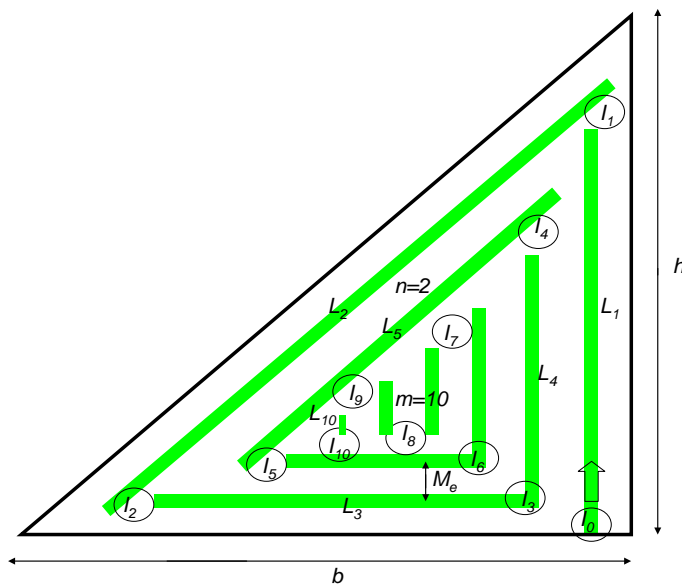


Tidsåtgång för maskinarbeten på små fält - en simuleringsstudie

Time demand for machine operations in small fields
- a simulation study

Daniel Nilsson
Håkan Rosenqvist
Sven Bernesson



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
SUAS, Swedish University of Agricultural Sciences
Institutionen för energi och teknik
Department of Energy and Technology

Svensk titel: Tidsåtgång för maskinarbeten på små fält - en simuleringsstudie.

Engelsk titel: Time demand for machine operations in small fields – a simulation study.

Författare: Daniel Nilsson, Håkan Rosenqvist, Sven Bernesson

Seriens namn: Rapport 072
ISSN 1654-9406

Uppsala 2014

Nyckelord: Små fält, oregelbundna fält, maskinkapacitet, tidsåtgång, simulering, small fields, irregular-shaped fields, machine capacity, time demand, simulation.

SAMMANFATTNING

Maskinkostnaderna är en viktig faktor när det gäller lönsamheten för odling av grödor på små och oregelbundna fält. Idag anges maskinkapaciteten för olika arbetsoperationer inom jordbruket oftast som ett slags genomsnittsvärde, som sedan antas gälla för alla fält oberoende av areal, fältform, eventuella brukningshinder på fältet, etc. Detta kan medföra fel vid beräkning av växtodlingens kostnader och lönsamhet, och därmed också leda till missvisande beslutsunderlag för lantbrukarna. Huvudsyftet med denna studie var att analysera tidsåtgången för olika maskinarbeten på små och oregelbundna fält med hjälp av datorsimuleringar. Målet var att ta fram mer fältspecifika kapacitetsdata som kan användas vid beräkningar av maskinkostnaderna. Genom att ha en högre precision i dataunderlaget för kostnadsberäkningarna, får lantbrukarna ett bättre beslutsunderlag vid val av grödor.

Vilken areal ett "litet" fält har är beroende på var i landet man befinner sig. I slättbygder, där jordbruket präglas av storskalighet, kan ett fält på 5 ha betraktas som "litet", medan gränsen kan vara betydligt lägre i skogs- och mellanbygder. Av de undersökta kommunerna i denna studie (Svalöv, Ronneby, Vingåker och Skellefteå), var den genomsnittliga skiftesarealen högst i Svalövs kommun (6,7 ha) och lägst i Ronneby kommun (1,9 ha). Det finns heller ingen entydig definition på vad som menas med ett "oregelbundet" fält. Ofta avser man dock fält med många hörn och flikar, eventuellt också innehållande trånga passager och "öar" med annan mark. Ju mer oregelbundet ett fält är, desto mer svårbrukat (eller dyrare att bruka) anses det vara. En jämförelse av fältens s.k. formfaktor i de olika kommunerna indikerade att kommuner med större brutenhet i landskapet (Ronneby och Vingåker) också har fält med mer "oregelbundna" former.

Tidsåtgången för maskinarbeten på rektangulära fält simulerades med effektiv maskinbredd, optimal (maximal) körhastighet, fältareal samt fältform som oberoende ingångsvariabler. I simuleringarna togs hänsyn till tid för vändningar, svängar (hastighetsbegränsande), acceleration/retardation, ställtider, slumpmässiga avbrott, m.m. Resultaten visade t.ex. att tidsåtgången för en maskin med effektiva arbetsbredden 4,0 m och körhastigheten 8,0 km/tim, och som arbetade på ett rektangulärt fält med formen 2:1 (längd:bredd), var 36 min/ha när arealen var 1,0 ha, 26 min/ha när arealen var 5,0 ha och 24 min/ha när arealen var 15,0 ha. En slutsats var alltså att arealen har stor betydelse för tidsåtgången även för "regelbundna" rektangulära fält. Simuleringar gjordes också för avlånga rektangulära fält (vändtegar och kantzoner). Resultaten för dessa visade bl.a. att tiden för icke-produktiv tomkörning kan bli lång, relativt sett, om maskinbredden inte är anpassad efter dessa fälttypers bredd.

Tidsåtgången för slåtter av vall (maskinbredd 2,25 m, maximal körhastighet 10,0 km/tim, areal 1,0 ha) jämfördes för olika "oregelbundna" fältformer. Jämfört med ett rektangulärt 2:1-fält varierade tidsåtgången från -4 % (trapetsformat fält) till +16 % (månghörning med cirkulärt odlingshinder). Framförallt hade antalet vändningar (maskinen ej i arbete) en avgörande betydelse för resultaten, men antalet svängar (maskinen i arbete men med nedsatt körhastighet) var också en viktig faktor.

I projektet har också en enkel metod tagits fram för beräkning av fältens transportavstånd. Metoden baseras på fältens blocknummer.

ABSTRACT

The machinery costs have an important impact on the economic profitability of crop production in small and irregular-shaped fields. In most cost calculations, the capacity of machinery operations in agriculture is given as a single value, which is assumed to be valid for all types of fields independent of field area, field shape, the presence of field obstacles, etc. This may result in misleading cost calculations for different crops and thus incorrect decision bases for the farmers. The main purpose of this study was to analyze the time demand for different machinery operations in small and irregular-shaped fields with the help of computer simulations. The objective was to get more field-specific capacity data that can be used for calculations of machinery costs. More precise basic data will give the farmers a better basis for decision when choosing crops in such fields.

What is meant by the term a 'small' field is subjective and dependent on where the field is located. In a flat country with large-scale agriculture, a field of 5 ha may be regarded as 'small', whereas this area may be regarded as 'large' in forested areas. Of the four Swedish municipalities investigated in this study (Svalöv, Ronneby, Vingåker and Skellefteå), the average lot area was largest in Svalöv (6.7 ha) and smallest in Ronneby (1.9 ha). Furthermore, there is no unambiguous definition of what an 'irregular-shaped' field is. Often, however, the term is used to describe a field with several corners, narrow tips and 'islands' with uncultivable land. It is often regarded that the more 'irregular-shaped' the field is, the more difficult (or costly) it is to cultivate. A comparison of the so-called shape index between the municipalities studied, indicated that fields in municipalities with a higher variability in topography and geographical structure (Ronneby and Vingåker) are more irregular-shaped.

The time demand for machinery operations in rectangular fields was simulated using machinery work width, optimal (max) driving speed, field area and field shape as independent input variables. In the simulations, the time needed for turnings, curve driving (limited speed), acceleration/retardation, adjustments, stochastic stoppages, etc. were considered. The results showed, for example, that the time demand for a machine with a working width of 4.0 m, a driving speed of 8.0 km/h and working in a rectangular field with the shape 2:1 (length: width), was 36 min/ha when the field area was 1.0 ha, 26 min/ha when the field area was 5.0 ha and 24 min/ha when the field area was 15.0 ha. Thus, it was concluded that the field area was important to consider also for 'regular-shaped' rectangular fields. Simulations were also carried out for elongated rectangular fields (*e.g.* headlands and border strips). The results showed that the time for non-productive work (*e.g.* for in-field transports) can be considerable if the machinery work width is not well-adapted to the field width.

The time demand for the mowing of grass (machinery width 2.25 m, driving speed 10.0 km/h, field area 1.0 ha) was compared for different 'irregular-shaped' fields. Using a rectangular 2:1-field as a reference, the time needed varied from -4% (trapezium-shaped field) to +16% (a polygonal field with a circular impediment). The number of turnings (machine not in work) had a crucial impact on the results, but the extent to which the machine was driving in curves (machine in work but with a limited driving speed) was also an important factor.

In the project, a simple method for calculating transport distances has been developed. The method was based on the fields' block numbers.

FÖRORD

Denna rapport beskriver resultaten från en delstudie som ingår i projektet ”Odling av energigräs på marginell jordbruksmark, kostnader och miljöpåverkan”, vilken har finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF). Projektets huvudsyfte har varit att beräkna kostnader och intäkter för odling av energigräs på marginell jordbruksmark, såsom på små och oregelbundna fält, på fält med låg bördighet, på vändtegar samt på skyddszoner, där odling av grödor till livsmedel och foder har svag lönsamhet (projektets huvudrapport heter ”Kostnader och lönsamhet för odling av energigräs på marginell jordbruksmark”, rapport nr 073, Institutionen för energi och teknik, SLU).

Resultaten från denna delstudie utgör ett underlag i ovan nämnda projekt för beräkning av maskinkostnaderna för odling av olika grödor på små och oregelbundna fält. Vid konventionella beräkningar av maskinkostnaderna (kr/ha) används normalt ett schablonvärde, oberoende av fältens storlek och form, för maskinernas tidsåtgång (min/ha), vilken sedan multipliceras med en timkostnad (kr/tim). Med hjälp av de framtagna resultaten i denna delstudie kan man beräkna kostnaderna med högre precision genom att man tar större hänsyn till fältens storlek och form vid uppskattning av tidsåtgången.

Denna rapport har tagits fram av Daniel Nilsson och Sven Bernesson vid Institutionen för energi och teknik, SLU, samt av Håkan Rosenqvist, fristående forskare med koppling till SLU. Daniel Nilsson har utfört all modellering och simulering, samt även skrivit rapporten. Håkan Rosenqvist och Sven Bernesson har medverkat vid planeringen av projektet, och bidragit med kommentarer till rapportens manus.

Vi vill tacka Jan-Erik Mattsson, SLU, och Peter Ottosson, Lunds Energi, som har ingått i projektets referensgrupp.

Slutligen vill vi tacka SLF för finansiering av projektet.

Uppsala, i november 2014

Daniel Nilsson, Håkan Rosenqvist, Sven Bernesson

INNEHÅLL

1. INLEDNING	5
1.1. Bakgrund	5
1.2. Syfte och avgränsningar	6
2. VAD MENAS MED "SMÅ" OCH "OREGELBUNDNA" FÄLT?	7
2.1. Vad är ett "litet" fält?	7
2.2. Vad är ett "oregelbundet" fält?.....	13
3. MODELLERING AV TIDSÅTGÅNGEN FÖR FÄLTARBETEN	19
3.1. Översiktlig systembeskrivning	19
3.2. Simuleringsmetod.....	21
4. SIMULERING AV MASKINARBETEN PÅ REKTANGULÄRA SKIFTEN	23
4.1. Förutsättningar och antaganden	23
4.2. Resultat och diskussion	26
5. SIMULERING AV MASKINARBETEN PÅ "OREGELBUNDNA" SKIFTEN	36
5.1. Förutsättningar och antaganden	36
5.2. Resultat och diskussion	38
6. SLUTSATSER	42
REFERENSER.....	43
BILAGA A - RESULTAT FRÅN SIMULERINGAR	44
BILAGA B - LOKALISERING AV STUDERADE MARGINALFÄLT	47
BILAGA C - TRANSPORTAVSTÅND	51

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund

I Sverige finns idag stora arealer åkermark som inte brukas aktivt. År 2012 var t.ex. arealen med träda 152 000 ha (Jordbruksverket, 2013a), medan arealen med lågintensiv odling av vall sannolikt uppgick till flera hundra tusen hektar. Det finns ingen tydlig gräns mellan intensiv och lågintensiv vallodling, men följande räkneexempel visar vilka arealer det kan handla om. Arealen vall och antalet mjölkkor år 1981 var 899 000 ha resp. 661 000 st., medan motsvarande värden för år 2012 var 1 122 000 ha och 348 000 st. (Jordbruksverket, 2013a; Jordbruksverket, 2013b). Antalet mjölkkor per hektar vall har alltså mer än halverats, vilket ger en stark indikation på att andelen lågintensiv vallodling har ökat kraftigt under de senaste decennierna (denna kraftiga ökning kan även ses om man tar hänsyn till att antalet hästar och antalet kor för uppfödning av kalvar har ökat). Denna långsiktiga tendens bekräftas också i en studie av Jordbruksverket, i vilken man uppskattade att arealen med överodling av vall år 2008 var 200 000 - 300 000 ha (Jordbruksverket, 2008).

