåller.

Drivning

Drivning omfattar förflyttningen av djur mellan uppställningsboxen och bedövning. Generellt har bedövningssystem som tillåter drivning i grupp bedömts ha mindre negativ påverkan på djurvälståndet än individuell drivning eftersom hantering i grupp jämfört med individuell hantering generellt inducerar mindre stress hos grisar (t.ex. EFSA, 2004). Även vid drivning av djur i grupp påverkar dock t.ex. utformningen av drivgångarna grisarna påverkas. Ett väl utformat system utnyttjar grisarnas naturliga beteende, kräver inte hård pådrivning av människor eller elektriska pådrivare och har därför relativt liten påverkan på djurvälståndet.

Hantering och fixering

Hantering och fixering omfattar hanteringen vid induceringen av bedövningen. I de fall där grisar behöver hanteras individuellt och fixeras för att bedövningen ska kunna initieras (elektrisk och mekanisk bedövning) bedöms generellt ha högre negativ påverkan på djurvälståndet än system som inte kräver individuell hantering och fixering. Fixering har tidigare identifierats som det enskilt mest stressande momentet under slaktprocessen (EFSA, 2004). För de bedövningsmetoder som kräver fixering är det av högsta vikt att det utvecklas lämpliga fixeringssystem, som minimerar den negativa påverkan på djurvälståndet i samband med fixeringen (EFSA, 2004).

Risk för misslyckad bedövning

Risk för misslyckad bedövning omfattar risken för att en bedövningsmetod inte ska resultera i att grisen blir fullständigt bedövad fram till dess att döden inträder. Generellt har mekanisk och elektrisk bedövning bedömts innebära större risk för misslyckad bedövning jämfört med gasbedövning. Den högre risken beror delvis på den mänskliga faktorn och det faktum att mekanisk och elektrisk bedövning oftast är beroende av att en människa applicerar exempelvis bultpistolen eller de elektriska tångerna på ett helt korrekt sätt, och att utrustningen fungerar klanderfritt. Vidare kräver appliceringen precision, vilket kan försvåras av exempelvis ofullständig fixering, och felplacering som leder till ofullständig bedövning.

Bedövningsupplevelse

Bedövningsupplevelsen omfattar upplevelsen av bedövningen från initiering till dess att djuret är bedövat, d.v.s. medvetslöst. Generellt har bedövningsmetoder som inducerar direkt bedövning (vid korrekt applicering) bedömts påverka djurvälståndet mindre negativt jämfört med metoder som inte inducerar direkt bedövning, om inte den utdragna induktionen i sig är helt utan djurvälståndskonsekvenser, vilket sällan är fallet. Vid gasbedövning, som inte ger direkt bedövning, har gasens påverkan på djurens välbefinnande och beteende påverkat bedömningen. Gaser som är aversiva bedöms därmed ha mer negativ påverkan på djurvälståndet, med ökad negativ påverkan desto högre aversiviteten bedöms vara. Ett mått på hur aversiv en gas är huruvida grisar frivilligt går in i ett utrymme fyllt med gasen, man antar då att grisar frivilligt går in i ett gasfyllt utrymme om gasen inte är otrevlig att andas. Frivilligheten att gå in i en butina har visat sig minska när butinan är fylld med gas istället för luft (90 % Ar; 70 % N 30 % CO₂; 85 % N₂ 15 % C) (Dalmau m.fl., 2010).

Säkerhet i bedövning

Säkerheten i bedövning omfattar både att djuren blir korrekt bedövade och om bedövningen varar till dess att grisen är avlivad. Generellt sett har bedövningsmetoder som ger kortare varaktighet vad gäller medvetslöshet bedömts ha större negativ påverkan på djurvälståndet eftersom det potentiellt ökar risken att djuren inte hinner avblodas och dö innan bedövningen upphör.

Risker med bedömningen av medvetslöshet

Vid bedömning av bedövningsförloppet använder man ofta tillfället djuret förlorar förmågan att stå upp (LOP) som en första indikator för att djuret förlorar medvetandet. I försök har grisar återgått till stående position efter att LOP inträffat, vilket indikerar att grisarna kan vara vid medvetande även efter LOP (Atkinson m.fl. 2015). Trots att djur bedövats och avblodats innan de återfått medvetandet kan djur bedövade med argon eller en blandning av argon och koldioxid uppvisa muskelryckningar vilka kan misstas för att vara tecken på medvetande samt påverka köttkvaliteten (Raj, 1999).

Risker kopplade till sticktid

Olika bedövningsmetoder medför medvetlöshet under olika lång tid. Intervallet mellan bedövning och stick är av betydelse eftersom grisarna måste stickas och hinna dö av blodförlusten innan bedövningen hinner släppa. Längre tid mellan bedövning och stick kan öka risken för att sticket eller döden inträffar efter att bedövningen släppt eller börjat släppa. Metoder som inducerar kortvarig bedövning ställer därmed högre krav på snabb avblodning.

