

## **Analys och optimering av djurtransporter: logistik och djurskydd.**

Professor Uno Wennergren

Linköpings Universitet

Djurtransporter sker idag som en naturlig del av modern djurhållning och innefattar transporter mellan gårdar och från gårdar till slakterier. Den här rapporten utgår från studier på transporter för grisar och nötkreatur. Studierna är i första hand utförda på transporter till slakterier men viss analys har även gjorts på transporter mellan gårdar. Studierna har resulterat i totalt 14 publikationer innefattande artiklar, manuskript, och konferensbidrag. Drygt hälften av dessa är resultat av samarbete med projekt som fokuserat på smittspridning i samband med djurtransporter där alltså metodik och till del övergripande fråga som djurvälstånd är gemensam. Alla 14 publikationer redovisas separat som bilagor där specifika detaljer och utförliga beskrivningar av olika metoder beskrivs. I huvudtexten som följer redovisas de viktigaste resultaten samt en del om metodik och övergripande slutsatser.

### **Inledning**

Modern djurhållning påverkar djurskydd och djurens välfärd på många olika sätt. En viktig del är djurtransporter. Modern djurhållning kan idag innebära att djuren flyttas mellan olika gårdar mellan olika produktionsfaser och praktiskt taget alla djur som föds upp i livsmedelssyfte i Sverige för närvarande upplever minst en transport under sin livstid - den då de forslas till slakt. Välfärden hos djur som transporteras påverkas negativt genom en uppsjö av olika faktorer associerade med både psykisk och fysiologisk stress (Grandin 1997, Swanson 2001), och ju längre en transport pågår desto längre utsätts djuren för denna välfärdsförsämring. Det finns idag en begränsning på åtta timmars transporttid för djur om inte det närmaste slakteriet ligger för långt bort då man tillåts transportera djur i elva timmar (SJVFS 2010:2 kap. 5, § 13). Antalet stopp, eller samlastningar, som genomförs under en rutt är också av intresse från ett välfärds perspektiv eftersom djuren konfronteras med nya, okända individer vilket har visats leda till ökade stressnivåer samt antagonistiska beteenden (Raussi and Satu 2005). Samlastningar medför även en förhöjd risk för spridning av sjukdomar mellan gårdarna som besöks, både genom att fordonen i sig kan vara kontaminerade (Wray 1991), men även på grund av att transportpersonal kan fungera som sjukdomsvektorer (Nöremark 2010). Utöver själva transporttiden tillkommer vid slakt ofta kö- och uppställningstid med övernattnings, något som också utgör en påfrestning för djuren.

Denna studie fokuserar på några av de komponenter som ingår i det relativt stora system som bildar basen för hur djur transporteras inom Sverige. Systemet innefattar olika enheter och delar av näringen såsom de inom jordbruket som bedriver djurhållning, de som utför transporter samt slakterier. Tillsammans bildar alla dessa ett gemensamt system som resulterar i djurtransporter i Sverige. Vi har inriktat oss på hur transporterna fördelas till olika slakterier över landet. Det kan ses som en analys som fokuserar på det geografiska, dvs. var enheter är placerade och deras kapaciteter och frågan är då om

systemet utnyttjas på ett effektivt sätt eller ej, där effektivitet i detta fall i första hand mäts relativt transporttid och sträcka per djur. Den andra komponenten är på en mer detaljerad nivå och då är fokus på själva rutterna som sker då djur transporteras, dvs. i vilken ordning och vilka gårdar som besöks under en transportrutt. Avslutningsvis studeras transporterarnas organisation över en kortare tidshorisont vilken bestämmer hur länge djur köar inför slakt och om vilka behov det finns av uppstallning över natt vid slakterier.

Djurtransporter är idag en tydlig del av djurhållningen i Sverige. Här motsvarar ett års transporter av nötkreatur och grisar omkring 600 miljoner km som djur transporteras inom Sverige (Håkansson 2012). Merparten, 450 miljoner km, av dessa transporter är till slakterier. Omräknat till antal lastbilskilometer så motsvarar ett års transporter mer än 30 miljoner km (Håkansson 2012). Dessa uppskattningar är gjorda med metoder utvecklade inom projektet och uppskattningarna avser undre gränser för vad kan anses rimligt och verkligheten är alltså sannolikt tydligt över dessa värden. Det finns påtagliga vinster, både vad gäller djurvälstånd och klimatmål som minskade koldioxidutsläpp, som är möjliga att uppnå med en strukturering och organisering av Sveriges djurtransporter. Den här rapporten redovisar hur dagens transporter är utförda och strukturerade och visar sedan på ett antal olika strategier och metoder som klart resulterar i minskade transportsträckor och därmed möjligheter att uppnå önskade mål. Viktigt att notera är att den här rapporten bygger på analyser som har gjorts för hela systemet vilket innebär att de vinster som vi påvisar är möjliga att uppnå normalt inte kan uppnås från enskilda aktörer utan att det är först i och med denna större analys som möjligheterna blir synliga och klarlagda.