Denna ”överskottsmark” består främst av små fält, fält med olika typer av brukningshinder, samt fält med lägre bördighet (Jordbruksverket, 2008). Dessa s.k. marginalmarker har, *per se*, högre brukningskostnader och/eller lägre intäkter, som därmed också innebär försämrade möjligheter för lönsamhet i växtodlingen. För marginalmarker finns det även andra motiv än strikt företagsekonomiska som påverkar hur marken används (Liu m.fl., 2011). Några sådana incitament och motiv rör t.ex. landskapsbild och biologisk mångfald. Dessa arealer har diskuterats för odling av energigrödor (SOU, 2007). För energigrödor som långliggande vallgräs och salix är antalet körslor på fälten få; i princip endast gödsling och skörd. För marginalmarker är detta en viktig kostnadsfördel jämfört med odling av mer körintensiva grödor, t.ex. spannmål.

En viktig faktor för lönsamheten på små och oregelbundna fält är maskinkostnaderna. Maskinkapaciteten för olika arbetsoperationer inom jordbruket anges idag oftast som ett genomsnittsvärde, som sedan antas gälla för alla fält oberoende av fältstorlek, fältform, eventuella brukningshinder på fältet, avkastningsnivå, maskinens verkliga effektiva arbetsbredd, etc. Detta kan medföra fel vid beräkning av växtodlingens kostnader och lönsamhet, och därmed också leda till felaktiga beslutsunderlag för lantbrukarna. Särskilt vid beräkning av maskinkostnaderna för små och oregelbundna fält är risken för underskattning av kostnaderna stor om maskinernas kapacitet baseras på schablonvärden. Vid slåtter av gräs anges exempelvis normalkapaciteten för en burens slåtterkross med arbetsbredden 2,4 m vara 1,6 ha/timme, dvs. 37 min/ha (Maskinkalkylgruppen, 2012), vilket också brukar användas i ”standardkalkyler”. En hypotes i denna studie var att denna kapacitet är betydligt lägre vid slåtter på ett ”oregelbundet” fält på 0,5 ha än vid slåtter på ett stort rektangulärt fält på 15,0 ha.

Tidigare genomförde Statens Maskinprovningar officiella kapacitetstester för olika maskiner inom jordbruket. Numera får man istället ofta lita på utländska maskinprovningar, på tillverkarens uppgifter, eller på erfarenhetsmässiga bedömningar av t.ex. maskinstationer. Vidare saknas det idag enkla och robusta metoder för att ”översätta” en uppmätt maskinkapacitet under vissa specifika förutsättningar, t.ex. med avseende på fältstorlek och fältform, till andra fältförutsättningar.

Idag finns det effektiva datorprogram för simulering av t.ex. tekniska/biologiska/ekonomiska system. Med *simulering* menas normalt att man gör *experiment* i en dator med hjälp av en *modell* som efterliknar det verkliga *systemet*. Fördelarna med simulering är flera (Pegden

m.fl., 1995): kostnaderna blir betydligt lägre jämfört med om man skulle göra alla experiment i full skala med hjälp av verkliga maskiner, det går snabbt att undersöka en mängd olika scenarier, både sådana som finns och sådana som skulle kunna bli tänkbara i framtiden, man kan enkelt få en större insikt och förståelse för vilka faktorer som är viktiga i systemet genom de datorexperiment man gör, etc.

1.2. Syfte och avgränsningar

Huvudsyftet med denna studie var att analysera tidsåtgången för olika maskinarbeten på små och oregelbundna fält med hjälp av datorsimuleringar. Målet var att ta fram mer fältspecifika kapacitetsdata som kan användas vid beräkningar av maskinkostnaderna. Genom att ha en högre precision i dataunderlaget för kostnadsberäkningarna, får lantbrukarna ett bättre beslutsunderlag för användningen av marken.

Studien inleds med en diskussion om vad som menas med ”små” och ”oregelbundna” fält, bl.a. med utgångspunkt från hur fältens arealer och former ser ut i fyra kommuner i Sverige: Svalöv, Ronneby, Vingåker och Skellefteå. Därefter beskrivs simuleringar och resultat för både rektangulära och oregelbundna fält. Primärt handlar studien om relationen mellan tidsåtgång och fältens storlek och form. Inga särskilda känslighetsanalyser har därför gjorts när det t.ex. gäller betydelsen av jordart, grödans avkastning, m.m. Transporttider till och från fälten har ej heller tagits med i simuleringarna, även om denna faktor har en stor betydelse, relativt sett, för små fält. Däremot har en enkel metod tagits fram med vars hjälp man kan beräkna transportavstånden för fälten, se bilagorna B och C.

2. VAD MENAS MED ”SMÅ” OCH ”OREGELBUNDNA” FÄLT?

2.1. Vad är ett ”litet” fält?

2.1.1. Förutsättningar och begrepp

Begreppet ”små fält” är relativt och betyder olika beroende på var man är i landet. I slättbygd där jordbruket präglas av storskalighet kan ett skifte på 5 ha betraktas som ”litet”, medan gränsen kan vara betydligt lägre i skogs- och mellanbygder. Detta beror bl.a. på vilken typ och storlek man normalt har på maskinerna i området, vilket i sin tur bl.a. beror på landskaps- typ och arrondering i allmänhet. För att jämföra hur det ser ut när det gäller fältens storlek i landet, har fördelningen mellan olika fältstorlekar i Svalövs (Skåne), Ronneby (Blekinge), Vingåkers (Södermanland) och Skellefteå (Västerbotten) kommuner studerats mer i detalj.

Med begreppet ”fält” avses här generellt ett avgränsat område med åkermark som är gårds- stödberättigande enligt EU:s regler. Enligt Jordbruksverkets (2012) definition är åkermark sådan mark som är lämplig att plöja och som man kan använda till växtodling eller bete. Vidare ska man kunna plöja åkermarken utan större förberedelser. Mark med många stora stenar eller mark där tuvorna växt sig mycket stora, är oftast inte lämplig att plöja och är därför inte åkermark. Mark som ofta översvämmas och som man därför inte kan bruka varje år räknas inte som åkermark. För att få gårdsstöd får det inte växa sly eller finnas annan igenväxning på skiftet (Jordbruksverket, 2012).

Med begreppet ”åkermarksblock” menas här åkermark som är varaktigt avgränsad till om- givningen. Avgränsningen kan t.ex. bestå av diken eller annan mark. Ett ”skifte” är ett sammanhängande område där det odlas endast en gröda. Skiftenas storlek och form kan alltså variera år från år beroende på vilka grödor som odlas, medan blockets storlek och form är mer permanent. Ett block kan innehålla ett eller flera skiften.

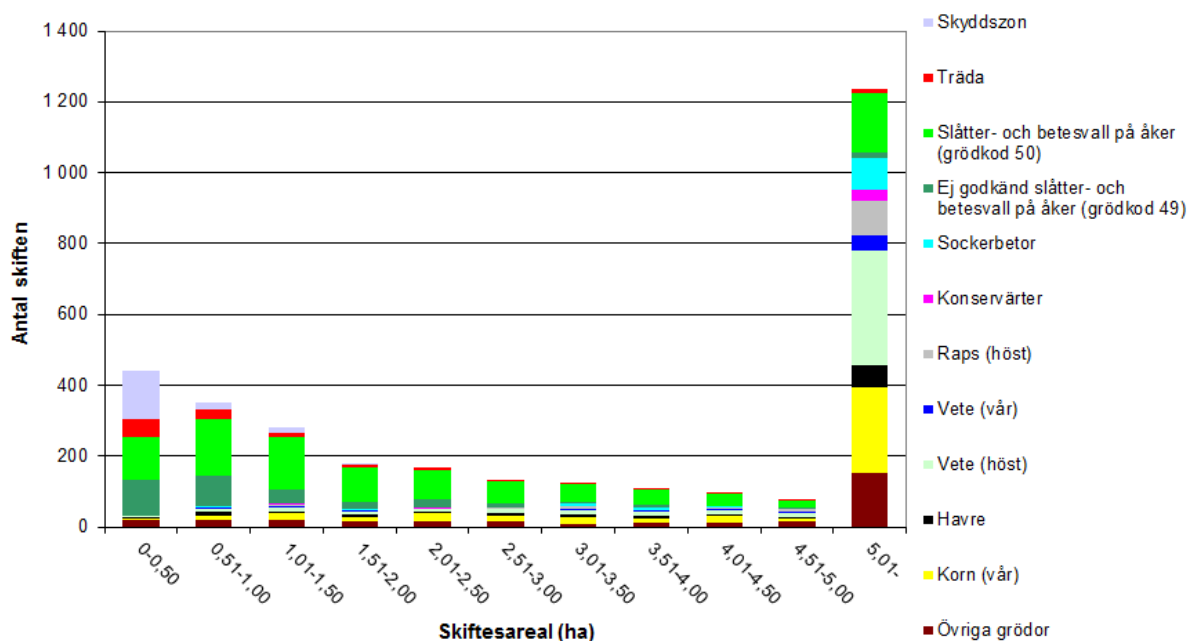
Nedan presenteras alla åkermarksskiften i de undersökta kommunerna med avseende på areal och gröda enligt de stödansökningar (s.k. SAM-ansökningar) som lämnades in 2012. Skiftena har delats in i 11 storleksklasser (<0,50 ha, 0,51-1,00 ha, 1,01-1,50 ha, 1,51-2,00 ha, 2,01-2,50 ha, 2,51-3,00 ha, 3,01-3,50 ha, 3,51-4,00 ha, 4,01-4,50 ha, 4,51-5,00 ha, 5,01> ha).

I diagrammen har en uppdelning gjorts för vallgrödorna, där grödkod 50 används för slåtter- och betesvallar (på åkermark) som uppfyller definitionen på vall, dvs. där man tydligt kan se de insådda vallväxterna. Detta betyder att vallen regelbundet förnyas och därmed brukas aktivt (för grödkoden 50 kan man få både gårdsstöd och miljöersättning). Grödkod 49 används för slåtter- och betesvallar (på åkermark) som inte uppfyller definitionen på vall. Det kan till exempel vara äldre vallar som man inte har sått in under en längre tid och där den insådda vallgrödan därmed har ersatts med andra arter (för dessa vallar kan man inte få miljöersättning för vallodling). Grödkod 51 gäller för aktiv odling av slåtter- och betesvallar på åkermark, men där man av olika skäl inte kan få miljöersättning för vallodling. Grödkoderna 50 och 51 används alltså normalt för skiften som brukas mer aktivt, medan grödkod 49 gäller för skiften som i praktiken används för mer extensiv vallodling. Ofta kan det vara så att man vill undvika att plöja upp skiften med grödkod 49 för att de är mycket steniga eller är små och har oregelbunden form.