Corneal-reflexen återkom tidigare hos djur bedövade i gasblandningar med 15 % koldioxid, jämfört med högre andel koldioxid och är ett tecken på att bedövningen blir mer kortvarig (Llonch m.fl., 2012b). Anledningen till att bedövningen är mer långvarig vid bedövning med 90 % koldioxid är troligen att den höga koldioxidhalten skapar en starkare förurning av blodet vilken tar längre tid att återhämta sig ifrån. Ju högre koldioxidhalt, desto längre håller bedövningen i sig, varför exponeringstiden måste vara längre vid lägre inblandning av koldioxid (Llonch m.fl., 2012b). Enligt Llonch et al (2013) bör man vid bedövning med koldioxid och kväveblandningar (70-85 % kväve, 15-30% koldioxid) säkerställa att grisarna exponeras för gasen i minst fem minuter eftersom grisarna har relativt kort återhämtningsfas (jämfört med ren koldioxid). På grund av bedövningens korta varaktighet rekommenderar man inte att en blandning med 85 % kväve och 15 % koldioxid används. Elektrisk bedövning över huvudet initierar en kort medvetlöshet och avblodning bör ske inom 15 sekunder (Vogel m.fl., 2011). Tidigare observationer har visat att den korta varaktigheten av medvetlöshet medför problem med att avbloda innan bedövningen avtar, särskilt på mindre slakterier (Vogel m.fl., 2011).

Intervallet mellan bedövning och avblodning ökar med ökad gruppstorlek vid bedövning i grupp och därmed kan även risken att djuren inte är bedövade fram till döden öka. Sticktiden vid fyra grisar per grupp i koldioxid var i en svensk studie mellan 1,12 och 1,29 minuter för den sista grisen (Atkinson m.fl., 2015). Tidigare studier har även visat att sticktiden är längre i pater-noster-systemet där 20 % stacks inom 60 sekunder medan motsvarande siffra för dip-lift-systemet var 65 %, även om alla djur oavsett system bedömts som korrekt bedövade vid stick (Atkinson m.fl., 2012).

Jämförelser mellan bedövningsmetoder och bedövningssystem

Eftersom koldioxid är den vanligaste förekommande bedövningsmetoden, samtidigt som den varit ifrågasatt på grund av sin aversivitet, är de flesta jämförelser mellan olika metoder med koldioxid som grund.

Koldioxid och elektricitet

Bercil-Herrera med flera (2019) jämförde elektrisk bedövning med koldioxidbedövning. Djur som bedövas med koldioxid och elektrisk bedövning över huvudet uppvisar mer fysiologiska tecken på stress (hyperglukemi och acidosis) jämfört med dagen innan slakt. Koldioxidbedövningen gav högre stresspåslag och bedömdes därför ha mer negativ påverkan på grisens välfärd.

Jongman med flera (2000) jämförde bedövning med koldioxid och elektrisk bedövning som föregicks av fixering i en så kallad V-restrainer. Bedövning med 90 % koldioxid bedömdes betydligt mindre aversivt än elektrisk bedövning eftersom grisarna i högre grad undvek exponering av elektricitet efter att ha blivit bedövade med elektricitet en gång. Faktumet att alla djur som bedövats med 90 % koldioxid blev medvetlösa kan dock ha påverkat deras minne av behandlingen. Vidare kunde man inte påvisa någon skillnad i aversion mellan fixering i V-restrainern och korgen som koldioxidbedövningen skedde i. Författarna påpekade dock att detta också påverkas mycket av systemets utformning och hur djuren introduceras till korgen/restrainern. I situationer som kan verka stressade (exempelvis vid slakt) föreslås dock vaggan vara bättre ur djurvälståndssynpunkt.

Koldioxid och argon

Jämfört med koldioxid interagerar inerta gaser, såsom argon, inte med andra substanser, varför de inte heller irriterar mucusmembranen (ex. Raj & Gregory 1995). Argon eller argon och koldioxidblandningar (upp till 30 % inblandning) anses mindre aversivt än ren koldioxid och ger även stabila gasblandningar (Dalmau m.fl., 2010; EFSA, 2004). Ren argon eller lägsta möjliga koncentration av koldioxid har föreslagits vara det mest djurvälståndsmässiga bedövningsmetoden för gris (Mota-Rojas m.fl., 2012). Däremot tar det längre tid för gaserna att inducera bedövning jämfört med koldioxid (Dalmau m.fl., 2010).

Kells med flera (2018) jämförde bedövning med argon med koldioxidbedövning hos 17 dagar gamla grisar. Studien visade att bedövning med 100 % argon inducerar mindre stress än bedövning med 100 % koldioxid. Bland annat uppvisade grisar som bedövas med koldioxid mer ansträngd andning samt tidigare och mer ihållande flyktförsök under induktionsfasen jämfört med de grisar som bedövas med argon. Vid bedövning med en blandning av koldioxid och argon (60 % argon och 40 % koldioxid) blev resultaten liknande bedövning med ren koldioxid och bedömdes därför inte ge några fördelar ur djurvälståndssynpunkt (Kells m.fl., 2018). Bedövningen inducerades snabbare med ren koldioxid jämfört med ren argon eller kombinationen argon och koldioxid, men bedömdes även ge de mest negativa djurvälståndskonsekvenserna, medan argon bedömdes ge minst negativa djurvälståndskonsekvenser (Kells m.fl., 2018).