### **Tre övergripande frågeställningar har studerats inom projektet enligt följande:**

- På vad sätt kan de djurtransporter som sker i Sverige ändras så att den tid och sträcka som djur transporteras kan minskas?
- På vad sätt kan de djurtransporter som sker i Sverige ändras så att antal stopp och pålastningar under en rutt minskas?
- På vad sätt kan de djurtransporter som sker i Sverige ändras så att den tid som djur står i kö, eller står uppstallade över natt, på slakterier kan minskas?

### **Verksamhet som bedrivits inom projektet**

Genom att sätta samman en projektgrupp med kompetenser som sträcker sig från superdatorer, matematiska analyser till djurs välfärd och praktiskt djurskydd har vi analyserat, kvantifierat och skapat beslutsstöd för att minimera djurskyddsproblem i samband med djurtransporter. Genom att använda matematiska modeller, simuleringar i datorer och optimeringsverktyg kan vi redovisa hur olika lösningar på logistiken påverkar djurens hälsa i samband med transport. I projektet har vi kombinerat modern transportforskning med modernt djurskydd och modern forskning om djurens hälsa och miljö. Övergripande mål är att visa på vilket sätt man kan optimera djurskyddet givet olika ekonomiska villkor i produktionsledet. För att uppnå detta krävs att vi använder en del kända tekniker inom optimeringslära och matematiska analysverktyg samt tar till vara aktuella kunskaper om djurens välfärd i samband med transporter.

## Projektgruppens sammansättning

Projektgruppen består av personer med kompetens inom

- (i) Djurvälstånd-djurs hälsa; Professor B Algers, Husdjurens miljö och hälsa, SLU, Skara,
- (ii) Optimering och logistik/transporter inom skogsindustrin; Professor M Rönquist, NIH Bergen och Patrik Flisberg Skogforsk, Mathias Henningsson IEIE , Produktionsekonomi, Linköpings universitet
- (iii) Modeller och analyser av biologiska system och smittspridning; Professor U Wennergren, N Håkansson, och S Sellman Teori och Modellering. Linköpings Universitet. Universitetslektor A Jonsson, Högskolan i Skövde.

Projektet har samverkat med två projekt som hanterar smittspridning mellan djurbesättningar. Båda dessa projekt är finansierade av Krisberedskapsmyndigheten, idag Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. Det ena av dessa projekt har letts av Professor U Wennergren som projektledare och det andra av Docent S Sternberg Lewerin vid SVA/SLU.

## Sammanställning av de publikationer, manuskript och konferensbidrag som utgör resultat för projektet.

- \*) markerar ett arbete som enbart är finansierat via projektet
- \*\*) markerar ett arbete som till största delen finansierats via projektet
- \*\*\*) markerar ett arbete som till del finansierats via projektet

## Publicerade resultat

- Håkansson, N., Jonsson, A., Lennartsson, J., Lindström, T. & Wennergren, U. 2010 Generating structure specific networks. *Advances in Complex Systems (ACS)* 13(02), pp 239–250. \*
- Håkansson, N., 2012. Network analysis and optimization of animal transports. Doktorsavhandling. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertation No. 1434 Department of Physics, Chemistry and Biology, Theoretical Biology. Linköping University. Linköping, April 2012. (In press) \*\*
- Lindström T, Sisson SA, Nöremark M, Jonsson A, Wennergren, U. 2009. Estimation of distance related probability of contact between farms through animal transports and implications for disease spread. *Preventive Veterinary Medicine*, 2009, 91(2-4), 85-94.\*\*\*
- Lindström T, Scott A Sisson, Susanna Stenberg Lewerin and Uno Wennergren. 2010. Estimating animal movement contacts between holdings of different production types, *Preventive Veterinary Medicine* 95(1-2), 23-31. \*\*\*
- Lindström T, Scott A. Sisson, Susanna Stenberg Lewerin and Uno Wennergren. 2011. Bayesian analysis of animal movements related to factors at herd and between herd levels: Implications for disease spread modeling. *Preventive Veterinary Medicine*, 98(4), 230-242. \*\*\*
- Nöremark, M., Håkansson, N., Lindström, T., Wennergren, U. & Sternberg Lewerin, S., 2009 Spatial and temporal investigations of reported movements, births and deaths of cattle and pigs in Sweden. *Acta Veterinaria Scandinavica* 51(37). \*\*
- Nöremark, M., Håkansson, N., Sternberg Lewerin, S., Lindberg, A. & Jonsson, A., 2011 Network analysis of cattle and pig movements in Sweden: Measures relevant for disease control and risk based surveillance. *Preventive Veterinary Medicine* 99, pp 78 – 90. \*\*\*