2.1.2. Svalövs kommun

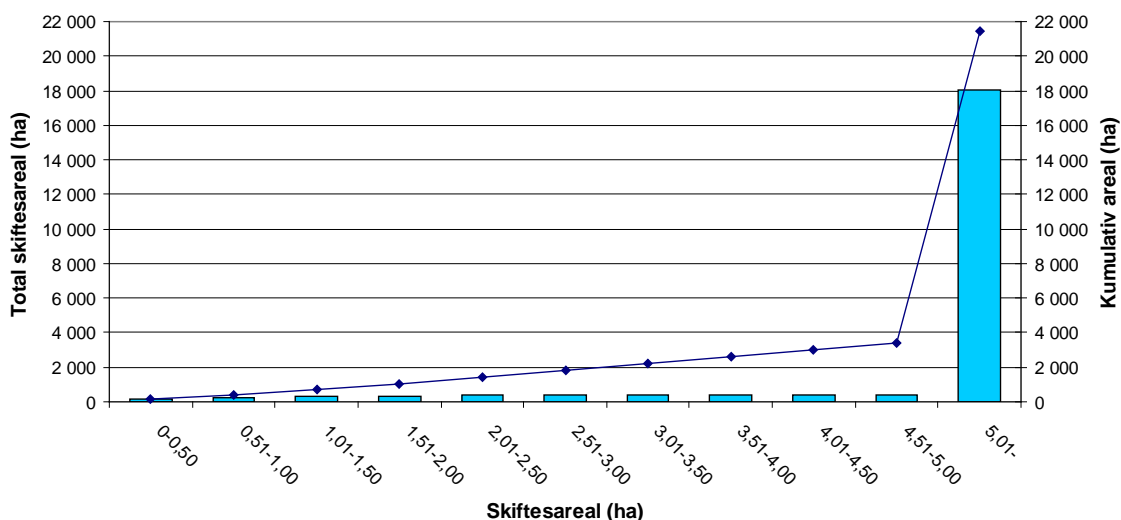
I de mellersta och södra delarna av Svalövs kommun finns ett utpräglat slättlandskap med stora gårdar. I norr har landskapet däremot mer karaktär av mellanbygd. Antalet skiften som

var upp till 1,00 ha i 2012 års SAM-ansökningar i kommunen var knappt 800, vilket motsvarade knappt 25 % av det totala antalet skiften (figur 1). De tre vanligaste grödorna på dessa skiften var vall (59 %; grödkod 49 och 50), skyddszon (19 %) och träda (10 %). Andelen skiften med en areal på upp till 5,00 ha var 61 %, med vall som dominerande gröda (57 %; grödkod 49 och 50). För skiften större än 5,00 ha var höstvet, vårkorn och vall de tre vanligaste grödorna. Även höstraps, sockerbetor, havre och konservärter var vanliga på de större skiftena. Mångfalden var stor i Svalöv när det gäller valet av gröda, vilket inte minst avspeglar sig i den höga andelen för kategorin ”övriga grödor”, vilken innefattar alla de grödor som hade en andel som var mindre än en procent av det totala antalet. Exempel på grödor i denna kategori var höstkorn, höstråg, rågvete, majs, vårraps och frövall.



Figur 1. Antal skiften med olika grödor fördelade efter storleksklass i Svalövs kommun år 2012. ”Övriga grödor” innefattar grödor med en andel som var mindre än 1 % av det totala antalet skiften. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

När det gäller arealerna, så svarade skiftena som var max 1,00 ha för endast 1,8 % av den totala arealen (figur 2). Andelen för skiften $\leq 5,00$ ha var 16 %, medan resten (84 %) fanns på skiften större än 5,00 ha.

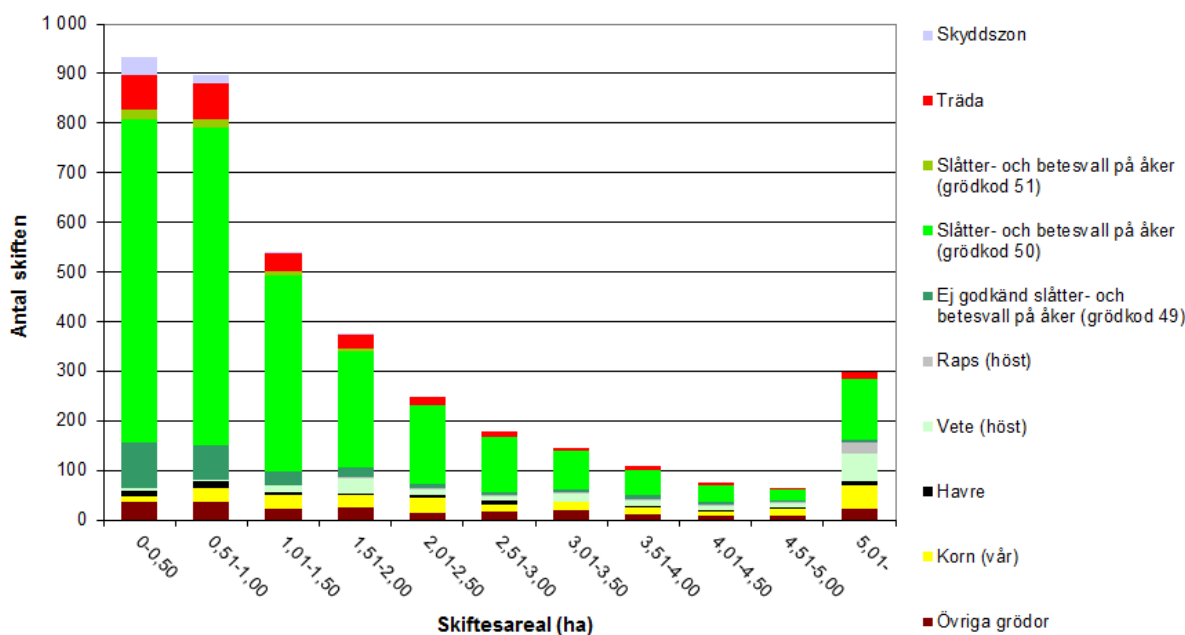


Figur 2. Total skiftesareal fördelat efter storleksklass (staplar) och kumulativ areal (hel-dragen linje) i Svalövs kommun år 2012. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

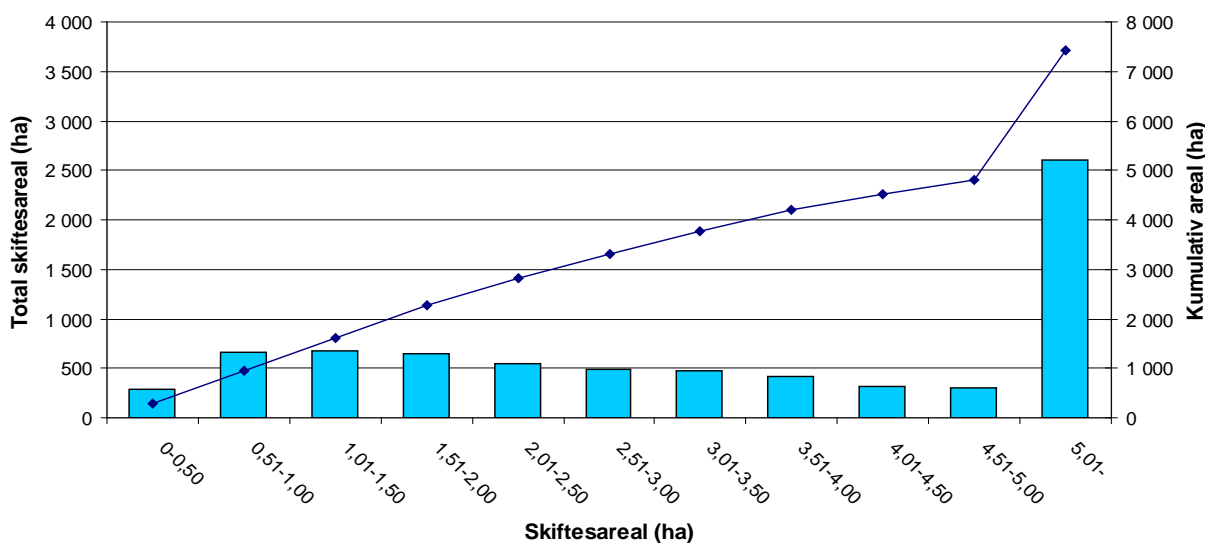
2.1.3. Ronneby kommun

Ronneby kommun domineras av mellanbygd, men här finns också skogsbygd i norr och inslag av slättbygd i söder. Andelen skiften som var max 0,50 ha var 24 % (figur 3), och andelen som var max 1,00 ha var 47 % (jämför med knappt 25 % för Svalöv). För skiften på max 0,50 ha var slätter- och betesvall (grödkod 50) vanligast med en andel på 70 %, följt av vall med grödkod 49 med en andel på 10 %, och av träda med en andel på 7 %. För skiften upp till och med 1,00 ha dominerade samma grödor med andelar på 71 %, 9 % respektive 8 %. Totalt för alla skiften $\leq 1,00$ ha var andelen vallgrödor (grödkoder 49-51) 82 %.

Med avseende på den totala arealen, så svarade skiftena på upp till och med 0,50 ha för ca 4 %, och för skiften $\leq 1,00$ ha för 13 % (figur 4). För skiften $\leq 5,00$ ha var arealandelen 65 %, medan resten (35 %) fanns på skiften större än 5,00 ha.



Figur 3. Antal skiften med olika grödor fördelade efter storleksklass i Ronneby kommun år 2012. "Övriga grödor" innefattar grödor med en andel som var mindre än 1 % av det totala antalet skiften. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.



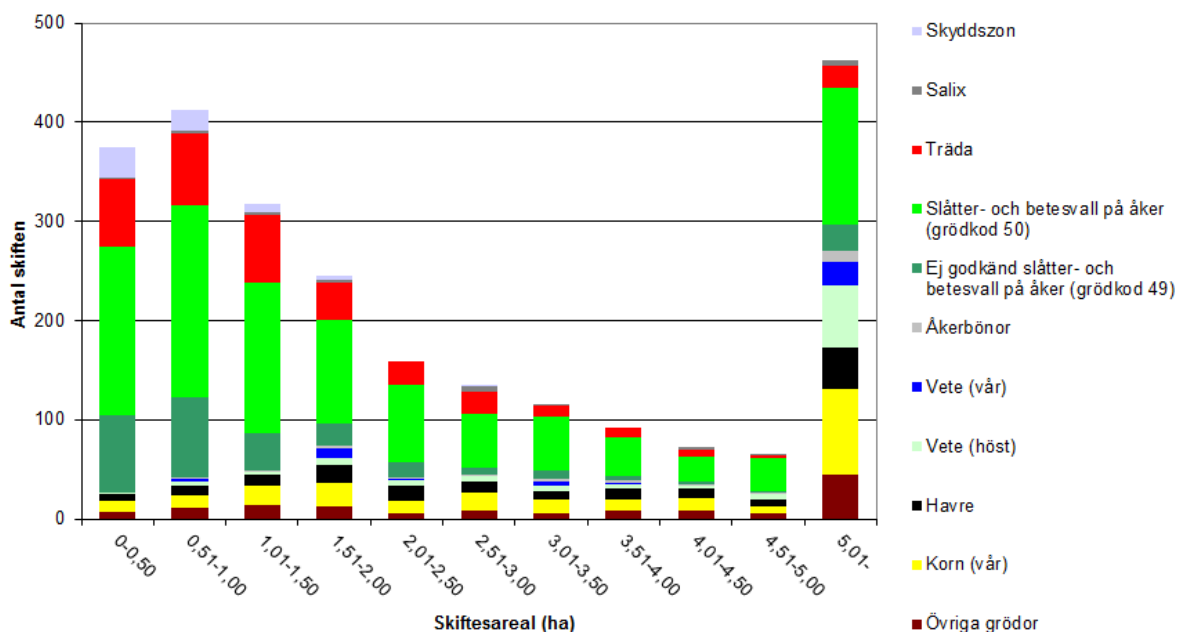
Figur 4. Total skiftesareal fördelat efter storleksklass (staplar) och kumulativ areal (helledragen linje) i Ronneby kommun år 2012. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

2.1.4. Vingåkers kommun

I Vingåkers kommun finns både slättlandskap och mellanbygd, men även en viss andel skogsbygd. Liknande som för Svalöv, så är mångfalden av grödor ganska stor. Jämfört med övriga kommuner, har man också en stor andel träda och åkerbönsodlingar.