Raj & Gregory (1996) undersökte bedövning med argon, koldioxid och koldioxid-argonblandningar. Både koldioxid och blandningar mellan koldioxid och argon inducerar hyperventilering innan medvetlöshet inträffar. Hyperventileringen varade längre när koldioxidhalten var 20 % jämfört med 30 %. Dock uppvisades inga flyktförsök vilket antyder på att koldioxidhalterna var tolerabla. Tiden till LOP var likande vid bedövning med 50 % koldioxid och 2 % residualsyre i argon, men argon-blandningen inducerade endast mild respiratorisk stress medan koldioxiden initierade mer respiratorisk stress (Raj & Gregory, 1996). Vid 30 % inblandning av koldioxid i argon ökade hyperventileringen men reducerades tiden för LOP med 11 sekunder utan att medföra andnöd. Bedövning med 2 % residualsyre i argon inducerade minimalt med obehag, 30 % koldioxid med 2 % residualsyre i argon medelmycket obehag medan 20-90 % koldioxid inducerar allvarligt obehag för grisarna (Raj & Gregory, 1996). Bedövning med 30 % koldioxid i argon (med 2 % residualsyre) bedöms därför som inte aversivt och kan ses som en djurskyddsmässigt acceptabel bedövningsmetod. Bedövning i ren argon (med 2 % residualsyre) är dock att föredra eftersom det resulterar i minimal respiratorisk stress.

Raj (1999) jämförde bedövning med 90 % argon, 90 % koldioxid och en blandning med 30 % koldioxid och 60 % argon. Tiden till LOP skiljde sig inte mellan de olika gaserna men grisarna som bedövats med 90 % argon uppvisade konvulsioner under en längre tid efter att LOP inträffat. Ren koldioxid bedömdes mer effektivt att avliva djuren jämfört med både argon eller blandningar mellan argon och koldioxid. Utifrån resultaten rekommenderades att djuren bedövas med argon eller en blandning av argon och koldioxid under minst 3 minuter för att sedan avliva dem genom elektricitet.

Koldioxid, kväve och argon

Dalmau och medarbetare (2010) jämförde bedövning med argon och koldioxid med bedövning med kväve och koldioxid. Jämfört med en blandning av 70-85 % kväve och 15-30 % koldioxid inducerade bedövning med ren argon färre flyktförsök, längre tid till medvetandeförlust, LOP och fler muskelryckningar efter LOP (Dalmau m.fl., 2010). Muskelryckningarna efter LOP associeras dock till omedvetna rörelser bedöms inte utgöra flyktförsök. Även dessa studier visar på att grisarna visade mindre aversion mot argon jämfört med koldioxid eller kombinationen koldioxid och kväve (Dalmau m.fl., 2010). Trots att argon inducerar aversion bedöms aversionen vara lägre än vid 15-30% inblandning av koldioxid (Dalmau m.fl., 2010). Slutsatsen som dras är att argon anses bättre för djurvälståndet än bedövning i hög koncentration av koldioxid, eller att koldioxidhalten ska vara lägsta möjliga.

Koldioxid och kväve

Atkinson och medarbetare (2015) jämförde bedövning med 90 % koldioxid och en blandning av 20 % koldioxid och 80 % kväve. Resultatet från studien påvisade inte se någon skillnad i den genomsnittliga tiden till första reaktion på gasen. Däremot var maxtiden till första reaktion lägre för kväveblandningen (12 vs 21 s) vilket indikerar att åtminstone vissa grisar finner blandningen mindre aversiv. Man fann heller inga större skillnader för inträde av LOP, men maxtiden för LOP var högre i kvävgasblandningen vilket indikerar att det kan ta längre tid att inducera bedövning med gasblandningen jämfört med ren koldioxid. Grisarna som bedövades med 90 % koldioxid visade kraftfullare reaktioner innan av LOP. Grisarna som bedövades med gasblandningen påvisade kraftfullare reaktioner efter inträde av LOP (Atkinson m.fl., 2015). Kväljningar var mer frekventa och ihållande i gasblandningen jämfört med ren koldioxid. Allt som allt bedömdes båda metoderna inducera stort obehag för grisarna.

Llonch och medarbetare (2012b) jämförde bedövning med ren koldioxid med koldioxid-kväveblandningar. Jämfört med 90 % koldioxid visade grisarna färre flyktförsök vid bedövning med en lägre andel koldioxid (70-85 % kväve och 15-30 % koldioxid), troligen på grund av att irritationen av slemhinnorna minskar (Llonch m.fl., 2012b). Vid 15 % inblandning av koldioxid sågs inga flyktförsök. Även mängden flämtningar

minskade med minskad andel koldioxid. Vid 15 % inblandning av koldioxid sågs inga flämtningar. Efter 270 sekunders bedövning med de olika gasblandningarna återfick 91,8% av grisarna rytmisk andning och 85,7% av grisarna hornhinnereflex innan döden inträffade (Llonch m.fl., 2012b), vilket visar att den låga koldioxidkoncentrationen innebar uppenbara problem med bedövningskvaliteten..

Llonch och medarbetare (2013) studerade bedövning med 90 % koldioxid och olika blandningar av kväve (70-85 %) och koldioxid (15-30 %). Bedövning med ren koldioxid inducerade mer aversion, men även snabbare medvetslöshet och mer långvarig bedövning med bedövning med gasblandningarna. Efter lång exponering av koldioxid (3 minuter) var alla grisar döda medan efter fem minuters exponering av gasblandningarna levde fortfarande 30 % av grisarna.

Pöhlmann (2018) undersökte bedövning med kväve i skum och fann lägre halter katekolaminer i blodet efter bedövning, jämfört med bedövning med koldioxid, vilket tyder på att grisarna utsatts för mindre stress.