### *Manuskript (en del är inskickade till vetenskaplig tidskrift)*

- Håkansson, N., Flisberg, P., Algers, B., Rönnqvist, M. & Wennergren, U. 2012. A strategic analysis of slaughterhouses and animal transportation in Sweden. (manuskript). \*
- Lennartsson, J., Håkansson, N., Wennergren, U. & Jonsson, A. 2012 a. SpecNet: a spatial network algorithm that generates a wide range of specific structures. (inskickat manuskript).\*\*
- Lennartsson, J., Jonsson, A., Håkansson, N., and Wennergren U. 2012 b. Is a Sampled Network a Good Enough Descriptor? Missing Links and Appropriate Choice of Representation. (inskickat manuskript)\*\*\*
- Sellman S., Flisberg P., Henningsson M., Håkansson N., Jonsson A., Rönnqvist M., Wennergren U. 2012 a. Ruttoptimering av nötdjurstransporter till svenska slakterier som verktyg för förbättrad djurvälstånd och lägre kostnader. (manuskript) \*
- Sellman S., Flisberg P., Henningsson M., Jonsson A., Rönnqvist M., Wennergren U. 2012b. Införande av ruttplanering och slottider: ett medel att påverka kötider och uppställning vid slakterier (manuskript) \*

### *Konferenser/Workshops*

- Håkansson, N., Henningsson, M., Rönnqvist, M. & Wennergren U., June 2007. Route planning reduces the costs of animal transportation: Animal welfare versus economics. pp. 1044–1048. Tartu, Estonia: XIII Int. Congr. Animal hygiene. \*
- Algers, B. 2012. Transport logistics and animal welfare. Proceedings Nordic ISAE, Skara 16-18 January. Dept of Anim. Env. and Health, SLU. \*

### **Allmän metodbeskrivning.**

Metoderna som vi använt och utvecklat är omfattande och relativt tekniska. Vi redovisar här metoderna i allmän och övergripande form och för detaljerad beskrivning av metoderna hänvisar vi till bifogade publikationer, se lista under Resultat.

### **Bearbetning av databas**

Data över djurtransporter (nöt och gris) mellan 2006 och 2008 har analyserats. Dessa data erhöles från Jordbruksverket. Information är utformad så att det ska finnas data både på ivägskickande och mottagande av det individuella djuret. Då data ibland innehöll fel och misstag, t ex att inte både sändande och mottagande data fanns behövde vi korrigera eller ibland utesluta viss data. Vi använde oss också av geografisk data (koordinater och postnummer) från Jordbruksverket och Livsmedelsverket över gårdarnas respektive slakteriernas placering i landskapet. Här fanns även information om produktionstyp. För att beräkna vägsträckor mellan gårdar och slakterier har vi använt oss av Skogliga nationella vägdatabasen (SNVDB) och systemet Krönt Vägval.

### **Analys av data, beskrivande statistik**

Livdjursförflyttningar mellan juni 2005 och Juli 2006 analyserades med avseende på besättningarnas geografiska fördelning i landskapet, säsongsmässiga variationer i förflyttningar, försäljning till och från gårdar, förflyttningarnas avstånd samt förflyttningar mellan län och regioner (Nöremark et al 2009). Data erhöles från Jordbruksverket. Analys och bearbetning av data skedde med hjälp av programmeringsprogrammen Perl och Matlab. Kartor generades i ArcGIS.

## Analys av avståndsberoende med MCMC och Bayesiansk statistik

Vi representerar avståndsberoendet för transporter med en funktion. Funktionen karakteriseras med två mått; dels en skalfaktor, som talar om ifall transporten generellt sker över långa avstånd eller begränsat till kortare distanser, och dels en för funktionens form, som avgör ifall det är stora skillnader i transportavstånden. Att matematisk kunna särskilja dessa aspekter gör att man kan studera när och hur dessa karaktärer är viktiga att ta hänsyn till när man studerar effekter av transporter. Vi har visat formen är viktig att ta hänsyn till när transporter sker mellan gårdar som är aggregerade i landskapet. Det är alltså viktigt att utvärdera karaktärer på landskapet som transportererna sker i. De statistiska metoder vi utvecklat för att bestämma funktionen utifrån det svenska datat på djurtransporter utgår från Bayesiansk statistik och algoritmer som är uppbyggda kring MCMC (Markov Chain Monte Carlo) metoder. Vi har utvecklat dessa analyser så att det är möjligt att bestämma olika funktioner för olika produktionstyper. Vi kan alltså särskilja avståndsberoendet för gårdar som har olika typer av produktion, t ex gårdar med mjölkbesättningar har en typ av transporter som skiljer sig från gårdar med i första hand köttproduktion.

