



Redegørelse over el- og CO₂-bedøvelse samt metodernes fordele/ulemper ift. dyrevelfærd og kødkvalitet

SAF-projekt



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Redegørelse over el- og CO₂-bedøvelse samt metodernes fordele/ulemper ift. dyrevelfærd og kødkvalitet

SAF-projekt



Udarbejdet af:

Joanna Klaaborg
Teknologisk Institut
Gregersensvej 9
2630 Taastrup

September 2020



Sammendrag

De to mest anvendte bedøvelsesmetoder til grise i både Danmark og udlandet er el- og CO₂-bedøvelse. Begge metoder har deres fordele og ulemper. Navnlig håndteringen inden bedøvelse, som har stor indflydelse på dyrevelfærd og kødkvalitet, er meget forskellig for de to metoder. Forud for elbedøvelse isoleres og fastholdes grisene, og ved høje slagtehastigheder må de også drives ned ad en drivgang til en fælde. Det kræver mere kontakt mellem slagterimedarbejder og grise, og det kan øge risikoen for hårdhændet håndtering, herunder gentagen brug af drivbræt, drivstav eller elstøder, hvilket kan give stress hos grisene. Udviklingen inden for CO₂-bedøvelse har de sidste årtier ikke bare forbedret kødkvaliteten, men også dyrevelfærden, hvor det er blevet muligt at bedøve grise i grupper resulterende i en mere skånsom håndtering inden bedøvelse. Nogle grise reagerer dog på gassen i sekunderne inden bevidstløshed herunder med øget vejrtrækning, vokalisering og flugtreaktioner. Elbedøvelse derimod medfører øjeblikkeligt tab af bevidstheden, hvilket er en dyrevelfærdsmæssig fordel. Dog er der ved elbedøvelse større risiko for en ineffektiv bedøvelse sammenlignet med CO₂-bedøvelse, hvor risikoen er minimal. Omkostninger til investering og drift er også forskellige, når man sammenligner el- og CO₂-bedøvelse, hvor CO₂-bedøvelse er omtrent dobbelt så dyrt i anskaffelse og drift i forhold til et automatiseret elanlæg. Generelt giver CO₂-bedøvelse bedre arbejdsforhold for slagterimedarbejdere sammenlignet med elbedøvelse. En opsummering af fordelene/ulemperne ved el- og CO₂-bedøvelse ses i tabel 1.

Tabel 1. Fordele og ulemper ved el- og CO₂-bedøvelse.

Bedøvelsesform	Fordele	Ulemper
Elbedøvelse	Bevidstløshed indtræffer øjeblikkeligt, og et studie bekræfter, at dyr ikke oplever smerte under selve bedøvelsen (Leach et al., 1980).	Uafhængig af slagtehastighed må grise isoleres og fastholdes forud for påsætning af eltang. Ved høj slagtehastighed må grise også føres ned ad en drivgang til en fælde, hvilket kan stresser grisene.
	Manuel elbedøvelse kræver en lille investering i udstyr (20.000-40.000 DKK). Et automatiseret elanlæg (fx MIDAS) vil være dyrere, men stadig halvt så dyrt at installere og drifte sammenlignet med et CO ₂ -anlæg.	Mere kontakt mellem slagterimedarbejdere og grise, hvilket kan medføre stress hos grisene.
		Selvom strømstyrke og spænding er indstillet jævnfør anbefalingerne, så er der risiko for ineffektiv bedøvelse pga. manglende vedligeholdelse og rengøring af udstyret eller forkert placering af eltang.



Bedøvelsesform	Fordele	Ulemper
Elbedøvelse		Medfører et krav om kort tidsinterval mellem bedøvelse og stikning, hvilket nogle slagterier kan have svært ved at nå, medmindre de stikker på gulv.
		Høj risiko for PSE-kød, muskelblødninger, knoglefrakturer og sværskader.
		Slagtehastighed (antal grise slagtet/time) er begrænset (maks. 600 grise/time pr. udstyr).
		Mere kontakt mellem slagteri-medarbejdere og grise kan stressere medarbejdere og udgøre en risiko for arbejdsskader ifm. bedøvelsesudstyret og strømpåføring.
Gruppevis CO ₂ -bedøvelse	Grise håndteres gruppevis før og under bedøvelse, hvilket reducerer stress hos grisene.	Tab af bevidstløshed sker gradvist.
	Under fremdrivning til bedøvelsesanlægget og under bedøvelse er der minimal eller ingen menneskekontakt, hvilket reducerer stress hos grisene.	Nogle grise reagerer på CO ₂ med forhøjet respiration, vokalisering og flugtreaktioner.
	Forudsat, at CO ₂ -koncentration og eksponeringstid (dvs. sammenlagt tid i CO ₂ -anlæg) er i overensstemmelse med anbefalingerne, er der minimal risiko for ineffektiv bedøvelse.	Et CO ₂ -anlæg er ca. dobbelt så dyrt i installation og drift som et automatiseret elbedøvelsessystem (fx MIDAS).
	Muligt at regulere stikketid (dvs. tiden mellem bedøvelsen og stikningen) med længere eksponeringstid for CO ₂ .	
	Lav risiko for lav pH, PSE-kød, muskelblødninger, knoglefrakturer og sværskader.	
	Slagtehastighed (antal grise slagtet/time) er høj (op til 1200 grise/time).	



Baggrund

De to mest anvendte bedøvelsesmetoder til grise er el- og CO₂-bedøvelse, og begge metoder har deres fordele og ulemper. CO₂-bedøvelse er af mange anerkendt som den mest skånsomme bedøvelsesmetode med hensyn til dyrevelfærd og kødkvalitet, men studier har vist, at nogle grise reagerer på gassen i sekunderne inden tab af bevidstløshed, og derfor er bedøvelsesmetoden blevet udsat for kritik. European Food Safety Authority (EFSA) har udtalt, at CO₂-bedøvelse burde udfases, og Eurogroup for Animals opfordrer til et forbud mod brug af CO₂ i 2025.