Koldioxid och helium

Machtolf och medarbetare (2014, 2013) jämförde bedövning av slaktgrisar med 90 % koldioxid eller 95 % helium. Induceringen av bedövningen tog ungefär lika lång tid för båda gaserna (16 sekunder för koldioxid och 20 sekunder för helium). Under bedövning med helium påvisades inga aversiva beteenden medan bedövning med koldioxid initierade hyperventilering, flyktt försök och vokalisering. Jämfört med helium hade även de grisar som bedövats med koldioxid signifikant högre halt adrenalin och noradrenalin i blodet vilket indikerar att de grisar som bedövats med koldioxid upplevt högre grad av stress jämfört med de grisar som bedövats med helium (Machtolf et al 2013). Bedövningen med koldioxid skedde i ett kommersiellt Butina-system, medan bedövning med helium skedde individuellt. Författarna drog slutsatsen att bedövning helium är bättre för djurväl-färden än bedövning med koldioxid.

Koldioxid och LAPS

Engle & Edwards (2011) jämförde avlivning med hjälp av koldioxid eller LAPS av smågrisar på gård. Man kunde inte se några skillnader i beteende mellan metoderna men det fanns en trend att grisarna som avlivades med LAPS gjorde mer motstånd än djuren som bedövats med koldioxid. Vidare tog avlivning med LAPS längre tid jämfört med koldioxid (13,4 minuter jämfört med 7,8 minuter). Där till blev inte alla djur avlivade med LAPS, varför metodens lämplighet ifrågasattes.

Buzzard (2012) jämförde avlivning med LAPS och koldioxid för smågrisar. Resultaten visar att koldioxiden avlivade djuren fortare (13,8± 5,1 minuter jämfört med 27,4±6,7 minuter). Vidare påvisades beteendeskillnader mellan behandlingarna där flämtningar sågs hos 100 % av djuren som avlivats med koldioxid och hos 29 % av djuren som bedövats med LAPS. Under de första fem minuterna av induceringen av koldioxid eller LAPS påvisades ataxi (ofrivilliga rörelser) hos 57 % av djuren om bedövats med LAPS och 77 % av djuren som utsatts för koldioxid. Allt som allt bedömdes att LAPS inducera mindre stress jämfört med koldioxid eftersom färre aversiva beteenden påvisades, men fler studier behövs innan man med säkerhet kan dra denna slutsats, och det är inte visat om metoden alls kan rekommenderas för slaktgrisar.

Koldioxid och lustgas (N₂O)

Rault och medarbetare (2013) undersökte en tvåstegsmetod för bedövning och avlivning av smågrisar med gas. Grisar som utsatts för 90 % koldioxid blev medvetslösa fortast följt av grisar som utsatts för 60 % lustgas och 30 % koldioxid, 60 % argon och 30 % koldioxid respektive 69 % kvävgas och 30 % koldioxid. Djur som utsatts för 60 % lustgas och 30 % syre påvisade inga visuella tecken på stress, men hade också mycket lång tid för inducering av medvetslöshet, 12 minuter. Trots den långa induceringen föreslår författarna att en human metod för avlivning av smågrisar med gas skulle vara att först bedöva dem med lustgas och 60 % lustgas och 30 % syre för att sedan avliva dem i 90 % koldioxid.

Övriga faktorer

Förutom djurväl-färden finns andra aspekter som påverkar valet av bedövningsmetod, vilka inte är en del i denna rapport. Dock bör några faktorer nämnas i detta sammanhang, faktorer som särskilt påverkar bedövningsmetodens möjligheter att användas kommersiellt; gasstabilitet & gashantering, arbetsmiljö, kostnad och tillgänglighet.

Gasstabilitet och gashantering

Många av de alternativa gaser som föreslagits till bedövning är lättare än luft. En av fördelarna med koldioxid är att koldioxid är tyngre än luft och därmed enkelt kan hållas inom en behållare, vilket är grunden för system som pater-noster och dip-lift. Därmed har hanteringen av gaser såsom kväve, argon och helium varit svårare, och det saknas idag kommersiella system som kan hantera gaserna felfritt.

Tidigare studier har påvisat svårigheter vad gäller att använda vissa typer av gaser på grund av att det varit svårt att rent praktiskt få gasen att fungera i systemen. Enligt Dalmau och medarbetare (2010) kan inte enbart fri kvävgas ersätta bedövning med koldioxid i dip-lift-system eftersom det var svårt att bibehålla en tillräckligt låg syrehalt för att bedövningen ska kunna induceras. Detta styrks av Atkinson och medarbetare (2015) som också beskriver problem med att hålla residualsyret på en tillräckligt låg nivå vid bedövning med kväve, med förlängd inducering av medvetslösheten som följd. För att utveckla en förbättrad bedövningsmetod med avseende på djurvälstånd behövs därmed även tekniska lösningar som med hög säkerhet kan hantera bedövningsmetoderna.

Uniformiteten, det vill säga huruvida koncentrationen av gasen är densamma i hela utrymmet, var bättre i gasblandningar jämfört med ren koldioxid (Dalmau m.fl., 2010). Gasblandningar med argon och koldioxid, 90 % argon eller blandningar mellan kväve och koldioxid där kvävehalten är liknande atmosfärens kvävehalt (~79 %) har både hög stabilitet och uniformitet. Eftersom gasblandningen är uniform krävs inte heller att grisarna sänks ned till botten av gropen för att exponeras för rätt gasblandning. Därmed kan den ökade exponeringstiden som krävs (jämfört med 90 % koldioxid) jämnas ut något på grund av att exponeringen induceras direkt vid inträde i butinan. Det är ännu inte klarlagt hur temperaturen påverkar grisars gasupptag, men runt 17 grader Celsius verkar vara optimalt för 90 % koldioxid (Atkinson m.fl., 2015).