## Nätverksanalyser

En del av analysen av djurtransporter är att beskriva den geografiska placeringen av gårdar och slakterier samt deras relationer, dvs i detta fall sannolikhet för transporter mellan enheterna. Ett verktyg som brukar användas i den typen av system är nätverksanalys. Vi har utvecklat en algoritm som genererar olika typer av nätverk (Håkansson et al 2010, Lennartsson et al 2012 a.) för att på så sätt kunna jämföra olika län och även olika scenarior inför framtiden. För att kunna bestämma och bedöma framtida scenarior krävs alltså ett verktyg, en algoritm, som skapar ett framtida nätverk. Nätverksanalyser kan ge mått på olika karaktärer som ett transportsystem uppvisar. Det transportsystem som idag finns i Sverige för transporter mellan gårdar och slakterier kan alltså beskrivas med sådana mått (Nöremark et al 2011) och med nya algoritmer kan vi även skapa alternativa transportsystem med andra nätverksmått och andra egenskaper som påverkar studiens fokus, dvs. transporttid och sträcka för djur i samband med djurtransporter. Den här metodiken är ett viktigt redskap för tester och jämförelser av olika regioner i Sverige och för tester av alternativa scenarior och trender inom näringen. För mer detaljer se Nöremark et al 2011, Frössling et al 2012, Håkansson et al 2010 och Lennartsson et al 2012 a.

## Optimeringsproblem och heuristik

Ruttplanering är känt för att vara ett svårt kombinatoriskt optimeringsproblem och det finns flera olika lösningsmetoder föreslagna i litteraturen. Det finns dessutom ett behov för detaljerad information om vägar, till exempel avstånd, hastighetsgränser och vägkvalitet. På grund av det faktum att det är ett svårt kombinatoriskt problem fungerar så kallade exakta metoder dåligt för den här typen av stora problem. De är helt enkelt för långsamma. Istället har det utvecklats metoder baserade på så kallade metaheuristiker. För en allmän genomgång av ruttplaneringsmetoder kan vi hänvisa till Cordeau et al. (2002).

## Strategisk planering – till vilket slakteri

Vi har använt oss av det matematiska modelleringspråket AMPL tillsammans med optimeringsprogrammet CPLEX som lösare för de underliggande optimeringsproblemen. I studien så använder vi oss av data på gårdar och slakterier i Sverige under 2008. I problemet ingår att antal variabler som slakteriernas kapaciteter, produktionstyp för gårdar, geografiska positioner för gårdar och slakterier, maximal transporttid och antal slakterier. Vi har även inkluderat mobila slakterier och

studerat effekter av dessa samt i vilka de skall vara stationerade, för detaljer se Håkansson et al (2012).

### **Taktisk planering- vilka ruttor sker under transport till slakteri**

Den metod som vi använt oss av är baserad på en metod för ruttplanering inom skogsindustrin, se Andersson et al. (2008) och Flisberg et al. (2009). Den bygger på en två-fas optimeringsbaserad heuristisk där den första fasen löser vi ett LP problem (linjär optimering) som skapar ett traditionellt ruttplaneringsproblem med tidsfönster. För att lösa detta problem använder vi oss av en generell tabusökningsmetod (med namnet UTSA) utvecklad av Cordeau et al. (2001). Vi använder en utökad version av UTSA, kallad EUTSA, där vi har lagt till några funktioner som inte ingår i den ursprungliga metoden. Detta hanterar skillnader i utbud och efterfrågan och flera hemma baser. För mer detaljer se Sellman et al 2012a

### **Taktisk planering med slottider - ruttoptimering och minimering av kötider och uppställning**

För att se till så att flera lastbilar inte kommer in samtidigt till ett slakteri så har vi lagt till så kallade slottider. Varje slottid beskriver ett tidsintervall där enbart en lastbil får anlända till ett slakteri. Vi har utvecklat EUTSA ytterligare genom att inkludera dessa slottider. För mer detaljer se Sellman et al 2012b

## **Resultat**

De viktigaste resultaten redovisas i två steg i denna rapport men för mer detaljer hänvisar vi till de bifogade publikationerna. Det första steget är en lista där de viktigaste resultaten redovisas i punktform därefter följer en mer förklarande beskrivning kring några av dessa resultat.

### **Viktiga resultat**

1. Databasen för djurtransporter har analyserats och en del felaktiga inrapporteringar förekommer och en algoritm för sammanställning och korrektion av dessa fel har upprättats. Under tidsperioden 2006-2008 minskade felrapportering vid dubbelrapportering från 5.45 % till 1.24%. Nöremark et al 2009
2. En analys av gårdarnas placering och transporter har gjorts för Sverige och regioner har jämförts. Det är en stor variation mellan olika regioner och inom vissa regioner i Sverige kan gårdar ligga väldigt tätt och upp till 45 gårdar med nötkreatur kan ligga inom 3km radie och för gårdar med grisproduktion kan det vara upp till 23 gårdar på detta avstånd. Detta påverkar såväl smittspridning som transportavstånd. Nöremark et al 2009
3. De flesta transporter är kortare än 100 km (87% för nötboskap, 74% för gris), men en del transporter är väldigt långa (Nöremark et al 2009). Livdjurstransporterna uppvisar därmed ett avståndsberoende som är leptokurtiskt, dvs fördelningen avviker från en normalfördelning genom att det finns en "svans" med ett antal transporter med riktigt långa avstånd. En metod för att bestämma och kvantifiera detta avståndsberoende har utvecklats (Lindström et al 2009 )
4. Vi har tagit fram metoder som genererar olika strukturer för transportnätverk. Dessa kan användas för att pröva olika, trender, scenarior och strategier. En jämförelse mellan olika strukturer görs med ett antal nätverksmått. (Håkansson et al 2007, Håkansson et al 2010, Lennartsson et al 2012 b. Nöremark et al 2010).
5. En optimering av hur en rutt utförs kan minska transporterad sträcka och djurtimmar. I detta fall bestäms en rutt av vilka gårdar som besöks på vägen till ett slakteri. Resultaten