Forskere og virksomheder arbejder lige nu på at udvikle nye bedøvelsesmetoder, som fx brug af alternative gasser som argon og nitrogen, low atmospheric pressure stunning (LAPS) og nitrogenskum, men indtil videre findes der ikke en bedøvelsesmetode, som er mindre stressfuld for dyrene end CO₂-bedøvelse, og som samtidig er rentabel og praktisk mulig. Derfor er det nærliggende at kigge på eksisterende bedøvelsesmetoder, så svagheder og styrker kan beskrives til optimering af eksisterende samt nye bedøvelsesmetoder.

Formål

At redegøre for el- og gruppevis CO₂-bedøvelse samt metodernes fordele og ulemper i forhold til dyrevelfærd og kødkvalitet.

Effektiv bedøvelse

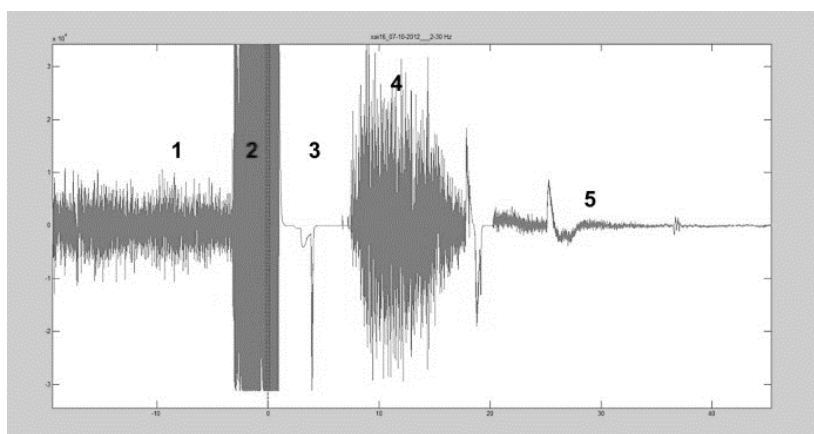
EU's lovgivning om beskyttelse af dyr på aflivningstidspunktet er baseret på, at hvirveldyr kan føle smerte samt opleve en negativ følelsesmæssig tilstand (stress). Da aflivning forårsager smerte og evt. stress, så inkluderer en effektiv bedøvelse, at dyr skal miste bevidstheden inden slagting og forblive bevidstløse, indtil hjernedød som følge af afblødning (Council regulation (EC) No 1099/2009). Begrebet bevidsthed består af to ting: vågenhed og bevidstheden om sine omgivelser og sin egen tilstand (Terlouw et al., 2016). Forekomst af bevidst(løs)hed kan måles via den elektriske aktivitet i hjernen vha. electroencephalogram (EEG), men da de praktiske foranstaltninger på slagteriet ikke tillader dette, så overvåges bedøvelsens effekt via test af reflekser i stedet. Udløsning af reflekser via stimuli involverer nemlig rygsøjlen og hjernestammen, og under bevidstløshed vil hjernestammen ikke være i stand til at processere information fra stimuli, og der vil således ikke udløses en refleks. Test af reflekser, typisk cornea, kan nemt udføres på CO₂-bedøvede grise, men det er sværere på elbedøvede grise, da deres kroppe vil være påvirket af ukontrollerede bevægelser som følge af strømmen. Derfor har EU krævet, at fra december 2019 skal alt elektrisk bedøvelsesudstyr vise og registrere de elektriske parametre (strømstyrke) for hvert dyr og ydermere give en advarsel, hvis bedøvelsen har været ineffektiv (Council regulation (EC) No 1099/2009), så der kan bedøves igen. Man kan også vurdere, om elbedøvelsen har været effektiv ved at observere det efterfølgende epileptiske anfald. Under strømpåføring skal kroppen kollapse, være stiv, og vejrtrækning skal ophøre (tonisk fase). Efter strømpåføring skal kroppen blive slap, og ukontrollerede bevægelser forårsaget af muskelkontraktioner skal begynde (klonisk fase).



Elbedøvelse

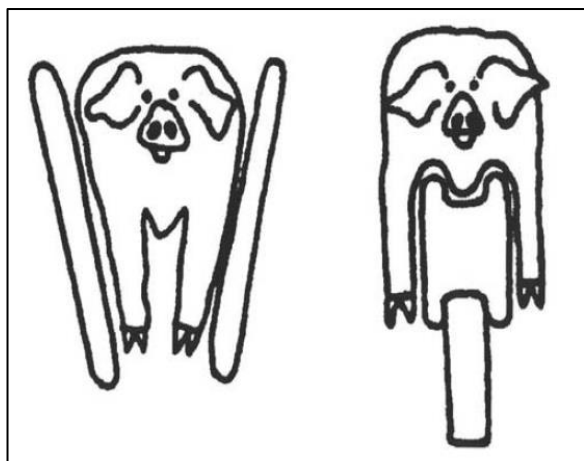
Mekanisme

For at inducere bevidstløshed under elbedøvelse placeres en eltang med to elektroder på hver side af grisens hoved, hvorefter strøm passerer gennem hovedet. Dette resulterer i et epileptisk anfald (van der Wal, 1978), som er associeret med et fald i pH i blodet, samt frigørelse af en række neurotransmittere, som medfører bevidstløshed (Cook et al., 1995). Målinger af EEG viser, at elbedøvelse medfører øjeblikkeligt tab af bevidsthed (Llonch et al., 2015, Figur 1) og et studie har vist, at det ikke er forbundet med smerte (Leach et al., 1980).



Figur 1. EEG-målinger af et lam under elbedøvelse. 1) Før bedøvelse (normal EEG), 2) Under strømpåføring, 3) Ændring i EEG som følge af strømpåføring, 4) Epileptisk aktivitet, 5) Hvilestrøm (Llonch et al. 2015).

Håndtering før bedøvelse



Figur 2. Til venstre en v-fælde og til højre en båndfælde (Faucitano, 2010).