Arbetsmiljö

En risk som lyfts upp kring användningen av icke-aversiva gaser med bedövande effekt är att eventuellt gasläckage skulle kunna ske utan att det upptäcks av personalen, med personskador som följd. Vid eventuellt läckage av koldioxid upptäcks istället läckaget eftersom närvaro av gasen är kännbar vid inandning även hos människor. Risken för personskada i anslutning till fixering och bedövning med bultpistol och elektricitet bör också tas i beaktande.

Kostnad och tillgänglighet

Kostnaden och tillgängligheten av olika gaser har beskrivits i rapporten. Kostnaden av en gas reflekteras ofta av tillgängligheten på gasen varför inte endast en förhöjd kostnad är av relevans för valet av gas vid bedövning. Exempelvis har användning av xenon till bedövning eller anestesi har ifrågasatts eftersom att det endast finns en låg mängd xenon i atmosfären och en hög användning av xenon skulle leda till mycket höga kostnader varför det borde användas med försiktighet (Neice & Zornow, 2016).

Tidigare bedömningar

EFSA

EFSA (2004) rankade olika bedövningsmetoder med avseende på djurvälstånd och köttkvalitet i en rapport från 2004. De bedömde att bultpistol var att föredra ur djurvälståndssynpunkt efterföljt av gasbedövning och elektriska bedövningsmetoder. I den rapporten diskuterades dock inte hanterandet av enskilda grisar och den fixering som krävs vid bedövning med bultpistol, vilket annars ses som de stora riskerna för djurvälståndet vid bedövning med bultpistol.

Korrekt använd luftrycksdriven bultpistol gav minst reaktioner och bedömdes därför påverka djurvälståndet minst. Dock bedömdes bultningen ta för lång tid för att kunna upprätthålla en god produktionshastighet vid större slakterier och luftrycksdrivna bultpistoler är alltför kostsamma för mindre slakterier. För elektriska metoder ansågs reglerad strömstyrka bäst ur ett djurvälståndsperspektiv (jämfört med pulserande eller konstant spänning). Gas bedömdes påverka djuren mycket negativt de första 10-12 sekunderna. Vidare gjordes bedömningen att 73 sekunders bedövning i 80 % koldioxid inte gav en tillräckligt säker bedövning med avseende på bedövningens djup eller längd men 90 sekunders exponering gav en snabb död. Vid bedövning med 90 % koldioxid dog en stor andel av grisarna vilket gör att man undviker problem med bedövningens djup eller längd. I rapporten dras slutsatsen att bedövning med gas ska ske med icke aversiv gas, och medvetslöshet ska induceras snabbt (EFSA, 2004). Gasbedövning bör enligt den rapporten, som dock är 15 år

gammal, ske med 30 % koldioxid samt 60 % argon eller kväve i luft, eller med 90 % argon, kväve eller annan inert gas i luft vilket dock inte helt stöds av senare forskning. Mängden syre i lyften ska inte överstiga 2 % (volym). Gaskoncentrationerna ska uppnås inom 10 sekunder för grisarna som sedan ska vistas i gasen i minst tre minuter (EFSA, 2004)

Eurogroup for animals

Eurogroup for Animals (en sammanslutning av 70 djurskyddsorganisationer i 31 olika länder) har författat ett "position paper" angående bedövning och avlivning av djur med höga koncentrationer av koldioxid där de argumenterar för att koldioxidbedövning ska fasas ut och resurser istället ska läggas på att hitta en icke aversiv bedövningsmetod. De anser bland annat att icke aversiva gasblandningar eller tvåfas-system (där djuren först bedövas med av icke aversiva gasblandningar för att sedan bli antingen elektriskt avlivade eller avlivade med höga koncentrationer koldioxid) skulle kunna vara alternativ till koldioxidbedövning (Eurogroup, 2019).

Kunskapsluckor och framtida forskning

Den forskning som genomförs i framtiden bör i slutändan ta hänsyn till hela slaktprocessen. Idag saknas ofta information om hur hela slaktprocessen (från drivning till avblodning) påverkar välfärden hos de metoder som ännu inte är kommersiellt tillgängliga (Tabell 17). Mindre väldokumenterade bedövningsmetoder kan därmed behöva mer forskning för att slutsatser på dess inverkan på djurvälstånd ska kunna dras. Exempelvis har hanteringen innan bedövningen påvisats kunna vara minst lika stressande som bedövningens initiering (EFSA, 2004). Tidigare har föreslagits att framtida forskning bör fokusera på icke-aversiva gasmixer för att bedöva djur (EFSA, 2004). Detta ligger i linje med det faktum att fixeringen kan vara det som är mest stressinducerande under slakten, och hanteringen innan slakt ofta kan ske i grupp och med minimal fixering och hantering. Framtida bedövningsmetoder bör vidare vara ge säker bedövning med låg risk, varför även detta behöver prioriteras i framtiden. Idag finns kunskapsluckor kring riskerna för misslyckad bedövning för flera av de alternativa gaserna/gasblandningarna som undersökts.