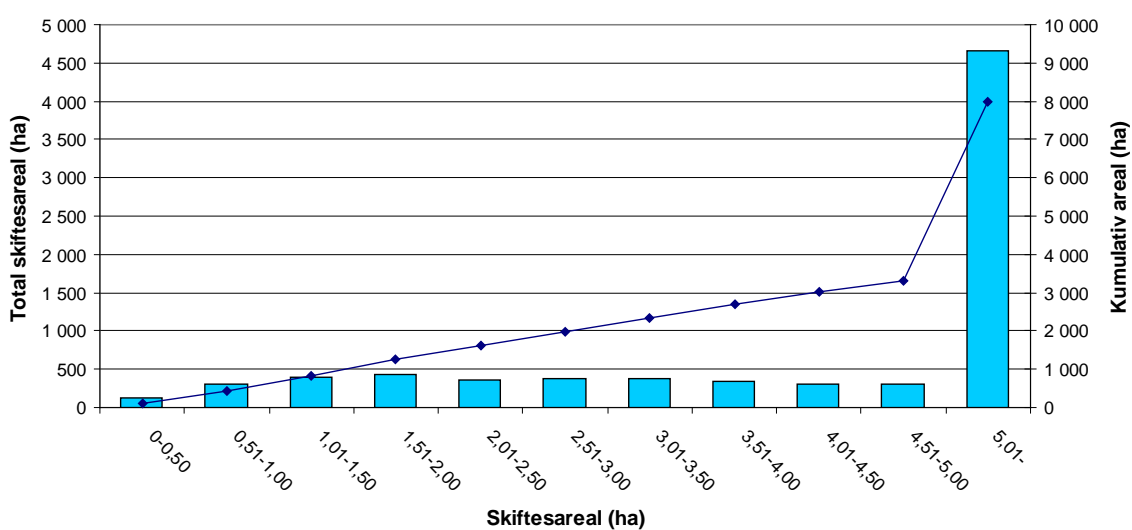
Andelen skiften som var max 0,50 ha var 15 % (figur 5), och andelen som var max 1,00 ha var 32 %. För skiften på max 0,50 ha var slåtter- och betesvall (grödkod 50) vanligast med en andel på 45 %, följt av vall med grödkod 49 med en andel på 21 %, och av träda med en andel

på 18 %. För skiften upp till och med 1,00 ha dominerade samma grödor med andelar på 46 %, 20 % respektive 18 %. Totalt för alla skiften $\leq 1,00$ ha var andelen vallgrödor (grödkoder 49-51) ca 67 %, och andelen skydds-zoner 7 %.



Figur 5. Antal skiften med olika grödor fördelade efter storleksklass i Vingåkers kommun år 2012. "Övriga grödor" innefattar grödor med en andel som var mindre än 1 % av det totala antalet skiften. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

Skiftena på upp till och med 0,50 ha svarade för drygt 1 % av den totala arealen, och skiftena $\leq 1,00$ ha för 5 % (figur 6). För skiften $\leq 5,00$ ha var arealandelen 42 %, medan resten (58 %) fanns på skiften större än 5,00 ha.



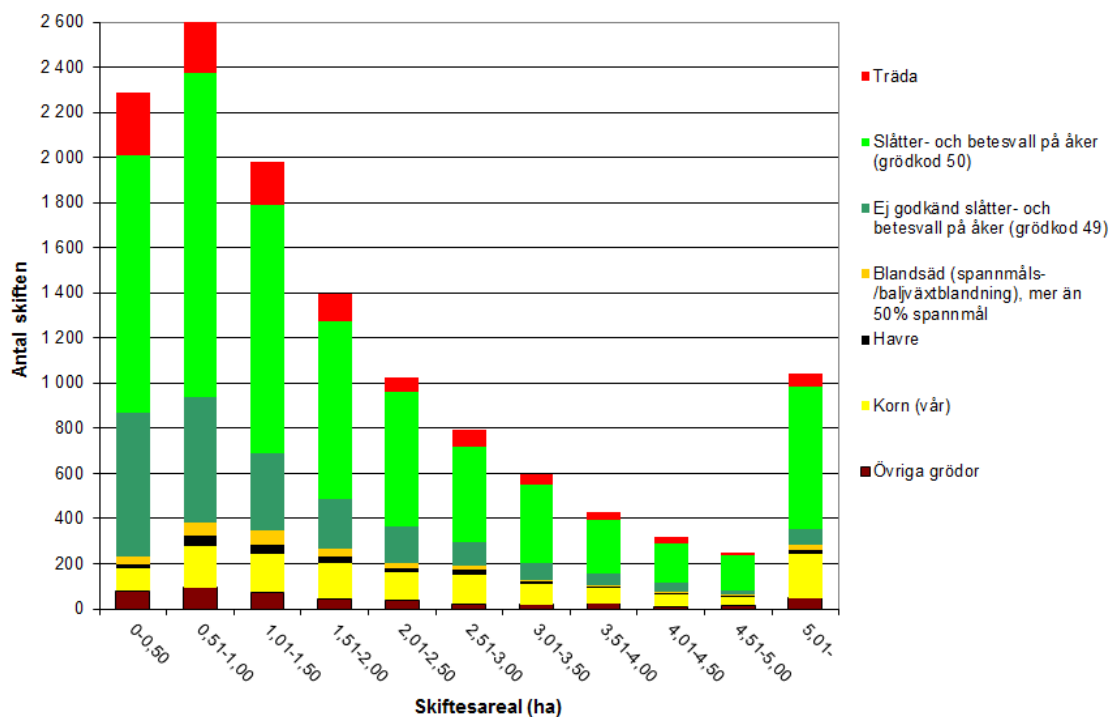
Figur 6. Total skiftesareal fördelat efter storleksklass (staplar) och kumulativ areal (hel-dragen linje) i Vingåkers kommun år 2012. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

2.1.5. Skellefteå kommun

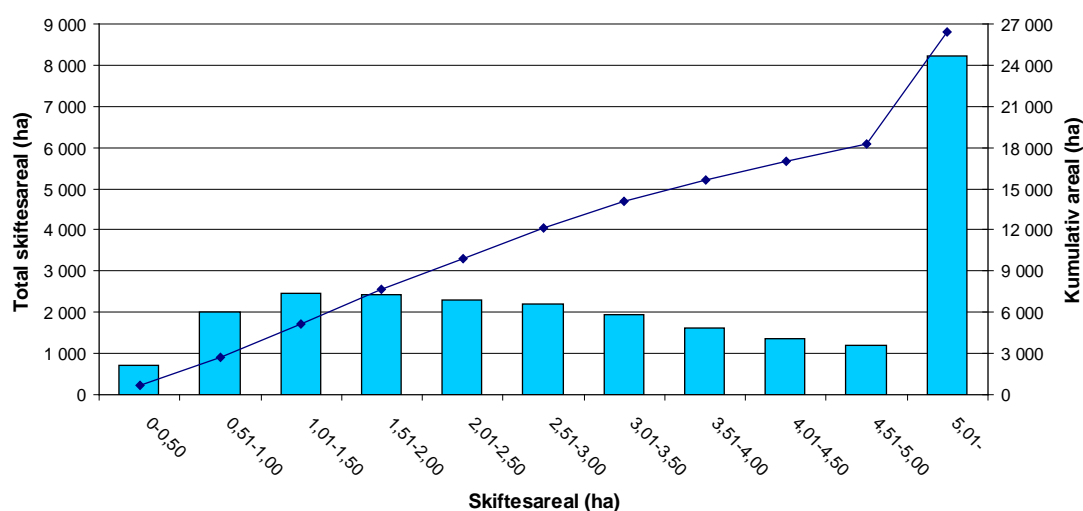
Skellefteå kommun är betydligt större än de andra tre kommunerna, vilket också avspeglar sig i antalet skiften (nästan 12 800 st, jämfört med 3 900 i Ronneby, 3 200 i Svalöv, samt 2 500 i Vingåker). Landskapstypen i kommunen präglas av såväl de norrländska kustslätterna som inlandets skogslandskap.

Andelen skiften som var max 0,50 ha var 18 % (figur 7), och andelen som var max 1,00 ha var 39 %. För skiften på max 0,50 ha var slåtter- och betesvall (grödkod 50) vanligast med en andel på 50 %, följt av vall med grödkod 49 med en andel på 28 %, och av träda med en andel på 12 %. För skiften upp till och med 1,00 ha dominerade samma grödor med andelar på 52 %, 24 % respektive 11 %. Totalt för alla skiften $\leq 1,00$ ha var andelen vallgrödor (grödkoder 49-51) 77 %. På samma sätt som för Ronneby kommun, har alltså vallgrödorna en kraftig dominans i kommunen.

När det gäller den totala arealen, så svarade skiftena på upp till och med 0,50 ha för ca 3 %, och skiftena $\leq 1,00$ ha för 10 % (figur 8). För skiften $\leq 5,00$ ha var arealandelen 69 %, medan resten (31 %) fanns på skiften större än 5,00 ha.



Figur 7. Antal skiften med olika grödor fördelade efter storleksklass i Skellefteå kommun år 2012. "Övriga grödor" innefattar grödor med en andel som var mindre än 1 % av det totala antalet skiften. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.



Figur 8. Total skiftesareal fördelat efter storleksklass (staplar) och kumulativ areal (helledragen linje) i Skellefteå kommun år 2012. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

2.1.6. Sammanfattande jämförelse

En sammanfattande jämförelse mellan de olika kommunerna finns i tabell 1. Av tabellen framgår tydligt de olika odlingsförutsättningar som finns mellan olika regioner i landet. Vad man i vardagligt tal kanske anser vara ett litet fält i Svalövs kommun kan i Ronneby kommun anses vara ett ganska stort fält. En annan aspekt som påverkar hur ”stort” ett fält kan anses vara, är vilken storlek maskinerna generellt har i området. Om det är vanligt med stora maskiner (vilket i sig indikerar stora fält inom området), kan en ”liten” areal vara ganska stor i ett annat sammanhang. Man kan också konstatera att andelen träda och vall (inkl. extensiv vallodling, dvs. grödkod 49), generellt ökar ju mindre fälten blir.

Tabell 1. Jämförelse mellan de olika kommunerna. Värdena baseras på data från SAM-ansökningarna 2012 och på data från Jordbruksverket (total åkermarksareal och totalt antal block och skiften avrundade till hela 10-tal)

	Svalöv	Ronneby	Vingåker	Skellefteå
Total areal åkermark (ha)	21 440	7 420	7 980	26 430
Totalt antal block (st.)	2 260	3 480	2 140	12 100
Totalt antal skiften (st.)	3 200	3 860	2 450	12 780
Genomsnittlig skiftesareal (ha/st)	6,71	1,92	3,25	2,07
Arealandel, skiften <1,00 ha (%)	1,8	12,7	5,3	10,3
Arealandel, skiften >10,00 ha (%)	65,1	14,8	32,0	8,5
Arealandel träda (%)	1,3	5,9	8,1	7,8
Arealandel grödkod 49 (%)	1,9	4,1	6,7	12,2

2.2. Vad är ett ”oregelbundet” fält?

Det finns ingen entydig definition på vad som menas med ett ”oregelbundet” skifte. I normala fall avses ofta ett skifte med många hörn och flikar, eventuellt också innehållande ”öar” med

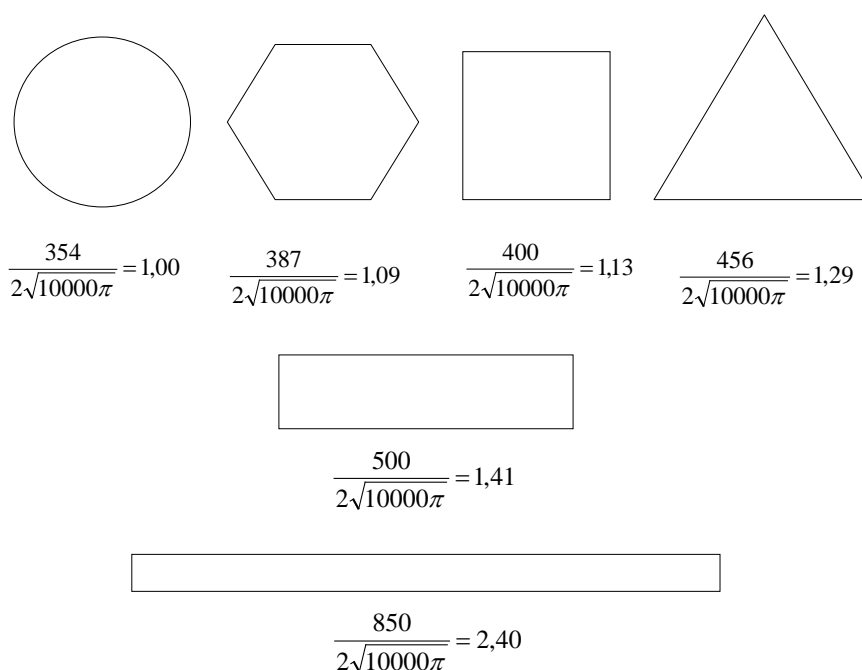
impediment eller annan mark. Ju mer oregelbundet ett skifte är, desto mer svårbrukat anses det vara, och desto mer tid går åt för vändningar på vändtegar och för svängar med nedsatt hastighet. Maskinernas storlek och arbetsbredd måste också ofta hållas nere p.g.a. trånga passager och små utrymmen. Allt detta innebär att arbetskapaleten blir lägre och kostnaderna högre.