visar att en god optimering, heuristik, kan ge 2-24% kortare transport sträckor och 6-30% lägre transportkostnad jämfört med enklare typer av planering av transportrutter. Detta är utfört för generella system som en bakgrund för jämförelser med svenska data.(Håkansson et al 2007).

6. En analys av dagens planering vid ett antal större slakterier visar att den vinst som deras planering uppvisar kan förbättras med omkring 180-200% för transporttider, transportsträckor och arbetstid om man tillämpar en mer effektiv ruttplanering. För ett mer direkt mått på välfärden för djuren så uppvisar antal transporterade djurtimmar en möjlig förbättring på närmare 300%. Sellman et al, 2012 a.
7. En optimering av rutter bör ske utifrån en planering som innefattar minst en veckas transporter men det finns ytterligare vinster med att utgå från 14 dagar. Den här graden av planeringsunderlag kan uppskattningsvis minska transportsträckor med upp till 12,4 % och antal djurtimmar med 4,3 %. Sellman et al, 2012 a.
8. Djurtransporter inom Sverige fördelas mellan slakterier på ett suboptimalt sätt. En fördelning, med bibehållen produktionskapacitet, som går till närmaste slakteri medför att transporterad sträcka kan reduceras med 25% för grisar och 40% för nötkreatur. Håkansson et al 2012
9. De mindre slakterierna i Sverige påverkar inte transporterad sträcka nämnvärt eftersom deras placering ofta överlappar med större slakteriers. Upp till 50% av nuvarande mindre slakterier kan ersättas av högre kapacitet i de större utan att transporterad sträcka påverkas nämnvärt. Håkansson et al 2012
10. Mobila slakterier kan, om de placeras korrekt, påverka transporterad sträcka och tid speciellt för de som transporteras mer än 4 timmar, t ex kan fem mobila slakterier i Sverige halvera minskat antalet gristransporter som är på fyra timmar eller mer med 91% för gris och 78% för nötkreatur. Håkansson et al 2012
11. Genom att pröva fram en effektiv organisation av hur transporterna fördelas över tid under ett dygn så kan kötider och uppställning över natt minskas i betydande omfattning. Resultaten är beroende av slakteriets förutsättningar men med relativt enkla medel minskar antal djur som behöver vara uppstallade över natt till hälften. Sellman et al, 2012 b.
12. Stopp under rutter för pålastning är negativt för djuren och ruttoptimering visar att extrakostnad för minskat antal stopp avtar snabbt och efter tre till fyra pålastningar finns inte mycket vinst med ytterligare pålastningar. Sellman et al, 2012 a och 2012 b.
13. Variation i pålastningstider är avgörande för kötider och behovet av uppställning. En minskning av variation i pålastningstid ökar graden av noggrannhet och kontinuiteten i flödet av djur vid slakteriet och är därmed en viktig fråga om kötider skall minimeras och även om uppställning skall minimeras alternativt regleras. Sellman et al 2012 b

## ***Beskrivning av viktiga resultat***

### ***Beskrivning och analys av djurtransporter i Sverige***

Vi har analyserat de transporter som utförts i Sverige (se bl a Nöremark et al 2009 och Nöremark et al 2011). Analysen är gjord på nöt och svin. Det beskriver frekvenser av transporter för olika avstånd. Tidpunkter under året och under veckan för transporter. Vilka enheter som i första hand står för livdjurtransporter. Hur stor andel av transporter som sker inom och mellan län. Dessa analyser ger en god bild var, när och mellan vilka enheter som djurtransporter sker. Vi har utvecklat en metod/script som vi kan applicera på datamaterial från andra år och därmed snabbt skapa

sammanställning för jämförelser mellan olika år. Vi har även tagit fram en statistisk metod som kommer användas i första hand inom smittspridning. Metoden kan också användas för att göra analyser över tid, dvs. avgöra hur transportmönstret ändras mellan år och därmed statistiskt säkerställa eventuella förändringar. Den statistiska metoden visar på vilket avståndsberoende som finns för djurtransporter. Vi har visat att transporter, i vårt exempel är det livdjurstransporter i Sverige, sker utifrån två strategier: en som har ett traditionellt avståndsberoende, dvs. transporter sker i första hand till närmaste gård, och en som egentligen inte berörs av avstånd och transporten kan ske mycket, eller godtyckligt, långt (Lindström et al 2009). Vi har även visat att hur detta samband ser ut är också beroende på vilken produktionstyp som är på respektive gårdar (Lindström et al 2010, Lindström et al 2011).