Da elbedøvelse forudsætter påføring af eltang på grisens hoved, må grisen isoleres fra resten af gruppen, og – afhængig af slagteriets slagtehastighed – også fastholdes i en fælde, som kan give anledning til stress (Cortesi, 1994; Grandin, 2013). Påføring af eltang kan udføres ved, at en slagterimedarbejder nærmer sig den enkelte gris i en bedøvelsesfold, fortrinsvis bagfra. Eller en gruppe af grise kan ledes ned ad en drivgang og én efter én ind i en automatisk fælde (v-fælde eller bånd-fælde, Figur 2), som fastholder grisen. Sidstnævnte bruges for at sikre en høj slagtehastighed. Ved brug af en fælde og automatisk påføring af elektroder kan slagtehastigheden nemlig øges med op til 10 gange (fra 30-60 til 150-600 grise/time; EFSA, 2004). Grise kan dog tøve med at gå frem under drivning til en fælde, hvilket kan medføre, at grise stopper op, vender sig om eller hopper op på grisen foran. Dette gør håndtering af grisene mere vanskelig, og hårdhændede metoder, herunder gentagen brug af drivbræt, drivstav (rasler) eller elstøder, er sommetider nødvendig, hvilket kan medføre øget stress for grisene.



De elektriske parametre

Aktuelt bruges kun vekselstrøm til bedøvelse af svin, men studier på kyllinger viser, at jævnstrøm også kan inducere bevidstløshed, men det kræver en højere strømstyrke sammenlignet med vekselstrøm. Krav til de elektriske parametre ved brug af jævnstrøm til grise er ikke blevet undersøgt.

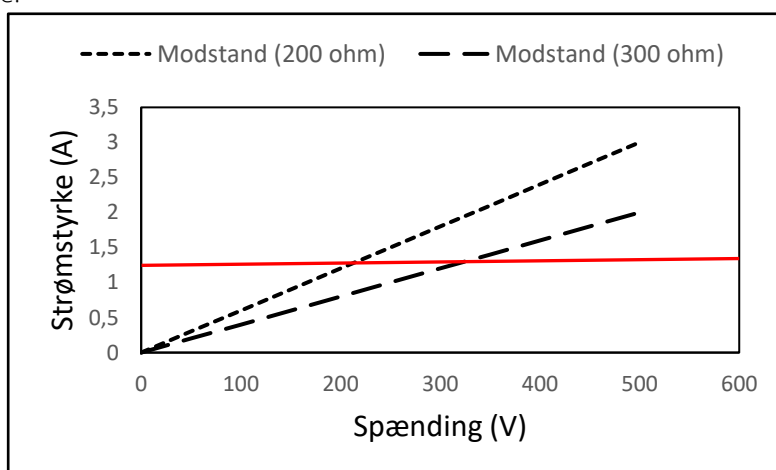
Det er mængden af strøm, defineret som strømstyrke og målt i ampere (A), som forårsager bevidstløshed. Jf. Ohms lov (strømstyrke = spænding/modstand), så påvirkes strømstyrke af to faktorer; spænding, målt i volt (V) og modstand, målt i ohm (Ω). Et lægmandsbillede af dette forhold kan beskrives som, at spænding er den kraft, som strømmen drives gennem grisens hoved med, og modstand er den modstand, som strømmen møder på sin vej gennem hovedet. Modstanden er blandt andet influeret af tykkelsen af grisens hud, fedtlag og kranie. EU kræver, at minimumstrømstyrken for grise er 1,3 A, dvs. at spændingen skal være høj nok til, at der opnås en påtrykt strømstyrke (den strømstyrke, der afsættes i hjernen på grisen) på mindst 1,3 A. Figur 3 illustrerer, hvordan spændingen må øges ved større modstand for at opnå samme strømstyrke.

Der er ingen konsensus blandt studier om, hvad kravet til strømstyrke og spænding bør være for at opnå en tilfredsstillende bedøvelse. Anbefalingen på 1,3 A er baseret på et studie af Hoenderken (1978), men andre studier viser, at en strømstyrke ned til 0,4 A også kan medføre bevidstløshed (Anil, 1991; Végh et al., 2010). EFSA har udtalt, at der er behov for at revurdere krav til strømstyrke pga. begrænset forskning på området.

EFSA anbefaler en min. spænding på 200 V. Dog viser studier, at en la-

vere spænding ned til 90 V kan inducere bevidstløshed (Anil og McKinstrey, 1992) samt at en høj spænding (>200 V) ikke er nogen garanti for en effektiv bedøvelse (Cook et al., 1995). Det, man kan udlede fra forsøg, er, at opfyldelse af kravet til strømstyrke ikke kan garanteres ud fra krav til spænding alene, fordi andre faktorer såsom frekvens og modstand også har indflydelse på strømstyrke og dermed bedøvelseseffekt.

Frekvensen er antal svingninger i sekundet og måles i hertz (Hz). Den mest optimale frekvens til elbedøvelse er 50-60 Hz (Croft, 1952), selvom studier har vist, at høje frekvenser (1600 Hz) også kan inducere bevidstløshed (Anil og McKinstrey, 1992; Lambooi et al., 1996). En meget høj frekvens (>1600 Hz) kan ikke inducere bevidstløshed og vil være smertefuld for grisen (van der Wal, 1978), fordi det øger ledningsevnen og dermed nedsætter den påtrykte strømstyrke, dvs. at mere af strømmen går i overfladen af grisens hoved og derfor ikke trænger ind til hjernen (Grandin, 1985; Sparrey og Wotton, 1997). Af den grund er det vigtigt at øge spændingen, hvis frekvensen øges for fx at opnå bedre kødkvalitet.



Figur 3. Effekt af modstand på spænding (V) og påtrykt strømstyrke (A).