Slutsatser

Samtliga av de idag kommersiellt tillgängliga bedövningsmetoderna för gris, i praktiken mekanisk bedövning (bult/kula), elektrisk bedövning och koldioxidbedövning, har både för- och nackdelar från djurskyddssynpunkt. Dessa för- och nackdelars inbördes vikt påverkas bland annat av slakthastigheten men även av andra faktorer. För vissa metoder ligger de djurskyddsmässiga nackdelarna huvudsakligen i den hantering som krävs före bedövningen, dvs är kopplade till drivning och fixering. I vissa fall handlar det om risken för handhavandefel/den mänskliga faktorn eller risken för att själva bedövningsutrustningen ska falla, och i ytterligare andra fall är det själva induktionen av bedövningen som är påtagligt obehaglig för grisarna, eller risken för ett alltför snabbt återuppvaknande som är stor. Det går inte att, baserat på tillgänglig vetenskaplig kunskap, entydigt peka ut en enda metod som den som är att föredra vid alla typer av slakt av grisar. Av de metoder som idag befinner sig på hypotes- eller forskningsstadiet och som beskrivs i denna rapport bedöms ingen vara färdig för kommersialisering inom den närmaste framtiden, eftersom det saknas tillräckligt omfattande forskning gällande både praktisk tillämpning, djurvälstånd och andra relevanta aspekter.

Rent generellt vore ett system eller en bedövningsmetod som medger att grisarna hanteras och drivs i grupp utan användning av elpåfösare eller annan hård drivning, som inte kräver kraftig fixering, som ger snabb induktion utan aversiva reaktioner hos grisarna, som är driftssäker och inte i hög grad beroende av den enskilda operatörens skicklighet, och som ger långvarig eller irreversibel bedövning att föredra. Något sådant system finns inte tillgängligt idag, vilket innebär att området är aktuellt för vidare forskning.

Referenser

- Algers, A., Berg, L., Hammarberg, K., Larsen, A., Lindsjö, J., Malmsten, A., Malmsten, J., Mustonen, A., Olofsson, L., Sandström, V. 2012. Utbildning i djurvålfärd i samband med slakt och annan avlivning. <http://disa.slu.se/> Hämtad: 2020-11-04
- Anderson, K., Ries, E., Backes, J., Bishop, K., Boll, K., Brantner, E., Hinrichs, B., Kirk, A., Olsen, H., Risius, B., Bildstein, C., Vogel, K.D. 2019. Relationship of captive stunning location with basic tissue measurements and exposed cross-sectional brain area in cadaver heads from market pigs. *Transl. Anim. Sci.* 3 pp 1405-1409.
- Anil, M.H., 1991. Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. *Meat Science*, 30: 13-21.
- Anil, M.H., McKinsty, J.L. 1998. Variations in electrical stunning tong placement and relative consequences in slaughter pigs. *The Veterinary journal*, 155, pp. 85-90.
- Atkinson, S., Larsen, A., Llonch, P., Velarde, A., Algers, B. 2015. Group stunning in pigs during commercial slaughter in a butina pater-noster system using 80% nitrogen and 20% carbon dioxide compared to 90% carbon dioxide. Department of Animal Welfare and health.
- Atkinson, S., Velarde, A., Llonch, P., Algers, B. 2012. Assessing pig welfare at stunning in Swedish commercial abattoirs using CO₂ group stun methods. *Animal Welfare* 21. Pp 487-495.
- Baumert, J-H. 2009. Xenon-based anesthesia: theory and practice. *Open Access Surgery*. 2009:2. Pp 5-13
- Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M., Lemus-Flores, C., Guerrero-Legarreta, I., Olmos-Hernández, A., Ramírez-Necoechea, R., Mota-Rojas, D. 2009. CO₂ stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. *Meat Science* 81. Pp 233-237
- Von Borrel, E., Veissier, I. 2007. Heart rate variability as a measure of autonomiv regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals- A review. *Physiology and Behaviour* 92(3). Pp 293-316.
- Bouwsema, J.A., Lines, J.A. 2019. Could low atmospheric pressure stunning LAPS (LAPS) be suitable for pig slaughter? A review of available information. *Animal Welfare*. 28. Pp 421-432.
- Brandt, P., Aaslyng, M.D. 2015. Welfare measurements of finishing pigs in the day of slaughter: A review. *Meat Science* 103. 13-23
- Brattlund Hellgren, R. 2019. Grisars beteende i bedövningsbox fylld ned luftskum eller kvävasskum.
- Broom, D.M. (1986). Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, 142(6), pp. 524-526
- Buzzard, B. L. 2012. Evaluation of hypobaric hypoxia as a low stress alternative to carbon dioxide euthanasia for use with nursery piglets. Master thesis. Department of Animal Sciences and Industry, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Correa, J.A., Torrey, S., Devillers, N., Laforest, J.P., Gonyou, H.W., Faucitano, L. 2010. Effects of different moving devices at loading on stress response and meat quality in pigs. *Journal of Animal Science* 88. 4086-4093.
- Dalla Costa, O., Dalla Costa, F.A., Feddern, V., dos Santos Lopes, L., Coldebella, A., Gregory, G.G., Mello Monteiro de Lima, G.J. 2019. Risk factors associated with pre-slaughtering losses. *Meat Science*. 155. Pp61-68
- Dalmau, A., Rodríguez, P., Llonch, P., Velarde, A. 2010a. Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs. *Animal Welfare* 19. Pp 325-333

Dalmau, A., Llonch, P., Rodríguez, P., Ruíz-de-la-Torre, J.L., Manteca, X., Velarde, A. 2010b. Stunning pigs with different gas mixtures: gas stability. *Animal Welfare*. 19. Pp 315-323.

DEFRA, 2018.