### *Nätverksanalyser av transportnätverk*

Alla registrerade transporter av nöt och gris under åren 2006 till 2008 har analyserats med avseende på dessa nätverks struktur (Nöremark et al 2011). Strukturerna analyserades både månadsvis och årsvis separat för vardera djurarten men också i kombination. Generellt så var det många gårdar med mycket få kontakter och några få gårdar med många kontakter. Nötnätverken var mer fragmenterade än grisenätverken. Ett mönster som också finns beskrivet i andra länder. För nöt fanns också en säsongsvariation i strukturen som inte syntes hos gris. Det fanns också en korrelation mellan mönster av transportlänkar till och från gårdar med produktionstyp och besättningens storlek. Med hjälp av nätverksalgoritmen SpecNet kan vi återskapa olika nätverksstrukturer utifrån ett gårdslandskap (Håkansson et al 2010, Lennartsson et al 2012 a). Som exempel återskapade vi nätverksstrukturer för två verkliga transportnätverk till slakt för gris och nöt i Sverige 2008. Denna metod/algoritm tillför att vi i virtuella modeller kan testa olika scenarior av transportnätverk och även vad som händer om t ex smitta kommer in i systemet. En viktig generell frågeställning som vi studerat teoretiskt är hur prediktioner av smittspridning påverkas om man har ofullständiga data (Lennartsson et al 2012 b). Vi diskuterar vikten av insamlingsmetodiken och vilka tidsfönster man använder sig av relativt den frågeställning man har.

### *Effektiv ruttplanering-kostnad vs sträcka per djur*

Vi har visat att en strukturerad ruttplanering reducerar transportsträckor så att både djurhälsa förbättras och kostnader sjunker (Håkansson et al 2007, Håkansson et al 2012). En ruttplaneutvärdering har skett relativt det mest optimala ur djurhälsosynpunkt, dvs att varje transport går direkt från gård till slakteri. Dagens transportsystem, där det inte sker en utarbetad ruttplanering, minskar kostnaden med 10-35% men ökar transportsträcka för ett djur med upp till 40%, detta jämfört med de direkta transportererna. Vi har visat att en effektiv ruttplanering kommer minska kostnaderna för transportererna med 40% men enbart öka transportsträckan för ett djur med som mest 5%, även detta jämfört med enskilda transporter. Alltså skulle en övergång idag till en mer strukturerad ruttplanering minska transportsträckor för djuren samt minska kostnaderna i samband med transport. En viss ökning av pålastningar kan dock en övergång medföra, men våra beräkningar visar enbart en marginell ökning sker från i medeltal 1.72 pålastning till 1.78.



### *Effektiv ruttplanering –minimera antal samlastningar och maximal tid individer befinner sig i transport*

Vi har testat olika optimeringsscenarior av transporter till 5 stora slakterier i Sverige (Sellman et al 2012). Totalt ingick transport av 428 684 och 94 573 transportrutter. Vi utgick från ett scenario med 2008 års verkliga slakttransporter. I scenariorna testades effekterna på djurtimmar i transport, körtid totalt för bilarna, körsträcka totalt och arbetstid för förarna av att halvera den maximala transporttiden för individuella djur, att endast ha 3, 2 eller 1 tillåten samlastning samt en kombination av maximalt 2 samlastningar och halverad maximal transporttid. För alla nya scenarior relativt grundscenariot minskade antalet totala timmar som djuren befinner sig i transport. Minst antal djurtimmar (73% av grundscenariot) får scenariot med maximalt en samlastning därefter kommer kombinationen med max 2 samlastningar och halverad tid i transport (82%) därefter följer i ordning halverad transporttid (87%), maximalt 2 samlastningar (90%) och maximalt 3 samlastningar (98%). Med den ökade djurvälferden i form av minskat antal timmar i transport fås dock en ökning av körtid totalt för bilarna, körsträcka totalt och arbetstid för förarna. Vi tittade också på hur storleken på tidsfönstret för planering av rutter kan öka möjligheten till djurvälferd. Vi testade tidsfönster på 1dag, 7 och 14 dagar. Och med ökat tidsfönster kunde också en optimering av rutter göras så att djurtimmar i transport, körtid totalt för bilarna, körsträcka totalt och arbetstid för förarna minskade.