Faktorer, der har betydning for modstand

Strømstyrke, spænding og frekvens er ofte forudindstillet af udstyrets producent jævnfør EFSA's anbefalinger. Hvis det korrekte udstyr bruges, men bedøvelsen alligevel har været ineffektiv, så er det typisk pga. øget modstand, fx som følge af forkert placering af eltang, beskidte eller stumpe elektroder, eller pga. for kort eksponeringstid (dvs. tiden, hvor grisen bliver udsat for strøm).

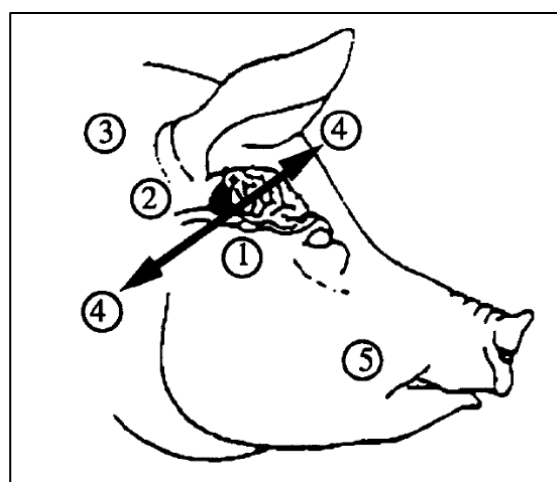
Placeringen af eltang påvirker den påtrykte strøm (Sparrey and Wotton, 1997), hvor en placering, hvor strømmen når hjernen ad den korteste rute, vil medføre en høj påtrykt strøm i hjernen. Anil og McKinstrey (1998) testede 5 forskellige placeringer og fandt, at alle placeringer på nær nr. 5 (kæben) medførte en effektiv bedøvelse (Figur 4). I aflivningsforordningen er der dog krav om, at strømmen skal gå gennem hjernen, hvilket betyder at placering 1 (mellem øjne og ører på hver sin side af hovedet) er den eneste acceptable placering (Council regulation (EC) No 1099/2009).

Beskidte eller stumpe elektroder øger modstanden og reducerer den påtrykte strøm. Derfor er det nødvendigt at sikre, at eltangens elektroder er spidse og rene, så de får god kontakt til grisens hoved. I den forbindelse er oplæring af personalet vigtigt – også fordi de skal kunne genkende, når bedøvelsen har været ineffektiv, så grisen kan bedøves igen, og fejlårsagen rettes.

Den tid, hvor grisen bliver udsat for strøm, eksponeringstiden, har også indflydelse på modstanden. Når strøm ledes gennem dyrets hoved, vil spændingen over tid reducere modstanden (Wotton og O'Callaghan, 2002) dvs. jo længere eksponeringstid, jo større påtrykt strømstyrke. Derfor er der risiko for, at den påtrykte strøm ikke er tilstrækkelig til at inducere og opretholde bevidstløshed, hvis eksponeringstiden ikke er lang nok. Et studie viser, at eksponeringstiden skal være minimum 1 sekund for at sikre en effektiv bedøvelse ved 1 A, 500 V og 50 Hz (Cook et al., 1995). Et sekund er også anbefalingen fra EFSA ved 1,3 A, min. 200 V og 50 Hz, men jo længere eksponeringstid, jo mere vil modstanden nedbrydes. Det anbefales af fagfolk, at eksponeringstid er længere, og størstedelen af udstyr til elbedøvelse er i dag installeret med en lås, som først afslutter strømpåføring efter 3-4 sekunder.

Stikning

Bevidstløshed er bevaret, indtil dyret regelmæssigt trækker vejret igen, hvilket sker 30-37 sekunder efter start strømpåføring (Anil, 1991; Vogel et al., 2011). Slagtedyret skal forblive bevidstløst indtil hjernedød, og da det i gennemsnit tager 18 sekunder for en gris at tabe hjernefunktion som følge af afblødning, anbefales det at stikke inden for 10-15 sekunder efter bedøvelse (Wotton and Gregory, 1986; Anil og McKinstrey, 1992; EFSA, 2004). Det kan være svært for nogle slagterier at nå dette, fx pga. en langsom opkædning, og i disse situationer må man stikke på gulv, hvilket ikke er optimalt pga. nedsat hygiejne.



Figur 4. Placering af eltang (Anil og McKinstrey, 1998).



Blandt andet for at opnå længere stikketid udfører nogle slagterier elbedøvelse med hjertestop, hvilket kan opnås via to metoder. Første metode indebærer, at elektroderne først afgiver strøm til hovedet og derefter placeres en anden gang på grisens brystkasse, så der afgives strøm til hjertet. Anden metode indebærer, at to elektroder placeres på hovedet/nakken og en tredje på ryggen, så strøm afgives til hoved og hjerte på samme tid. Begge metoder vil undgå genvinding af bevidsthed inden afblødning (Vogel et al., 2011) og er en fordel fra et dyrevelfærdsmæssigt synspunkt. Det medfører også en større arbejdssikkerhed, da slagtekroppen er mere afslappet efter hjertestop, hvorfor stikning vil være nemmere. Kun første metode bliver brugt i EU.

Gruppevis CO₂-bedøvelse

Mekanisme

CO₂ giver et fald i pH i både blod og cerebrospinal væske. Det medfører, at hjernens glukoseomsætning stopper, så hjernen ikke kan få energi. Ydermere medfører det en forstyrrelse i den neurale transmission, hvilket betyder, at hjernen bliver ude af stand til at opretholde normal funktion (van Nimmen et al., 1984; Martoft et al., 2002; Rosival, 2011). CO₂ medfører gradvis tab af bevidsthed, hvilket er en ulempe ud fra et dyrevelfærdsmæssigt synspunkt, da nogle grise indledningsvist reagerer på gassen (Dodman, 1977; Dalmau et al., 2010; Smith et al., 2018). Studier har vist, at CO₂ ikke medfører direkte aktivering af nociceptorer (nerveceller, som registrerer smerte) i luftvejenes slimhinder (Strøbech, 2008), og det formodes derfor, at det er forsuring i luftvejenes slimhinder, som aktiverer både nociceptorer og receptorer involveret i at processere smerte (Strøbech, 2008). Derudover vil kroppen reagere på en stigning i CO₂ ved at øge respirationsfrekvensen i et forsøg på at komme af med det overskydende CO₂ i blodet. Men i takt med at CO₂ stiger, så vil respiration blive besværet med en medfølgende følelse af åndenød. Dette er ikke sammenligneligt med normal ophobning af CO₂ i blodet, som det fx ses under øget aktivitet (Stark et al., 1981), fordi kroppens justering af CO₂, O₂ og pH under motion via respiration er så præcis som følge af tilpasning, at niveauerne ikke bliver påvirket (Feher, 2012).