Ett sätt att beskriva oregelbundenheten är kvoten mellan arealen A och omkretsen P (perimetern) i kvadrat A/P^2 (shape index, SI) (Gonzalez *et al.*, 2004; Amiama *et al.*, 2008). Kvoten har sitt maximala värde för en cirkulär yta; $A/P^2 = 1/(4\pi)$. Ju större omkretsen är för en given areal, desto mer "oregelbundet" är skiftet, och desto lägre blir kvoten. För att relatera det aktuella skiftets "oregelbundenhet" till en cirkels (perimeter)²/area-förhållande, kan man skriva om kvoten till $P^2/A * 1/(4\pi)$, varvid man får (de Clercq *et al.*, 2006; Cousins & Aggemyr, 2008):

$$F = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1)$$

där formfaktorn F är $F=1$ för en cirkulär yta och $F>1$ för alla andra skiftesformer (figur 9). Ju högre F är, desto mer avviker formen från den cirkulära ytan, och desto mer "oregelbundet" kan skiftet anses vara. För en given skiftesform, är F oberoende av arealen.

För att få en uppfattning om hur fältens "oregelbundenhet" kan se ut, har formfaktorn beräknats för alla åkermarksblock i Svalövs, Ronneby, Vingåker och Skellefteå kommuner. De beräknade värdena gäller för block och inte för skiften, eftersom det är svårt att få fram data för skiftenas perimetrar. I tabell 2 visas bakgrundsdata för analyserna. Även om andelen block med endast ett skifte är 73 % i Svalövs kommun, så kan man ändå anse att undersökningen ger en representativ bild av hur det ser ut både på block- och skiftesnivå. Detta gäller särskilt för små block ($\leq 5,00$ ha), där andelen med endast ett skifte varierade från 91 % (Svalöv) till 97 % (Skellefteå). Därigenom är de mindre skiftenas areal och omkrets i stort sett lika med blockens areal och omkrets.



Figur 9. Formfaktorer för cirkulära, sexkantiga, kvadratiska, triangulära och rektangulära skiften (med längd:bredd-förhållandena 4:1 respektive 16:1). I dessa exempel är arealen A ($10\,000\text{ m}^2 = 1\text{ ha}$) skalenslignat ritad för alla skiften.

Tabell 2. Antal undersökta åkermarksblock i de studerade kommunerna, andelen med 1, 2, 3, 4 eller fler skiften per block, samt andelen block $\leq 5,00$ ha som endast har ett skifte. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket

	Svalöv	Ronneby	Vingåker	Skellefteå
Antal undersökta åkermarksblock	2 257	3 478	2 135	12 101
Andel block med 1 skifte (%)	73	92	88	96
Andel block med 2 skiften (%)	19	7	10	4
Andel block med 3 skiften (%)	5	1	2	≈ 0
Andel block med 4 skiften (%)	2	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Andel block med >4 skiften (%)	1	≈ 0	≈ 0	0
Andel block $\leq 5,00$ ha med 1 skifte (%)	91	95	95	97

I figur 10 visas blockens formfaktorer, sorterade efter stigande värde, för de olika kommunerna. Kurvorna har ett likartat utseende för alla kommuner, med ett fåtal block med riktigt höga värden på F . Andelen block med en formfaktor som är högre än motsvarande värde på ett rektangulärt skifte med längd:bredd-förhållandet 4:1 ($F = 1,41$) varierade från 43 % (Svalöv) till 49 % (Vingåker), se tabell 3. Andelen block med $F > 2,00$ var lägst i Svalöv, medan den var högre i de kommuner som har högre brutenhet i landskapet (Ronneby och Vingåker).

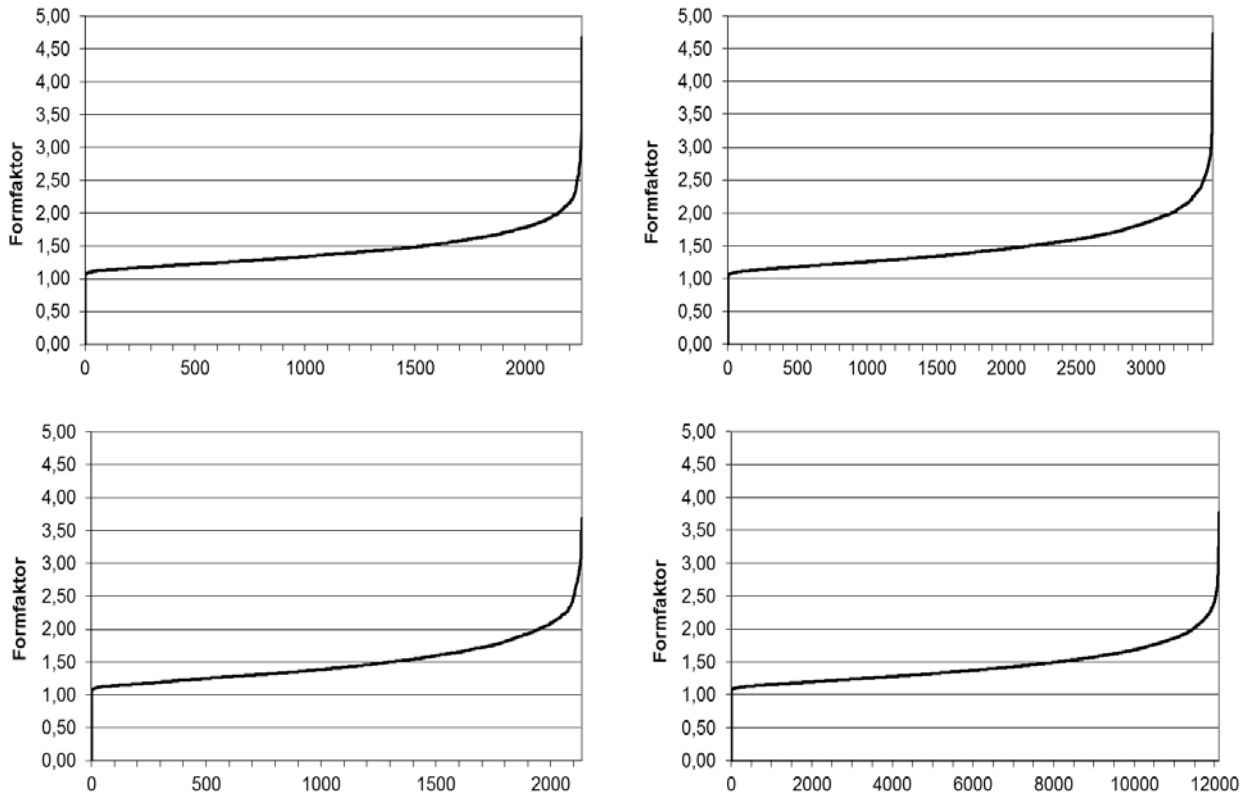
Tabell 3. Andelen block med $F > 1,4$ respektive $F > 2,0$ i de studerade kommunerna

	Svalöv	Ronneby	Vingåker	Skellefteå
Antal undersökta block	2 257	3 478	2 135	12 101
Andel block med $F > 1,41$ (%)	43,1	47,3	49,0	43,6
Andel block med $F > 2,00$ (%)	4,7	8,3	8,7	5,2

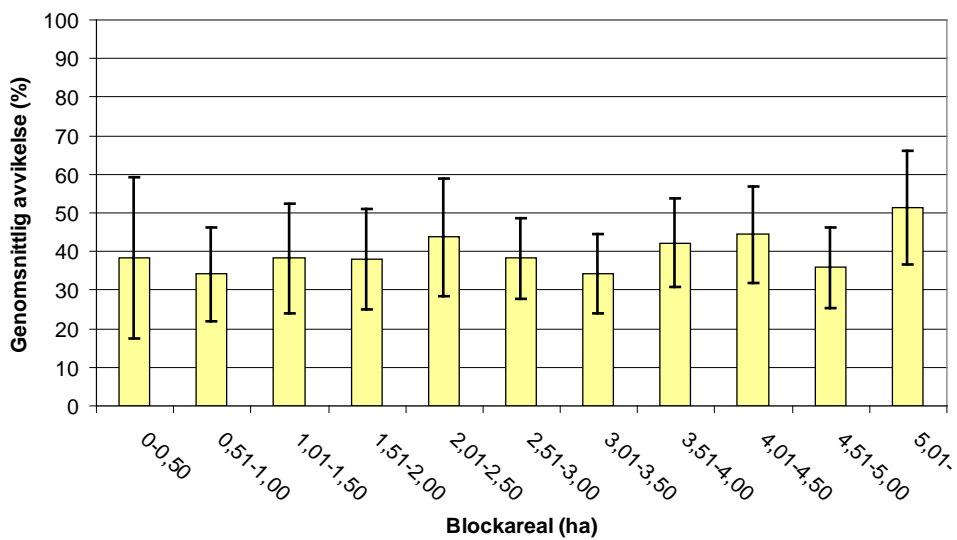
I figurerna 11-14 visas blockens form för olika storleksklasser. För att tydliggöra formens avvikelser från den cirkulära ytans referensvärde (F_c), redovisas resultaten som $(F - F_c)/F_c$ (i procent), dvs. hur mycket F avviker procentuellt från värdet $F_c = 1,00$. För t.ex. ett rektangulärt block med längd:bredd-förhållandet 4:1 och $F = 1,41$, blir avvikelserna 41 %.

I figur 11 visas resultatet för samtliga åkermarksblock i Svalövs kommun. Formfaktorn var högst för de stora blocken, dvs. omkretsen var relativt sett större för de större blocken (observera att blocken större än 5,00 ha har en kraftig dominans i kommunen, se figurerna 1-2). För blocken $\leq 5,00$ ha ligger den genomsnittliga avvikelserna på knappt 40 % ($F = 1,4$), vilket t.ex. motsvarar ett rektangulärt skifte med längd:bredd-förhållandet 4:1. Standardavvikelsen var högst för de minsta blocken, dvs. variationen var störst för dessa block.

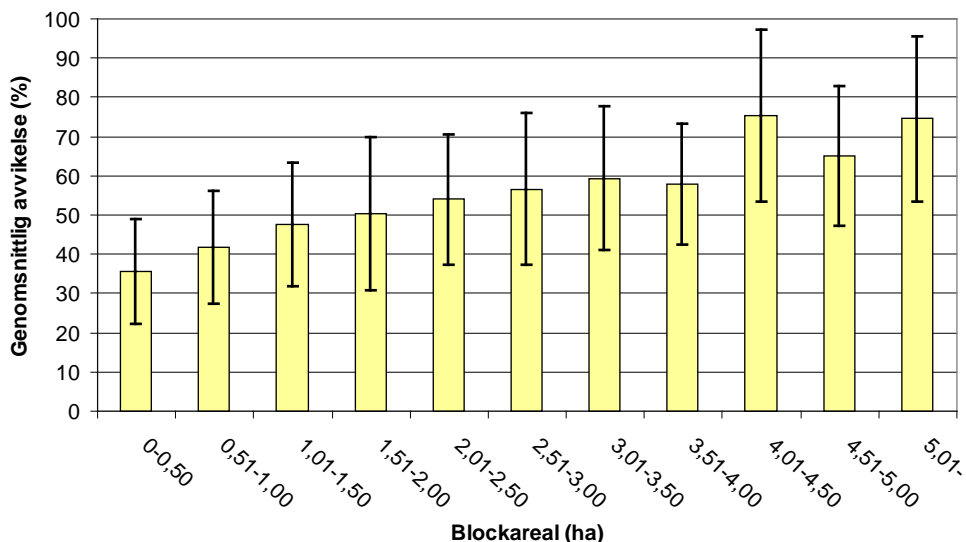
I Ronneby kommun fanns en mer tydlig tendens till ökande genomsnittlig formfaktor ju större blockarealen blev (se figur 12). För små block var avvikelserna runt 40 % ($F = 1,4$), medan den var runt 70 % ($F = 1,7$) för stora block. Standardavvikelsena var 30-40 procentenheter, medan variationskoefficienten (uttryckt som standardavvikelsens andel av genomsnittet) varierade från 74 % för de minsta blocken till 57 % för block med areal $> 5,00$ ha.