<http://sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=19805> hämtad: 2020-11-04

Ehlorsson, C-J., Wallgren, P., Leijon, M. 2016. Utredning av orsaker till ökande förekomst av luftvägsinfektioner i slaktgrisuppfödningen. Gård och Djurhälsan <https://www.gardochdjurhalsan.se/wp-content/uploads/2020/03/utredning-av-orsaker-till-okande-forekomst-av-luftvagsinfektioner-i-slaktgrisuppfodningen-final-version-29-feb.pdf> hämtad: 2020-11-04

EUROGROUP. Eurogroup for animals. 2019. Stunning/killing of pigs with high concentrations of CO2 [Online]. Available: <https://www.eurogroupforanimals.org/wp-content/uploads/CO2-stunning-EfA-position-paper-2019.pdf>

European Commission EC. 2002. Health and consumer protection directorate-General. Report of the scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare, The welfare of pigs during transport (details for horses, pigs, sheep and cattle). Pages 95-101.

EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), Nielsen, SS., Alvarez, J, Bicout, DJ., Calistri, P., Depner, K., Drewe, JA., Garin-bastuji, B., Gonzales Rojas, JL., Gortázar Schmidt, C., Michel, V., Miranda Chueca, MÁ., Roberts, HC., Sihvonen, LH., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y., Velarde, A. 2020. Scientific opinion on the welfare of pigs at slaughter. *EFSA journal* 2020;18(6)6148. 113pp.

EFSA (European Food Safety Authority). 2019. Hazard identification for pigs at slaughter and during on-farm killing. EFSA Supporting publication 2019:EN-1684. 10 pp.

EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), 2013. Scientific Opinion on monitoring procedure at slaughterhouses for pigs. *EFSA Journal* 2013;11(12):3523, 62pp

EFSA. 2004. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main species of animals, *The EFSA journal* (2004), 45, 1-29.

Engle, T.E. and L.N. Edwards, 2010. Evaluation and application of humane hypoxia euthanasia for nursery pigs. Research report to the National Pork Board, Des Moines, Iowa, USA.

FAWC. (2009). Five Freedoms. <http://www.fawc.org.uk/freedoms.htm> hämtad: 2020-11-04

Fraser, D., Weary, D.M., Pajor, E.A., Milligan, B.N. 1997. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Animal Welfare* 6, 187-205.

Grandin, T. 2003. The welfare of pigs during transport and slaughter. *Pig News and information*, Vol 24, No. 3

Grandin, T. 2012. Developing measures to audit welfare of cattle and pigs at slaughter. *Animal Welfare*. 21, pp 351-356.

Gregory, N.G. 1994. Preslaughter handling, stunning and slaughter. *Meat Science* 36, pp 45-56.

Jongman, E. C., Barnett, J. L. & Hemsworth, P. H. 2000. The aversiveness of carbon dioxide stunning in pigs and a comparison of the CO₂ stunner crate vs. the V-restrainer. *Applied Animal Behaviour Science*, 67, 67-76."

Keeling, L., Rushen, J., Duncan, I.J.H. 2011. Understanding Animal Welfare. In: Appleby, M.C., Mench, J.A., Olsson, A.S. & Hughes, B.O. (eds.), *Animal Welfare* 3rd ed. Oxfordshire, CAB International, pp. 13-26.

- Kells, N., Beausoleil, N., Johnson, C., Sutherland, M. 2018. Evaluation of different gases and gas combinations for on-farm euthanasia of pre-weaned pigs. *Animals* 8 40
- Llonch, P., Dalmau, A., Rodríguez, Manteca, X., Velarde, A. 2012a. Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs. *Animal Welfare*. 21. Pp 33-39.
- Llonch, P. Rodríguez, Gispert, M., Dalmau, A., Manteca, X., Velarde, A. 2012b. Stunning pigs with nitrogen and carbon dioxide mixtures: effects on animal welfare and meat quality. *Animal*. 6:4, pp 668-675.
- Llonch, P., Rodríguez, P., Jospin, M., Dalmau, A., Manteca, X. & Velarde, A. 2013. Assessment of unconsciousness in pigs during exposure to nitrogen and carbon dioxide mixtures. *Animal*, 7(3), 492-498.
- Machtolf, M., Moje, M., Troeger, K., Bülte, M. 2013. Stunning slaughter pigs with helium compared to carbon dioxide. *Fleischwirtschaft-Frankfurt*, 93(10), 118-124.
- Machtolf, M., Moje, M., Troeger, K., Bülte, M. 2014. Stunning slaughter pigs using the inert gas helium. 60th International Congress of Meat Science and Technology, 17-22 August 2014, Punta Del Este, Uruguay.
- Mackie, N. & McKeegan, D. E. F. 2016. Behavioural responses of broiler chickens during low atmospheric pressure stunning. *Applied Animal Behaviour Science*, 174, 90-98.
- Manning, H.L., and Schwartzstein, R.M., 1995. Pathophysiology of Dyspnea. *New England Journal of Medicine*, 333 (23): 1547-1553.
- Mason, G., Mendl, M. 1993. Why is there no simple way of measuring animal welfare? *Animal welfare*, 2. Pp. 301-319.
- Mota-Rojas, D., Bolanos-Lopez, D., Concepcion-Mendez, M., Ramirez-Telles, J., Roldan-Santiago, P., Flores-Peinado, S., Mora-Medina, P. 2012. Stunning swine with CO₂ gas: Controversies related to animal welfare. *International journal of Pharmacology* 8(3) pp141-151.
- Nowak, B., Mueffling, T.V., Hartung, J. 2007. Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality. *Meat Science* 75. Pp 290-298.
- McKinstry, L.J., Anil, M.H. 2004. The effect of repeat application of electrical stunning on the welfare of pigs. *Meat Science*. 67. Pp 121-128
- Neice, A. E. & Zornow, M. H. 2016. Xenon anaesthesia for all, or only a select few? *Anaesthesia*, 71(11), 1259-1272.
- Pöhlmann, V. 2018. Untersuchung zur alternativen Betäubung von Schlachtschweinen mit einem hochexpansiven, Stickstoff-gefüllten Schaum unter Tierschutz-und Fleischqualitätsaspekten [Study on the stunning of slaughter pigs with a nitrogen-filled, high-expansion foam focusing on the aspects of animal welfare and meat quality]. PhD Thesis, Freie Universität, Berlin.
- Raj, A.B.M. 1999. Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications. *Veterinary record* 144, pp 165-168
- Raj, A.B.M., Gregory, N.G. 1995. Welfare implications of the gas stunning of pigs 1. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon. *Animal Welfare* 4. Pp. 273-280
- Raj, A.B.M., Gregory, N.G. 1996. Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia. *Animal Welfare* 5. Pp. 71-78.
- Raj, A.B.M., Johnson, S.P., Wotton, S.B., and McInstry, J.L., 1997a. Welfare implications of gas stunning of pigs 3. Time to loss of Somatosensory Evoked Potentials and Spontaneous Electroencephalogram of pigs during exposure to gases. *British Veterinary Journal*, 153: 329-340.