Håndtering før bedøvelse

CO₂-bedøvelse foregår i store anlæg, hvor en lille gruppe af grise (<10 grise) nedsænkes i CO₂. En stor fordel ved CO₂-bedøvelse er netop, at det kan foregå i grupper. Grise er flokdyr, så det reducerer stress, når grise ikke skal isoleres fra de andre dyr i flokken (Cortesi, 1994). Ydermere vil håndtering af grise i flok under fremdrivning til anlægget være nemmere, fordi grise naturligt følger hinanden, hvilket medfører en mere skånsom håndtering. Fremdrivning til store CO₂-bedøvelsesanlæg er normalvis automatiseret, hvilket generelt minimerer kontakt mellem slagteripersonale og dyr, og hvilket også vil reducere stress (Cortesi, 1994). De senest udviklede CO₂-anlæg (Backloader, Butina) kan facilitere en slagteha- stighed fra 100 til 1090 grise/time, hvilket er flere grise end ved selv de største elbedøvelsesanlæg.



Reaktion på CO₂

Der er en generel enighed blandt forskere om, at CO₂ forårsager en reaktion hos nogle grise, men graden af reaktion er svær at definere. Et studie viste, at grise, der havde fastet i 24 timer, var modvillige til at gå ind i et rum med CO₂, selvom det indeholdt æbler (Raj og Gregory, 1995), og et andet studie viste en lignende kraftig reaktion fra grise, der hellere ville gå 72 timer uden vand fremfor at blive eksponeret for CO₂ (Cantieni, 1976). Modsat viste et studie, at grise bare stod stille under eksponering for CO₂ (Troeger og Woltersdorf, 1991), og i et andet studie var konklusionen, at et stød fra en elstøder udløste en større reaktion hos grise end CO₂ (Jongman et al., 2000). Disse forskellige resultater indikerer, at grise reagerer forskelligt på CO₂, hvor nogle udviser stor reaktion, mens andre kun lidt. Det skyldes muligvis, at reaktionen på CO₂ er knyttet til race (Grandin, 2013) og genetik, hvor grise, der bærer halothangenet, reagerer kraftigere (Velarde et al., 2007). Det kan også være forbundet med håndteringen af grisene inden bedøvelse, hvor stressede grise vil reagere kraftigere, men dette er ikke blevet undersøgt direkte (Terlouw et al., 2008).

Reaktionen på CO₂ afhænger af koncentration, og det er vist, at koncentrationen skal over 30% for at fremkalde en reaktion fra grise (Raj og Gregory, 1996). Samtidig er der enighed blandt studier om, at jo højere koncentration, jo større procentdel af grise reagerer, og jo større grad af reaktion (Raj og Gregory, 1996; Velarde et al., 2007; Verhoeven, 2016). EU kræver, at koncentrationen skal være min. 80% i bundposition, men EFSA anbefaler min. 80% i første position og min. 90% i bundposition (EFSA, 2004). Det er fordi, jo højere koncentration, jo kortere tid til bevidstløshed. Det er en dyrevelfærdsmæssig fordel, da stress associeres med at være indespærret og nedsænket i bedøvelsesanlægget (Dalmau et al., 2010). Der er dog ingen konsensus blandt studier om, hvornår bevidstløshed indtræder, når koncentrationen af CO₂ følger anbefalingen (>80%). Nogle studier indikerer, at det sker omkring 12-17 sekunder efter eksponering, andre studie indikerer, at det sker lidt senere ved 20-22 sekunder efter eksponering og sidst indikerer nyere studier, at det sker senere omkring 33-60 sekunder efter eksponering (Tabel 2). Forskellen i resultater kan sandsynligvis forklares af metoden, hvormed grise er blevet eksponeret for CO₂. En direkte eksponering for en høj koncentration af CO₂ vil medføre, at bevidstløshed indtræder tidligere sammenlignet med en gradvis eksponering (Verhoeven, 2016). I et kommercielt CO₂-bedøvelsesanlæg nedsænkes grise i CO₂ i en pit, og da CO₂ er tungere end luft, vil der være lavere koncentration i toppen af pitten ved indgangen end i bunden, og eksponering vil således være gradvis. Men selv i studier, hvor eksponeringsmetoden har været ens, vil der højst sandsynlig være forskel i tid til eksponering for maks. koncentration. Fx tog det 23 sek. før grise i Rodriguez et al. (2008) blev eksponeret for høj koncentration af CO₂, men kun 15 sek. i Velarde et al. (2007). Ydermere har omtalte studier målt bevidst(løs)hed forskelligt, via EEG og adfærd (tab af balance), hvor begge metoder har usikkerheder. Selv fortolkning af EEG-målinger, som menes at være den mest objektive metode til at måle bevidst(løs)hed (EFSA, 2004), kan give forskellige resultater på tværs af studier, fordi tab af bevidsthed er en gradvis proces, og derfor er det svært at definere, hvornår det præcist sker (Forslid, 1987). Derudover kan det være teknisk vanskeligt at måle EEG under bedøvelse i et kommercielt system, hvor grise kan bevæge sig frit, fordi dette kan forstyrre målingerne (Verhoeven, 2016). Nogle studier har stimuleret grise under eksponering af CO₂ vha. fx lyd, også defineret som auditory evoked potentials (AEP). Ved hjælp af EEG-målinger kan man relatere grisens reaktion på stimuli til dens grad af bevidst(løs)hed. Denne metode



bruges på mennesker og kan muligvis vurdere grad af bevidsthed under bedøvelse med mere præcision, men metoden har samme ulemper som ved EEG alene.