Figur 10. Formfaktorn F för åkermarksblocken i Svalövs (överst t v), Ronneby (överst t h), Vingåker (nederst t v) och Skellefteå (nederst t h) kommuner. Formfaktorn har sorterats efter stigande värde.

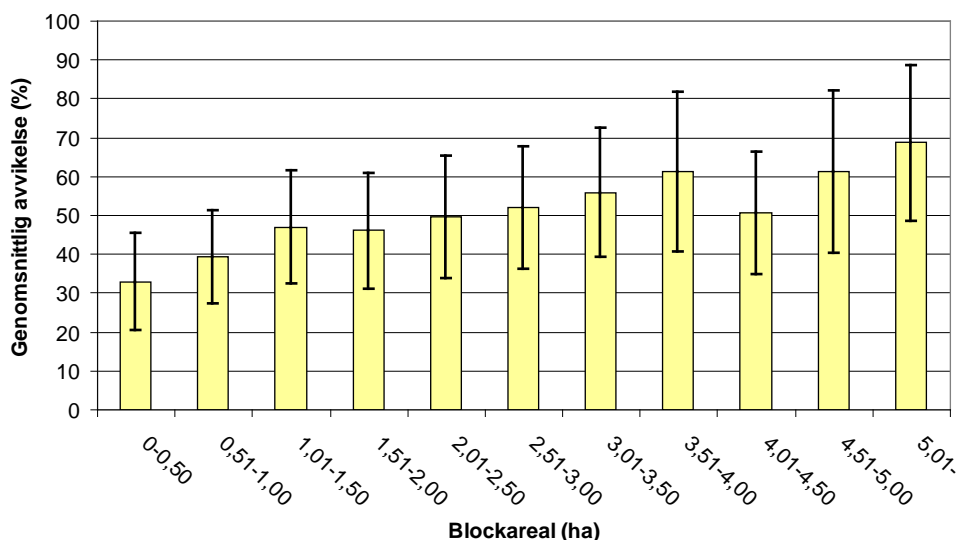


Figur 11. Formfaktorns genomsnittliga avvikelse från $F_c=1,00$ (de lodräta linjerna visar standardavvikelsen) för åkermarksblocken i Svalövs kommun, fördelade efter blockarealen. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.



Figur 12. Formfaktorns genomsnittliga avvikelse från $F_c=1,00$ (de lodräta linjerna visar standardavvikelsen) för åkermarksblocken i Ronneby kommun, fördelade efter blockarealen. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

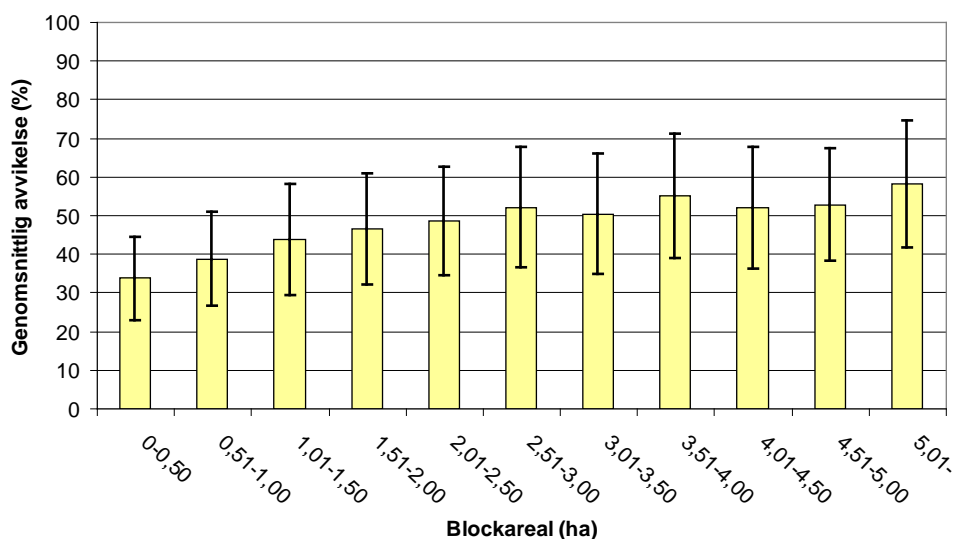
Även blocken i Vingåkers och Skellefteå kommuner uppvisar en högre grad av ”oregelbundenhet” ju större arealen blir (figurerna 13-14). För små block ($\leq 0,50$ ha) var den genomsnittliga formfaktorn ca 1,33 för båda kommunerna, medan den för stora block ($>5,00$ ha) var knappt 1,7 i Vingåkers kommun och knappt 1,6 i Skellefteå kommun. Variationen inom de olika storleksklasserna (standardavvikelsen) var generellt något högre i Vingåkers kommun.



Figur 13. Formfaktorns genomsnittliga avvikelse från $F_c=1,00$ (de lodräta linjerna visar standardavvikelsen) för åkermarksblocken i Vingåkers kommun, fördelade efter blockarealen. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

Denna jämförelse har visat på de generella svårigheterna med att beskriva vad som menas med ett ”oregelbundet” skifte. En viktig begränsning för formfaktorns praktiska användbarhet är t.ex. att ett värde nära 1 visserligen indikerar ett ”kompakt” (cirkulärt) skifte, men detta

behöver inte betyda att maskinernas körmonster blir effektivast på ett sådant skifte. Ett mycket avlångt rektangulärt skifte med raka och ”lättkörda” kördrag, t.ex. en skyddszon, får däremot ett mycket högt värde på F , vilket alltså kan vara missvisande med avseende på hur lättbrukat skiftet eventuellt är. Andra alternativa sätt att beskriva fältens oregelbundenhet är t.ex. att beräkna antalet hörn eller spetsar (vertex) i den GIS-baserade polylinje som omsluter skiftet (Amiama *et al.*, 2008; Gonzalez *et al.*, 2004). Dessa data kan dock vara svårare att få tag på, och det är heller inte säkert att man med hjälp av dessa får ett bättre mått på hur ”svårbrukat” skiftet är.



Figur 14. Formfaktorns genomsnittliga avvikelse från $F_c=1,00$ (de lodräta linjerna visar standardavvikelsen) för åkermarksblocken i Skellefteå kommun, fördelade efter blockarealen. Källa: bearbetning av data från Jordbruksverket.

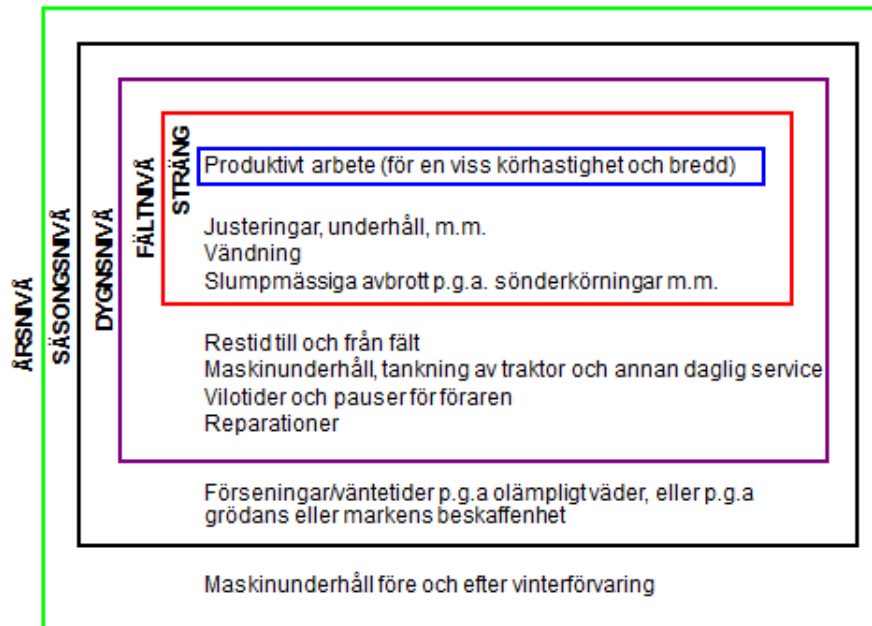
Med hjälp av formfaktor-begreppet visades att omkretsen generellt blev längre relativt arealen ju större blocken blev. Detta kan verka något överraskande, men i dagens jordbruk är de flesta små flikiga åkerfälten redan ”utgallrade” från gårdsstödssystemet. Om de fortfarande inte är igenväxta, så har de istället ofta övergått till att bli betesmark. Ett krav för att små fält fortfarande ska anses vara brukningsvärda som åkermark är att de åtminstone har en form som förenklar arbetet. Detta synsätt tycks vara allmänt i hela landet. För de minsta blocken ($\leq 0,50$ ha) var den genomsnittliga formfaktorn ungefär samma för alla kommuner (runt 1,35), medan standardavvikelsen varierade mer (drygt 20 %-enheter för Skellefteå i figur 14 till drygt 40 %-enheter för Svalöv i figur 11). Däremot skiljer sig gränsen för vad som är ett ”litet” block stort i landet beroende på hur stor andelen av den aktuella storleksklassen är i förhållande till övriga storleksklasser (i antal och areal).

Stora block som gränsar till annan mark än åkermark behåller ofta den flikighet längs kanten som en gång fanns innan strukturrationaliseringen. I och med att blocken nu har blivit stora genom sammanslagningar, så får dock denna flikighet mindre relativ betydelse för hur lättbrukat blocket blir. I slättbygder, t.ex. i Svalöv, där blocken i större utsträckning gränsar till andra åkermarksblock, finns ofta inte denna flikighet, eftersom gränserna här till stor del utgörs av raka fastighetsgränser. Detta bör också vara förklaringen till varför den genomsnittliga formfaktorn för stora block ($>5,00$ ha) är lägst ($F=1,51$) i Svalövs kommun. I mellanygder där de stora åkermarksblocken i högre grad gränsar till skogsmark, blir den genomsnittliga formfaktorn däremot högre (t.ex. $F=1,74$ i Ronneby kommun för block $>5,00$ ha).

3. MODELLERING AV TIDSÅTGÅNGEN FÖR FÄLTARBETEN

3.1. Översiktlig systembeskrivning

Den tid det tar att utföra en viss arbetsuppgift är beroende av vilken systemnivå man studerar. För olika arbeten i jordbruket kan systemnivån omfatta allt från själva utförandet av en arbetsoperation i kördraget eller i strängen på fältet, till en årsnivå, innehållande exempelvis säsongsvisa förberedelser, se figur 15.



Figur 15. Olika systemnivåer vid modellering av jordbruksarbeten, i detta fall pressning av balar (ritat efter Witney, 1995).