### *Effektiv ruttplanering - minimering av uppställning*

Vi har utvecklat en modul som skapar en effektiv ruttplanering även med avseende på uppställning inför slakt. Modulen kan ta hänsyn till olika förutsättningar som när på dygnet transporter i första hand skall ske. När vi prövar den här modulen mot några av de större slakterierna så kan antal djur som är uppstallad över natt minska till hälften och man kan även halvera kötider samt övertid. Exakt hur mycket är relativt slakteri och förutsättningar på slakteri t ex hur många lastbilar som kan lastas ur samtidigt och annat som bestäms lokalt. I modulen är det alltså möjligt att anpassa till lokala förutsättningar. En begränsning är givetvis hur mycket övertid som kan accepteras för att avsluta sista lasten. Generellt har vi visat att kötider och uppställning kan reduceras väsentligt. Uppställning kan egentligen helt försvinna med denna typ av planering med godtagbar övertid men det är idag begränsat av osäkerheten kring den tid det tar för pålastning vid gårdarna.

## **Slutsatser**

Djurtransporter innefattar ett antal olika delar som påverkar djurens välfärd. Man vet att sträcka, tid och antal pålastningar är viktiga såväl som förutsättningar under transporten såsom luftkvalitet, utrymme, och fodring och vatten i samband med transporter. I det här projektet har vi speciellt studerat själva organisationen av transporter i Sverige, dvs. mellan vilka enheter sker transporter och hur kan detta organiseras för att minimera negativa effekter av sträcka, tid och pålastningar. Vi har även studerat hur detta kan organiseras med tanke på kötider och uppställning vid slakterier. Ett sådant här system har aldrig studerats tidigare och man har sällan eller aldrig en sådan heltäckande kunskap om ett så pass stort och komplext transportnätverk. Detta gör analysen i sig unik vad gäller transportsystem. Det påverkar också vilken typ av analyser som kan göras och att många analyser innefattar många olika aktörer. I detta fallet handlar det om en näring som omfattar jordbrukare, transportörer och slakterier som tillsammans bildar ett system. Att ett sådant system inte är

optimerat är inte överraskande, dock är det med dagens teknik och algoritmer och datorkraft helt möjligt att både analysera och att under gång optimera och därmed finna bra och effektiva lösningar. Studien visar att det finns stor potential att reducera transporttid och sträcka samt kötider och uppställning. Det rör sig om upp till halveringar beroende på åtgärder. Dessa aktörer kan alltså påverka sitt system och därmed minska transporterad tid och antal pålastningar samt kötider och grad av uppställningar. Den här rapporten visar på de möjligheter som finns och därmed är det upp till olika aktörer att formulera mål utifrån dessa resultat. De aktörer som vi kan se som kan agera i frågan är givetvis näringen själv men även konsumenter kan påverka och givetvis kan myndigheter med olika regelverk påverka förutsättningarna. Idag finns t ex en lag kring maximalt transporttid men ingen reglering kring antal pålastningar.

Analyserna som är gjorda redovisar såväl strukturer för transportsystemet vad gäller geografiska placeringar som de möjligheter och begränsningar som dessa utgör. Dessa grundförutsättningar ger en övre gräns för vad som är möjligt. Till viss del har vi prövat den gränsen genom att analysera var nya mobila slakterier bör vara stationerade: Denna geografiska placering av gårdar och slakterier i Sverige är i sig en bas för såväl smittspridningsrisker mellan gårdar som hur sträckor som djur transporteras kan påverkas. Vår slutsats är att djurtransporter i Sverige, med modern metodik och ett övergripande perspektiv som sträcker sig över flera aktörer, kan minskas i betydande omfattning så att: (i) djurväl färden kan öka markant som ett resultat av minskat antal timmar som djur transporteras, (iii) djurväl färden kan förbättras som ett resultat av kortare kötider och mindre eller ingen uppställning över natt vid slakterier, (ii) smittspridningsrisker kan minska till följd av färre pålastningar och mindre mixing mellan regioner, och att (iii) koldioxidutsläpp kan minskas eftersom total körsträcka kan reduceras markant. Vi gör också bedömningen att de åtgärder som medför att dessa effekter uppnås också resulterar i lägre kostnader i samband med transporter genom att transporttid och sträcka minskar samt att ett mer kontinuerligt inflöde av djur till slakterier uppnås.

## Reflektioner

Projektet i sig är unikt eftersom det analyserar ett större system och kan visa på möjligheter till optimering. Transportsystemet som sådant är speciellt eftersom det innefattar inte bara en kostnad och ett effektivitetsbehov som är relaterat till produktionskostnader och prisbild men det innefattar även värderingar och etik relaterat till djurs välfärd. Vi har i det här projektet tagit fram ett antal metoder och gjort ett antal analyser som visar på möjligheter till förändringar. Dessa förändringar kan ge tydliga effekter men den exakta storleken på dessa är givetvis beroende på graden av förändring men också en del lokala förutsättningar som vi inte kunnat pröva direkt i den här studien. Det vi också har visat är att det generellt finns en stor potential att minska de sträckor som lastbilarna kör och därmed finns det även tydliga miljövinster och tydliga effektivitetsvinster för näringen. Generellt gäller att åtgärder som främjar djurväl färden också medför minskade kostnader för transport vilket innebär att det inte i det här fallet finns någon konflikt mellan näringens effektivitetsmål och mål för djurens välfärd.