Tabel 2. Effekt af høj koncentration af CO₂ (85-95%) på tid til bevidstløshed.

Reference	CO ₂ -koncentration (%)	Tid til bevidstløshed (sek.)	Eksponeringsmetode	Målemetode
Forslid (1992)	95	12	Gris i bur nedsænket i kasse med CO ₂	EEG
Raj et al. (1997)	80-90	20-21	Gris i slynge indeni kasse med CO ₂	EEG
Raj (1999)	80-90	17	Gris i bur nedsænket i kasse med CO ₂	Tab af balance
Martoft et al. (2001)	90	12-14	Gris i slynge indeni kasse med CO ₂	EEG, Auditory evoked potential (AEP)
Velarde et al. (2007)	90	22	Gris nedsænket i kommercielt dip-lift system (Butina, Marel A/S)	Tab af balance
Rodriguez et al. (2008)	90	60	Gris i slynge nedsænket i kommercielt dip-lift system (Butina, Marel A/S)	EEG, Auditory evoked potential (AEP)
Llonch et al. (2013)	95	37	Gris nedsænket i kommercielt dip-lift system (Butina, Marel A/S)	EEG
Verhoeven (2016)	95	26-33	Grise (et par) nedsænket i kommercielt dip-lift system (Butina, Marel A/S)	Tab af balance, EEG

Muskeleksitation, også defineret som muskelkontraktioner, opstår i nogle grise (50-100%; Forslid, 1992; Dalmau et al., 2010; Verhoeven, 2016) under eksponering til gassen (Verhoeven, 2016), men der er uenighed blandt forskere, om det sker henholdsvis før eller efter tab af bevidsthed. EFSA har beskrevet det som, at hjernen ikke kan regulere forbindelsen mellem den retikulære formation og den cerebrale cortex, de områder i hjernen, der processerer henholdsvis vågenhed og sensorisk information, men man ved ikke, hvorfor det opstår og hvornår. Nogle studier indikerer, at muskeleksitation sker umiddelbart under eller efter bevidstløshed (Forslid, 1992; Martoft et al., 2002), mens andre studier indikerer, at det kan ske inden bevidstløshed (Velarde et al., 2007; Rodriguez et al., 2008; Dalmau et al., 2010; Verhoeven, 2016) og derfor kan være associeret med smerte (Dalmau et al., 2010). Grandin (2013) foreslår, at det også kan afhænge af race, hvor eksitation sker efter bevidstløshed i Yorkshire, men før i andre racer.



Eksponeeringstid og stikning

Sammenlignet med elbedøvelse kan CO₂-bedøvelse forlænge tiden, hvor grise er bevidstløse. Dermed kan perioden fra bedøvelse til stikning (stikketid) reguleres, hvilket reducerer risikoen for, at grise genfinder bevidstheden inden afluodning. Det er dog også nødvendigt med en længere stikketid, da flere grise bedøves samtidigt. Maksimal stikketid afhænger af CO₂-koncentration og eksponeeringstid (dvs. sammenlagt tid, hvor grisen er i CO₂-anlægget). Ifølge EFSA må cornearefleks være til stede kortvarigt hos <5 % af dyrene, forudsat at andre reflekser er fraværende. Nowak et al. (2007) fandt, at med 90% CO₂ i bundposition og med en eksponeeringstid på 100 sekunder og maks. stikketid på 40-50 sekunder viste 5,9% af grise cornearefleks, hvilket antyder en stikketid på maks. 40 sek. ved en eksponeeringstid på 100 sek. På baggrund af Holst (2001) har EFSA udarbejdet anbefalinger til stikketid forudsat en CO₂-koncentration på min. 70-80% i første position og 90% i bundposition herunder min. eksponeeringstid på 120 sekunder og maks. stikketid på 30 sekunder (Tabel 3). Herefter kan stikketid forlænges med 15 sekunder følgende en stigning i eksponeeringstid på 10 sekunder (EFSA, 2004). Marel (Butina) anbefaler dog en min. eksponeeringstid på 120 sek. Stikketid afhænger også af bedøvelsesanlæg og gruppestørrelse, og derfor er det vigtigt, at det enkelte slagteri undersøger reflekser efter bedøvelse/stikning og evt. regulerer stikketiden herefter. Til sidst har CO₂-bedøvelse den fordel, at arbejdssikkerheden forbundet med stikning er bedre sammenlignet med elbedøvelse, da slagtekroppen er helt afslappet efter CO₂-bedøvelse.

Tabel 3. Stikketid afhængig af eksponeeringstid (dvs. sammenlagt tid, hvor grisen er i CO₂-anlægget) forudsat min. koncentration på 70-80% CO₂ i første position og min. 90% CO₂ i bundposition (EFSA, 2004)

Eksponeeringstid	Stikketid
100	30
110	45
120	50
130	65
140	80

Kødkvalitet

Både el- og CO₂-bedøvelse medfører muskelkontraktioner og frigørelse af katekolaminer, som inducerer muskelglykolyse; processen, der nedbryder glukose til laktat. Derfor er det navnlig niveauet af glukose i musklerne, som bestemmer pH-udviklingen og ultimativ pH (pH efter udligning). Men elbedøvelse medfører flere muskelkontraktioner end CO₂-bedøvelse, fordi strømpåføringen gør, at alle muskler stimuleres og trækker sig sammen samtidig, hvilket vil give en stigning i det intramuskulære tryk og blodtrykket (Becerill-Herrera et al., 2009). Af den grund viser studier, at elbedøvelse medfører flere muskelblødnin-ger sammenlignet med CO₂ (Lambooj, 1994; Velarde et al., 2000). Derudover kan elbedøvelse som følge



af voldsomme muskelkontraktioner også medføre knoglefrakturer og sværskader, som næsten ikke ses i forbindelse med CO₂ (Larsen, 1983; Channon et al., 2003; Marcon et al., 2019).