Simuleringarna i detta projekt genomfördes för systemnivån ”fältnivå”. Maskinernas arbets-effektivitet på denna nivå (E_f (field efficiency)) kan generellt beskrivas av (Hunt, 2001)

$$E_f = \frac{t_e}{t_e + \sum_i (t_d)_i} \quad (2)$$

där t_e representerar den effektiva arbetstiden och $(t_d)_i$ den icke-produktiva tiden, som i sin tur kan delas in i:

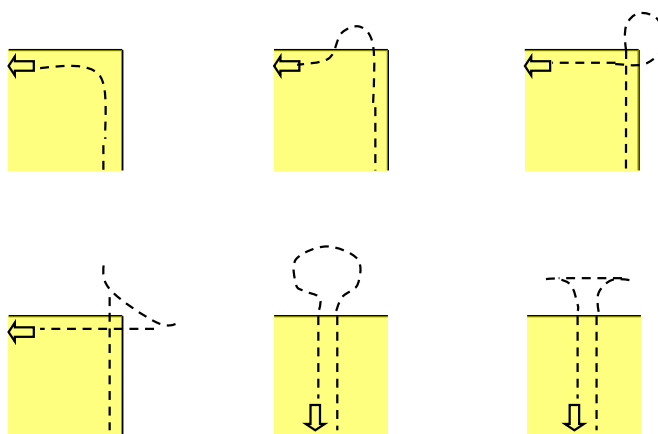
- tid för förberedelser (i fält)
- tid för (planerat) underhåll (i fält)
- tid för maskinjusteringar
- tid för vändningar
- tid för sönderkörningar/stopp och reparation
- tid för lastning och avlastning (vid ett materialflöde mellan olika maskintyper)
- tid för transporter inom fältet
- väntetid för olika ”service”-maskiner, t.ex. tröska med full spannmålstank som väntar på att kunna tömma spannmålen i ledigt vagnsekipage

Värdena på E_f för olika fältoperationer varierar normalt från 50 % till 90 % (Hunt, 2001). Variationerna i det produktiva arbetet t_e beror på maskinernas maximala tekniska kapacitet, förarens skicklighet och erfarenhet, grödans och markens beskaffenhet, m.m. (Bochtis *et al.*, 2010). Exempel på körhastigheter för slåttermaskiner, fälthackar och rundbalspressar är 7-10 km/tim, 4-6 km/tim respektive 5-8 km/tim (Witney, 1995).

Den icke-produktiva tiden t_d på fälten kan delas upp i två kategorier: planerade (deterministiska) avbrott och slumpmässiga oplanerade (stokastiska) avbrott. Tiden för ”planerade” avbrott, t.ex. för fältförberedelser, underhåll och maskinjusteringar, är framförallt beroende av maskintypen och maskinens ålder (förslitning, m.m.). Denna tidsåtgång har vanligen ingen direkt koppling till grödans avkastning och fältens storlek och form. Däremot finns det indirekta kopplingar till systemnivån (dygnsnivån enligt figur 15); exempelvis medför många små fält att denna tidsåtgång blir stor relativt sett.

Vändningar och svängar är en typ av nödvändiga men icke-produktiva ”planerade avbrott”. Den totala tiden för vändningar och svängar på ett skifte är starkt beroende av fältens storlek och form, men också av maskinernas storlek och manövrerbarhet. På små och oregelbundna skiften kan tiden för vändningar och svängar få stor betydelse för arbetseffektiviteten. För ett skifte på 2 ha kan denna tid exempelvis vara i storleksordningen 50 % av den effektiva tiden t_e (Witney, 1995).

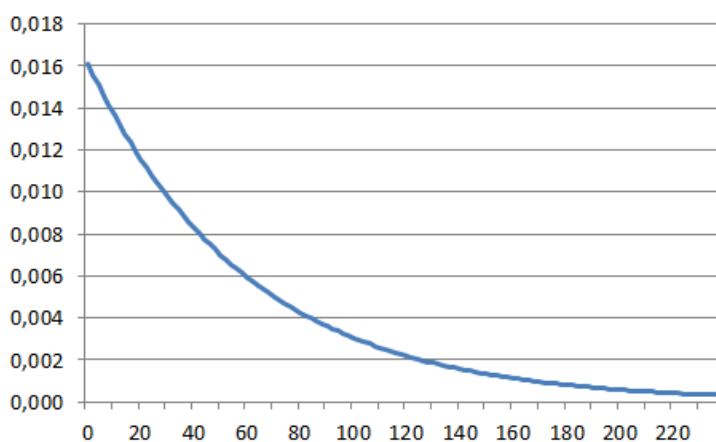
Vändningar och svängar kan utföras på olika sätt (figur 16). Vid slåtter är backsvängar oftast lämpligast i trubbiga och räta hörn, medan öglesvängar ofta är bäst i spetsiga hörn. För fälthackar är öglesvängar lämpliga för att undvika överblåsning (Eriksson & Zetterberg, 1984). Att utföra öglesvängar tar i storleksordningen 20 sekunder, medan backsvängar tar runt 30 sekunder (Witney, 1995).



Figur 16. Rundsväng, ”fyrkant”-sväng och öglesväng (överst från vänster till höger), samt backsväng, öglevändning och backvändning (nederst från vänster till höger). Källa: ritat efter Witney (1995).

Oplanerade avbrott av slumpmässig karaktär kan bero på en mängd olika faktorer. De vanligaste är att något i maskinen går sönder, att man oavsiktligt kör på något (stenar, kvarglömda saker, etc.), att körhastigheten tillfälligt blir för hög i förhållande till grödans avkastning och att maskinen därmed inte hinner med att bearbeta materialet, m.m. Slumpmässiga avbrott p.g.a. att maskinen går sönder utgör i storleksordningen 5 % av den använda

tiden (Witney, 1995). Tiden mellan slumpmässiga avbrott, samt deras varaktighet, kan beskrivas med hjälp av exponentialfördelningar (EXP(medelvärde), se figur 17), som generellt har visat sig vara lämpliga för att modellera tiden mellan slumpmässiga händelser av denna typ (Kelton *et al.*, 2007).



Figur 17. Täthetsfunktionen för en exponentialfördelning som antas beskriva tiden mellan avbrott vid t.ex. pressning av energigräs. Medelvärdet är i detta fall 60 min (1 timme). Sannolikheten för korta tider mellan avbrotten är stor, men det kan också förekomma mycket långa tider mellan dem.

Tiden för påfyllning/tömning (av t.ex. utsäde och gödsel), hopsamling/lastning (av t.ex. balar), transporter inom fältet, väntetid på andra maskiner, m.m. beror till stor del av hur arbetet planeras och organiseras. Det finns mycket stora tidsvinster att göra om maskinkedjorna anpassas både efter de ingående maskinernas kapacitet och efter de yttre förutsättningarna, t.ex. transportavstånden mellan skifte och gård/lager (Witney, 1995).

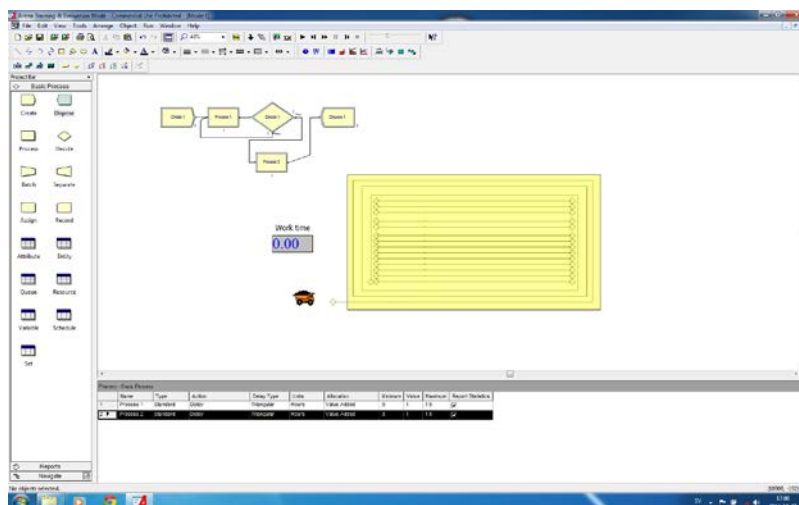
Själva körmönstret på ett skifte kan se ut på en mängd olika sätt, bl.a. beroende på vilken arbetsoperation som utförs och på skiftets storlek och form. Vid t.ex. slåtter av gräs börjar man vanligen med att först köra ett antal varv runt skiftet tills man fått en tillräckligt bred vändteg, och därefter fortsätter man att köra dragen i den återstående tegan från ytterkanterna (långsidorna) och inåt (vid små skiften), eller så delar man upp den återstående tegan i mindre delar, och tar dessa en i taget (större skiften). För en översikt av olika körmönster, se t.ex. Eriksson och Zetterberg (1984) och Witney (1995).

3.2. Simuleringsmetod

Tidsåtgången för olika maskinarbeten på fält med varierande storlek och form togs fram med hjälp av ett datorbaserat simuleringsprogram. Programmet, som heter Arena, kan användas för att simulera såväl dynamiska som händelsestyrda förlopp (Kelton *et al.*, 2007) (dynamiska förlopp innebär att tillståndet i ett system inte bara styrs av hur yttre faktorer ser ut i nuläget utan också av hur tillståndet har varit tidigare (systemet har ett "minne"), medan händelsestyrda förlopp bl.a. innebär att olika slumpmässiga händelser påverkar systemets tillstånd). Utifrån en viss effektiv maskinbredd, ritades körmönster ut på fälten som maskinerna sedan skulle följa.

Körmönstret modellerades med hjälp av länkar (L ; "links") och noder (I ; "intersections") i Arena (Kelton *et al.*, 2007). I Arena (figur 18) kan man modellera maskinernas rörelser på fälten på en mängd olika sätt. I denna studie valdes en metodik som framförallt bygger på

modellmodulerna ”intersections”, ”links” och ”transporters”. De två första beskriver ”lay-outen” av körmönstret på fältet, medan den sista beskriver själva föremålet som förflyttar sig.



Figur 18. Exempel på hur det kan se ut vid animering av fältarbete i Arena.

”Intersections” representerar de noder som finns i körmönstret, t.ex. vid tvära svängar och vid vändningar på vändtegar, då körhastigheten förändras. I modellmodulen ”intersections” specificerar man bl.a. sträckans (nodens) längd och hur stor (den genomsnittliga) hastigheten är i svängen/vändningen. ”Links” representerar sträckan mellan noderna, då maskinerna utför sitt egentliga arbete. För varje ”link” specificerar man bl.a. vilka noder (”intersections”) som finns i ändpunkterna, hur lång sträckan är, vilken körhastighet maskinen har, m.m. I modulen ”transporters” beskrivs maskinens rörelser när den arbetar på fältet. I denna modul anges vilken ”karta” (väg) maskinen ska följa, vilken körhastighet den ska ha, vilken acceleration och retardation den ska ha vid start/inbromsning, vilken hastighet den ska ha vid svängar, vilken position den har vid start, vilket utrymme den kräver (maskinens längd), m.m.

Planerade och oplanerade avbrott modelleras med hjälp av modellmodulen ”delay”, som innebär att maskinen upphör med sitt arbete under den tidsrymd som finns specificerad i modulen. Två typer av planerade avbrott är medtagna i modellen för fältarbetet: klargöring, inställningar/justeringar och mindre underhåll varje gång maskinen kommer till ett nytt skifte, samt omkoppling och mindre underhåll när maskinen ska lämna skiftet. Tidsåtgången för dessa stopp antas enbart bero på maskintyp och arbetets art, och inte exempelvis på skiftets storlek och form. Tiden mellan och själva varaktigheten för slumpmässiga avbrott modelleras med hjälp av sannolikhetsfördelningar (exponentialfördelningen).

Längre personliga pauser, avbrott p.g.a. skiftningar av väder, m.m. har inte tagits med, eftersom denna modell endast är avsedd för simuleringar på fältnivå (se figur 15). Även om simuleringarna på fältnivå inte heller omfattar transporterna till och från fältet, så har en enkel modell tagits fram i detta projekt för att beskriva lokaliseringen av aktuella fält samt transportavstånden mellan dem samt mellan fälten och en tänkt förädlare/användare av produkten. De indata man behöver är de första sju siffrorna i blockens identitetsnummer, se vidare i bilagorna B och C.

I simuleringarna antogs ett körmönster som innebär att man först kör ett antal drag runt skiftet tills man har fått en tillräckligt bred vändteg. Därefter kör man ”drag i drag” på den återstående tegen tills hela arealen har blivit ”bearbetad”. Några andra alternativa körmönster har inte undersökts, eftersom syftet endast var att jämföra fält med olika storlek och form.