- Rault, J. L., McMunn, K. A., Marchant-Forde, J. N. & Lay, D. C. 2013. Gas alternatives to carbon dioxide for euthanasia: a piglet perspective. *Journal of animal science*, 91, 1874.
- Rushen, J. 1991. Problems associated with the interpretation of physiological data in the assessment of animal welfare. *Applied Animal behaviour Science* 28(4).pp 381-386
- Shaw, N.A., 2002. The neurophysiology of concussion. *Progress in Neurobiology*, 67: 281-344
- Steiner A, R., Flammer, S.A., Beausoleil, N.J., Berg, C., Bettschart-Wolfensberger, R., García Pinillos, R., Golledge, H.D.R., Marahrens, M., Meyer, R., Schnitzer, T., Toscano, M.J., Turner, P.V., Weary, D.M., Gent, T.C. 2019. Humanely ending the life of animals: research priorities to identify alternatives to carbon dioxide. *Animals*, 9, 911; doi:10.3390/ani9110911
- Støier, S., Dall Aaslyng, M.D., Olsen, E.V., Henckel, P. 2001. The effect of stress during Lairage and stunning on muscle metabolism and drip loss in Danish Pork. *Meat Science* 59. 123-131
- Velarde, A., Cruz, J., Gispert, M., Carrión, Ruiz de la Torre, J.L., Diestre, A., Manteca, X. 2007. Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype. *Animal Welfare*. 16. Pp 513-522-
- Verhoeven M, Gerritzen M, Velarde A, Hellebrekers H, and Kemp B. 2016. Time to loss of consciousness and its relation to behaviour in slaughter pigs during stunning with 80 or 95% carbon dioxide. *Frontiers in Veterinary Science* 3: 38.
- Vogel, K. D., Badtram, G., Claus, J. R., Grandin, T., Turpin, S., Weyker, R. E. & Voogd, E. 2011. Head-only followed by cardiac arrest electrical stunning is an effective alternative to head-only electrical stunning in pigs. *Journal of animal science*, 89, 1412.
- Wallenbeck, A., Sindhøj, E., Brattlund Hellgren, R., Berg, C., Lindahl, C. 2020. Improved pig welfare at slaughter - pigs' responses to air- or nitrogen foam. *International Society for Applied Ethology Nordic Region Winter Meeting*, 28-30 January, Tartu, Estonia.
- Warner, R.D., Ferguson, D.M., Cottrell, J.J., Knee, B.W. 2007. Acute stress induced by the preslaughter use of electric prodders causes tougher beef meat. *Aust. J. Exp. Agric.* 47, 782-788.
- Weary, D.M., Robbins, J.A. 2019. Understanding the multiple conceptions of animal welfare. *Animal Welfare*, 28(1), pp.33-40.
- Woodbury, DM., and Karler, R., 1960. The role of carbon dioxide in the nervous system. *Journal of American Society of Anaesthesiologists*, 21: 686-703.

Vid **Institutionen för husdjurens miljö och hälsa** finns tre publikationsserier:

- * **Avhandlingar:** Här publiceras masters- och licentiatavhandlingar
- * **Rapporter:** Här publiceras olika typer av vetenskapliga rapporter från institutionen.
- * **Studentarbeten:** Här publiceras olika typer av studentarbeten, bl.a. examensarbeten, vanligtvis omfattande 7,5-30 hp. Studentarbeten ingår som en obligatorisk del i olika program och syftar till att under handledning ge den studerande träning i att självständigt och på ett vetenskapligt sätt lösa en uppgift. Arbetenas innehåll, resultat och slutsatser bör således bedömas mot denna bakgrund.

Vill du veta mer om institutionens publikationer kan du hitta det här:
www.slu.se/husdjurmiljohalsa

DISTRIBUTION:

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för veterinärmedicin och
husdjursvetenskap
Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
Box 234
532 23 Skara
Tel 0511-67000
E-post: hmh@slu.se
Hemsida:
www.slu.se/husdjurmiljohalsa

*Swedish University of Agricultural Sciences
Faculty of Veterinary Medicine and Animal
Science
Department of Animal Environment and Health
P.O.B. 234
SE-532 23 Skara, Sweden
Phone: +46 (0)511 67000
E-mail: hmh@slu.se
Homepage:
www.slu.se/animalenvironmenthealth*