Strømpåføring med en højere frekvens (>60 Hz) har vist at give færre skader på rygsøjlen (Marcon et al., 2019), og en lavere strømspænding (29 V) har vist at medføre færre muskelblødninger (Lambooij, 1994). Det skyldes en lavere påtrykt strøm, og der kan således være en konflikt mellem dyrevelfærd og kødkvalitet. En ineffektiv bedøvelse første gang, hvor der skal gives strøm igen, medfører flere muskelkontraktioner (van der Wal, 1978). Derfor er en effektiv bedøvelse første gang vigtig for dyrevelfærd og kødkvalitet. Ligeledes kan elbedøvelse med hjertestop have en positiv effekt på kødkvalitet, da muskelkontraktionerne vil stoppe tidligere, og slagtekroppen vil være mere afslappet, så korrekt stikning vil være nemmere (Grandin, 1985). Derudover viser et studie, at elbedøvelse med hjertestop generelt ikke har en negativ effekt på pH, dryptab og kødfarve sammenlignet med elbedøvelse, hvor der kun påføres strøm til hoved (Vogel et al., 2011). Det anbefales at påføre eltang første gang på hovedet for derefter at påføre eltang på siden/brystet fremfor at bruge en eltang med tre elektroder placeret over nakke/ryg, fordi nakken ikke er en optimal placering af eltang dyrevelfærdsmæssigt, da 1) strømmen ikke når ind til hjernen ad den korteste rute, og der derfor kræves højere spænding for at opnå en påtrykt strøm >1,3 A (Vogel et al., 2011) og 2) det medfører færre muskelkontraktioner og bedre kødkvalitet (Wotton et al., 1992).

Som tidligere nævnt medfører gruppevis CO₂-bedøvelse en mere skånsom håndtering af grisene inden bedøvelse, hvilket reducerer stress. Dette har også en positiv effekt på kødkvalitet herunder udvikling af pH (Warris et al., 1994; Støier et al., 2001). Af denne grund viser studier, at sammenlignet med elbedøvelse forårsager CO₂-bedøvelse lavere forekomst af PSE-kød (Larsen, 1983; Velarde et al., 2000; Channon et al., 2003). Sandsynligvis pga. stress associeret med eksponering for gassen i længere tid, viser studier, at 60-80% CO₂ medfører en lavere pH, som er under det optimale pH-niveau (<5.6) i kød end 80-90% CO₂, hvilket kan have en negativ effekt på fx dryptab og farve (Troeger og Woltersdorf, 1991; Nowak et al., 2007).

Referenceliste

- Anil AM, McKinstry JL. 1992. The effectiveness of high frequency electrical stunning in pigs. *Meat Science* 31, 481-91.
- Anil MH. 1991. Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. *Meat Science* 30, 13-21.
- Anil MH, McKinstry JJ. 1998. Variation of electrical tong placements and relative consequences in slaughter pigs. *Veterinary Journal* 155, 85-90.
- 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, 233-237.
- Cantieni J. 1976. Ein Beitrag zur carbon dioxide-Betäubung von Schlachtschweinen. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 119, 255-275.



- Channon HA, Payne AM, Warner RD. 2003. Effect of stun duration on current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. *Meat Science* 65, 1325-1333.
- Cook CJ, Devine CE, Gilbert KV, Smith DD, Maasland SA. 1995. The effect of electrical head-only stun duration on electroencephalographic-measured seizure and brain amino acid neurotransmitter release. *Meat Science* 40, 137-147.
- Cortesi ML. 1994. Slaughterhouses and humane treatment. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* 13, 171-193.
- Council regulation (EC) No 1099/2009 on the protection of animals at the time of killing. *Official Journal of the European Union* L303/1-30. 2009.
- Croft PG. 1952. The effect of electrical stimulation of the brain on the perception of pain. *Journal of mental science* 98, 421-426.
- Dalmau A, Rodríguez P, Llonch P, Velarde A. 2010. Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs. *Animal Welfare* 19, 325-33.
- Dodman NH. 1977. Observations on the use of the Wernburg dip-lift carbon dioxide apparatus for pre-slaughter anaesthesia of pigs. *British Veterinary Journal* 133, 71-80.
- EFSA. 2004. Welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. Report EFSA-Q-2003-093 AHAW/04-0272004. p. 1-241. Available online: URL <<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2004.45> >
- Feher JJ. 2012. *Quantitative human physiology: An introduction*. Second edition. Department of Physiology and Biophysics, Virginia Commonwealth University School of Medicine. Elsevier Science Publishing Co Inc. London, United Kingdom.
- Forslid A. 1987. Transient neocortical, hippocampal and amygdaloid EEG silence induced by one minute inhalation of high concentration CO₂ in swine. *Acta Physiologica Scandinavia* 130, 1-10.
- Forslid A. 1992. Muscle spasms during pre-slaughter CO₂-anaesthesia in pigs. *Fleischwirtschaft* 72, 2.
- Grandin T. 1985. Cardiac arrest stunning of livestock and poultry. In M.W. Fox & L.D. Mickley (Eds.), *Advances in animal welfare science 1985/86* (pp. 1-30). Washington, DC: The Humane Society of the United States.
- Grandin T. 2013. Making slaughterhouses more humane for cattle, pigs and sheep. *The annual review of animal biosciences* 1, 491-512.
- Hoenderken R. 1978. *Electrical stunning of slaughter pigs*. Doctoral Dissertation, University of Utrecht, The Netherlands.
- Holst, S. 2001. CO₂ stunning of pigs for slaughter - Practical guidelines for good animal welfare. 47th International Congress of Meat Science and Technology, Proceedings. Poland.
- Jongman EC, Barnett JL, Hemsworth PH. 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.
- Lambooij E. 1994. Electrical stunning by direct brain stimulation in pigs *Meat Science* 38, 433-441.