## Referenser:

Andersson, G., Flisberg, P., Lidén, B., Rönnqvist, M. 2008. "RuttOpt - A decision support system for routing of logging trucks", *Canadian Journal of Forest Research*, 38:7.

Cordeau, J.-F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y., and Semet, F. 2002. A guide to vehicle routing heuristics. *J. Oper. Res. Soc.* **53**: 512–522. doi:10.1057/palgrave.jors.2601319.

Cordeau, J.-F., Laporte, G., and Mercier, A. 2001. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *J. Oper. Res. Soc.* **52**: 928-936. Doi: 10.1057/palgrave.jors.2601163.

Flisberg, P., Lidén, B. & Rönnqvist, M. 2009. "A hybrid method based on linear programming and tabu search for routing of logging trucks", *Computers & Operations Research*, vol. 36, pp. 1122-1144.

Frössling, J., Ohlson, A., Björkman, C., Håkansson, N., Nöremark, M. 2012. "Application of network analysis parameters in risk-based surveillance - Examples based on cattle trade data and bovine infections in Sweden", *Preventive veterinary medicine*. (In press).

Grandin, T. 1997, "Assessment of stress during handling and transport", *Journal of animal science*, vol. 75, no. 1, pp. 249-257.

Håkansson, N., Flisberg, P., Algers, B., Rönnqvist, M. & Wennergren, U. 2012. A strategic analysis of slaughterhouses and animal transportation in Sweden. PhD thesis. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertation No. 1434 Department of Physics, Chemistry and Biology, Theoretical Biology. Linköping University. Linköping, April 2012. (In press).

Håkansson, N., Jonsson, A., Lennartsson, J., Lindström, T. & Wennergren, U. 2010 Generating structure specific networks. *Advances in Complex Systems (ACS)* 13(02), pp 239–250.

Håkansson, N., Henningsson, M., Rönnqvist, M. & Wennergren, U. 2007. Route planning reduces the costs of animal transportation: Animal welfare versus economics. Pp. 1044-1048. Tartu, Estonia: XIII Int. Congr. Animal hygiene.

Lennartsson, J., Håkansson, N., Wennergren, U. & Jonsson, A. 2012 a. SpecNet: a spatial network algorithm that generates a wide range of specific structures. (In press).

Lennartsson, J., Jonsson, A., Håkansson, N., and Wennergren U. 2012 b. Is a Sampled Network a Good Enough Descriptor? Missing Links and Appropriate Choice of Representation. (In press).

Lindström, T., Sisson, S. A., Lewerin, S. S., Wennergren, U. 2011. "Bayesian analysis of animal movements related to factors at herd and between herd levels: Implications for disease spread modeling", *Preventive veterinary medicine*, 98:4.

Lindström, T., Sisson, S. A., Lewerin, S. S., Wennergren, U. 2010. "Estimating animal movement contacts between holdings of different production types", *Preventive veterinary medicine*, 95:1-2.

Lindström, T., Sisson, S. A., Nöremark, M., Jonsson, A., Wennergren, U. 2009. "Estimation of distance related probability of animal movements between holdings and implications for disease spread modeling", *Preventive veterinary medicine*, 91:2-4.

Nöremark, M., Håkansson, N., Sternberg Lewerin, S., Lindberg, A. & Jonsson, A., 2011 Network analysis of cattle and pig movements in Sweden: Measures relevant for disease control and risk based surveillance. *Preventive Veterinary Medicine* 99, pp 78 – 90.

Nöremark, M., Frössling, J., Lewerin, S. S. 2010. "Application of routines that contribute to on-farm biosecurity as reported by Swedish livestock farmers", *Transboundary and Emerging Diseases*, 57:4

Nöremark, M., Håkansson, N., Lindström, T., Wennergren, U. & Sternberg Lewerin, S., 2009 Spatial and temporal investigations of reported movements, births and deaths of cattle and pigs in Sweden. *Acta Veterinaria Scandinavica* 51(37).

Raussi, S., Boissy, A., Delval, E., Pradel, P., Kaihilahti, J. & Veissier, I. 2005, "Does repeated regrouping alter the social behaviour of heifers?", *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 93, no. 1–2, pp. 1-12.

SJVFS 2010, Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd om transport av levande djur.

Swanson, J.C. & Morrow-Tesch, J. 2001, "Cattle transport: Historical, research, and future perspectives", *Journal of animal science*, vol. 79, no. E-Suppl, pp. E102-E109.

Wray, C., Todd, N., McLaren, I.M. & Beedell, Y.E. 1991, "The epidemiology of salmonella in calves: The role of markets and vehicles", *Epidemiology and infection*, vol. 107, no. 3, pp. 521-525.