- Lambooj B, Merkus BSM, van Voorst N, Pieterse C. 1996. Effect of a low voltage with a high frequency electrical stunning on unconsciousness in slaughter pigs. *Fleischwirtschaft* 76.
- Larsen HK. 1983. Comparison of 300 volt manual stunning, 700 volt automatic stunning, and CO₂ compact stunning with respect to quality parameters, blood splashing, fractures and meat quality. In Eikelenboom G. *Stunning of animals for slaughter* (pp. 73-81). The Hague, The Netherlands. Martinus Nijhoff Publishers.
- Leach TM, Warrington R, Wotton SB. 1980. Use of conditioned stimulus to study whether the initiation of electrical pre-slaughter stunning is painful. *Meat Science* 4, 203-208.
- 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, 492-498.
- Marcon AV, Caldara FR, de Oliveira GF, Goncalves LMP, Garcia RG, Paz ICLA, Crone C, Marcon A. 2019. Pork quality after electrical or carbon dioxide stunning at slaughter. *Meat Science* 156, 93-97.
- Martoft L, Jensen EW, Rodriguez, BE, Jørgensen PF, Forslid A, Pedersen HD. 2001. Middle-latency auditory evoked potentials during induction of thiopentone anaesthesia in pigs. *Laboratory Animals* 35, 353-363.
- Martoft L, Lomholt L, Kolthoff C, Rodriguez BE, Jensen EW, Jørgensen PF, Pedersen HD, Forslid A. 2002. Effects of CO₂ anaesthesia on central nervous system activity in swine. *Laboratory animals* 36, 115-126.
- Nowak B, Mueffling T, 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, 290-8.
- Raj A and Gregory N. 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, 273-80.
- Raj A and Gregory N. 1996. Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia. *Animal welfare* 5, 71-78.
- Raj ABM, Johnson SP, Wotton SB, MCINSTRY JL. 1997. Welfare implications of gas stunning pigs: 3. the time to loss of somatosensory evoked potentials and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases. *The Veterinary Journal* 153, 329-340.
- Raj ABM. 1999. Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: Welfare implications. *Veterinary Record* 144, 165-168.
- Rodriguez P, Dalmau A, Ruiz-De-La-Torre J, Manteca X, Jensen E, Rodriguez B. 2008. Assessment of unconsciousness during carbon dioxide stunning in pigs. *Animal Welfare* 17, 341-9.
- Rosival, V. 2011. Dangers of very low blood pH. *Indian Journal of Critical Care Medicine* 15, 194.
- Smith RK, Rault J, Gates RS, Lay DC. 2018. A Two-Step Process of Nitrous Oxide before Carbon Dioxide for Humanely Euthanizing Piglets: On-Farm Trials. *Animals* 8, 52.
- Sparrey JM, Wotton SB. 1997. The design of pig stunning tong electrode – a review. *Meat Science* 47, 125-133.
- Stark RD, Gambles SA, Lewis JA. 1981. Methods to assess breathlessness in healthy subjects: a critical evaluation and application to analyse the acute effects of diazepam and promethazine on



breathlessness induced by exercise or by exposure to raised levels of carbon dioxide. *Clinical Science* 61, 429-439.

- Strøbech L. 2008. Trigeminal activity during CO₂ inhalation: Potential implications for stunning. Ph.D. Thesis. University of Copenhagen, 1870-Frederiksberg, Denmark.
- Støier S, Aaslyng MD, Olsen EV, Henckel P. 2001. The effect of stress during lairage and stunning on muscle metabolism and drip loss in Danish pork. *Meat Science* 59, 127-131.
- Terlouw EMC, Arnould C, Auperin B, Berri C, Le Bihan-Duval E, Deiss V, Lefèvre F, Lensink BJ, Mounier L. 2008. Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal* 2, 1501-1517.
- Terlouw C, Bourguet C, Deiss V. 2016. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Science* 118, 133-146.
- Troeger K and Woltersdorf W 1991 Gas anaesthesia of slaughter pigs: 1. Stunning experiments under laboratory conditions with fat pigs of known halothane reaction type: meat quality, animal protection. *Fleischwirtschaft* 71, 1063-1068.
- van der Wal PG. 1978. Chemical and physiological aspects of pig stunning in relation to meat quality – a review. *Meat Science* 2.
- van Nimmen D, Weyne, J, Demeester G, Leusen I. 1984. Local cerebral glucose utilization in systemic acidosis. *American Journal of Physiology* 247, 639-645.
- Végh Á, Abonyi-Tóth Z, Rafai P. 2010. Verification of the technical parameters of head-only electrical stunning of pigs under commercial conditions. *Acta Veterinaria Hungarica* 58, 147-58.
- Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Manteca X, Diestre A. The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Science* 55, 309-314.
- Velarde A, Cruz J, Gispert M, Carrión D, Ruiz de la Torre JL, Diestre A. 2007. Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype. *Animal Welfare* 16, 513-22.
- Verhoeven M. 2016. Assessing unconsciousness in livestock at slaughter. Ph.D. Thesis. Wageningen University. Wageningen, the Netherlands.
- Vogel KD, Badtram G, Claus JR, Grandin T, Turpin S, et al. 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, 1412-18.
- Warris PD, Brown SN, Adams SJM. 1994. Relationships between subjective and objective assessments of stress at slaughter and meat quality in pigs. *Meat Science* 38, 329-340.
- Wotton SB and Gregory NG. 1986. Pig slaughtering procedures: time to loss of brain responsiveness after exsanguination or cardiac arrest. *Research in Veterinary Science* 40, 148-151.
- Wotton SB, Anil MH, Whittington PE, McKinstry JL. 1992. Pig slaughtering procedures: head-to-back stunning. *Meat Science* 32, 245-255.
- Wotton SB and O'Callaghan MO. 2002. Electrical stunning of pigs: the effect of applied voltage on impedance to current flow and the operation of a fail-safe device. *Meat Science* 60, 203-208.



TEKNOLOGISK
INSTITUT



TEKNOLOGISK
INSTITUT