4. SIMULERING AV MASKINARBETEN PÅ REKTANGULÄRA SKIFTEN

4.1. Förutsättningar och antaganden

För rektangulära skiften, inklusive kvadratiska, beskrivs fältformen av längden (l), bredden (b) och formfaktorn (se ekvation 1)

$$F = \frac{l + b}{\sqrt{\pi bl}} \quad (3)$$

Kördragens längd har beräknats enligt följande metod. Längden på skiftets första länk L_1 är skiftets längd l minus halva maskinens effektiva arbetsbredd M_e (se figur 19)

$$L_1 = l - 0,5M_e \quad (4)$$

Längden på länk nr 2 och de följande länkarna i längs kortsidorna blir

$$L_i = b - (i/2)M_e \quad i = \{2,4,6,\dots,4n\} \quad (5)$$

där n betecknar antalet kördrag på vändtegen. Längden på länk nr 3 och på de efterföljande kördragen längs skiftets långsidor blir

$$L_i = l - \left(\frac{i}{2} - 0,5\right)M_e \quad i = \{3,5,7,\dots,4n+1\} \quad (6)$$

(för att vara exakt, så beskrivs längden på sista vändtegrundedraget med minus 1 istället för minus 0,5 i parentesen). När man kört runt skiftet det antal varv som motsvarar valet av n , blir längden av kördragen i den återstående tegen

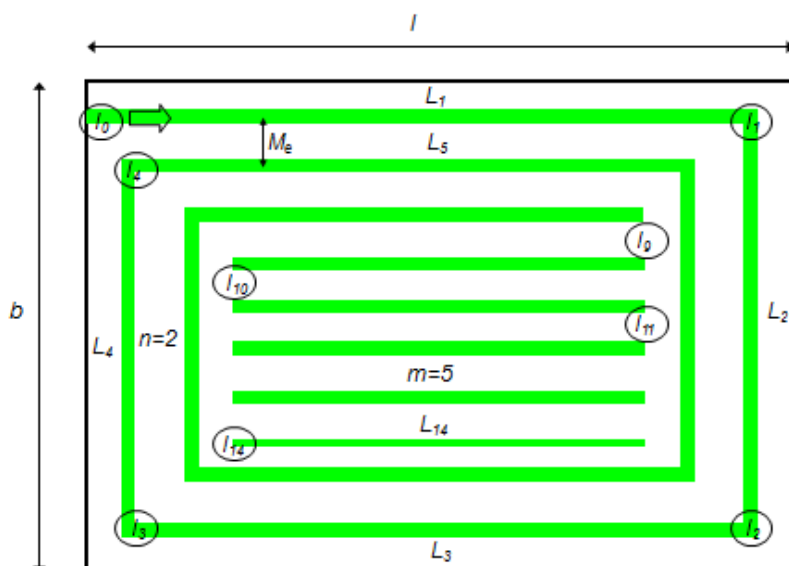
$$L_i = l - 2nM_e \quad i = \{4n+2,4n+3,\dots,m\} \quad (7)$$

där m är totala antalet kördrag ($[]$ i uttrycket nedan betecknar heltalsdelen):

$$m = (4n+1) + [(b - (2n+1)M_e)/M_e] + 1 = [b/M_e] + 2n + 1 \quad (8)$$

Antalet noder blir totalt $m+1$, varav $1+4n+1 = 4n+2$ är knutna till ytterdragen (om sista vändtegrundedraget, t.ex. L_9 i figur 19, räknas med).

Simuleringar gjordes för fält med längd:bredd-förhållandena 1:1 (kvadratiska), 2:1 och 4:1 med arealerna 0,5 ha, 1,0 ha, 1,5 ha, 2,5 ha, 5,0 ha och 15,0 ha, de effektiva maskinbredderna 1,0 m, 2,0 m, 4,0 m, 12,0 m och 24,0 m, samt med maximala körhastigheterna 4,0 km/tim, 8,0 km/tim, 12,0 km/tim och 16,0 km/tim. Jämförelsen inkluderar såväl små kvadratiska skiften som stora och avlånga skiften. I tabell 4 visas skiftenas formfaktorer och mått.



Figur 19. Ett rektangulärt fält med längden l och bredden b . En maskin med den effektiva arbetsbredden M_e bearbetar grödan med n st vändtegsdrag och m st friliggande tegdrag. Körmönstret beskrivs av ett antal noder (intersections I) och länkar (links L).

Tabell 4. Formfaktor och längd (m) x bredd (m) för de rektangulära fältformer (beskrivna av längd:bredd-förhållandet) och arealer som har simulerats

Form	Formfaktor	0,5 ha	1,0 ha	1,5 ha	2,5 ha	5,0 ha	15,0 ha
1:1	1,13	71x71	100x100	122x122	158x158	224x224	387x387
2:1	1,20	100x50	141x71	173x87	224x112	316x158	548x274
4:1	1,41	141x35	200x50	245x61	316x79	447x112	775x194

Övriga förutsättningar vid simuleringarna beskrivs i tabell 5. Bredden på vändtegar på skiftena var normalt 12 m för skiften med arealen 0,5-5,0 ha, medan den var 16 m för skiften på 15,0 ha, med förbehållet att vändtegsdragen inte fick vara kortare än 5 x maskinens effektiva arbetsbredd (dock minst en vändtegsrunda på varje skifte). För $M_e = 24,0$ m var dock vändtegsbredden alltid 24,0 m.

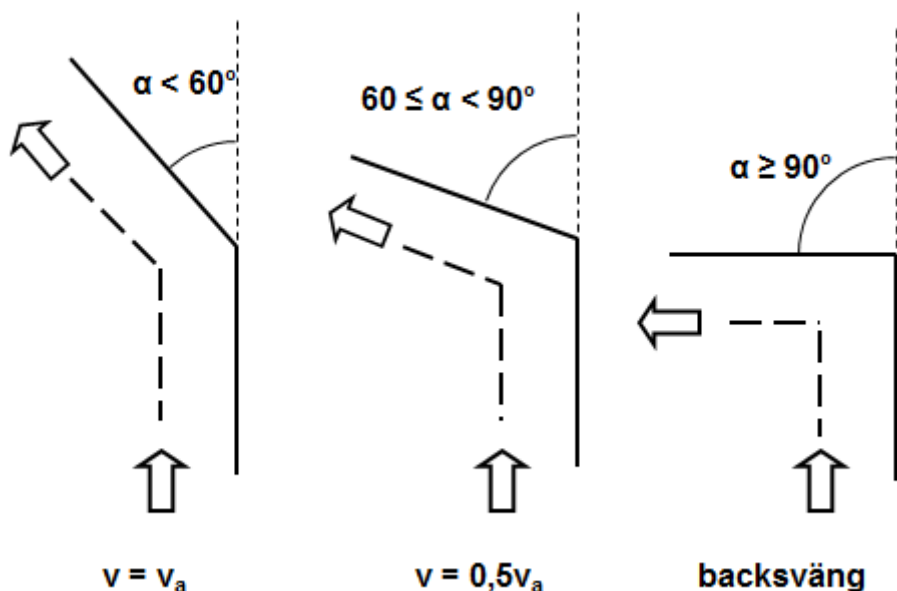
Olika körhastigheter antogs för svängar (t.ex. för vändtegsdrag med en "spetsighet" på svängvinkeln ned till min 90° och med maskinen i arbete, se figur 20) och för vändningar (t.ex. vid byte av tegdrag och maskinen ej i arbete). Tiden för backsvängar och öglevändningar antogs vara $3/4$ av de värden som anges av Witney (1995) (30 sek resp. 20 sek, dvs. antagen tid 22 resp. 15 sek) efter avdrag för retardationstiden. Här antogs samma inbromsningssträcka (5 m) för alla hastigheter. Vid ökning av körhastigheten antogs maskinerna även ha en viss accelerationssträcka (10 m). Vid ev. "tomkörning" tillbaka till ursprungsplatsen när skiftet var klart antogs en hastighet på 8 km/tim när maximal körhastighet i fält var 4 km/tim. Vidare förutsattes det att tiden mellan slumpmässiga avbrott, och avbrottens varaktighet, kunde beskrivas av en exponentialfördelning med väntevärdena 30 respektive 3 minuter.

För att ta hänsyn till de slumpmässiga variablerna i modellen, gjordes 30 simuleringar för varje alternativ. Resultaten visas som medelvärden för dessa 30 simuleringar. Vid simuleringarna har gemensamma slumpantal (s.k. "common random numbers") använts som variansreducerande metod. (Med tanke på studiens syfte, hade tiden mellan de slumpmässiga av-

brotten och deras varaktighet också kunnat behandlas som deterministiska variabler, varmed modellen hade varit av statisk natur).

Tabell 5. Antagna värden vid simuleringarna

Variabel	Antaget värde
Fältformer	1:1, 2:1, 4:1
Fältarealer (A)	0,5 ha, 1,0 ha, 1,5 ha, 2,5 ha, 5,0 ha, 15,0 ha
Maskinens effektiva arbetsbredd (M_e)	1,0 m, 2,0 m, 4,0 m, 12,0 m, 24,0 m
Maximal arbetshastighet (v_a) i kördragen	4,0 km/tim, 8,0 km/tim, 12,0 km/tim, 16,0 km/tim
Vändtegsbredd	12,0 m, 16,0 m för $A=15,0$ ha, 24,0 m för $M_e=24,0$ m
Ställtid på fältet före arbetets påbörjande	$M_e=24,0$ m
Arbetshastighet i ytterdragen (runt hela skiftet)	2 min/skifte + 2 min/5 ha
Arbetshastighet i svängar $\alpha < 60^\circ$, maskinen i arbete	$0,75v_a$ v_a (oförändrad körhastighet)
Arbetshastighet i svängar $60 \leq \alpha \leq 90^\circ$, maskinen i arbete	$0,5v_a$
Tid för svängar $\alpha \geq 90^\circ$, maskinen ej i arbete	backsväng; 22 sek (exkl retardation och acceleration)
Tid för vändningar, maskinen ej i arbete	öglevändning; 15 sek (exkl retardation och acc.)
Retardation (d) vid minskning av arbetshastighet (v_a)	$d = -\Delta v / (\Delta s / ((v_a + v) / 2))$, inbromsn.sträcka $s = 5$ m
Acceleration (a) vid ökning av arbetshastighet (v_a)	$a = \Delta v / (\Delta s / ((v_a + v) / 2))$, acc.sträcka $s = 10$ m
Tid mellan slumpmässiga avbrott	exponentialfördelning med väntevärde 30 min
Varaktighet slumpmässiga avbrott	exponentialfördelning med väntevärde 3,0 min
Ställtid på fält (inkl. kort paus) efter arbetets avslutande	3 min

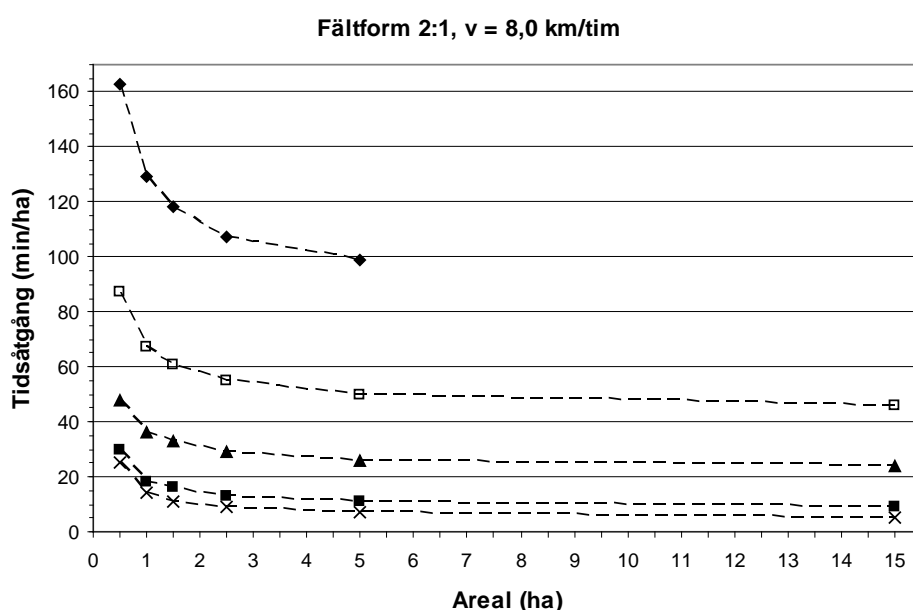


Figur 20. Antagna hastighetsförändringar vid svängar. Samma hastighetsförändringar antogs gälla oavsett om maskinen svänger åt vänster (+a) eller åt höger (-a).

4.2. Resultat och diskussion

Resultaten från simuleringarna visas i tabellerna A1-A5 i bilaga A. Några exempel på diagram som illustrerar skillnaderna visas i figurerna 21-23.

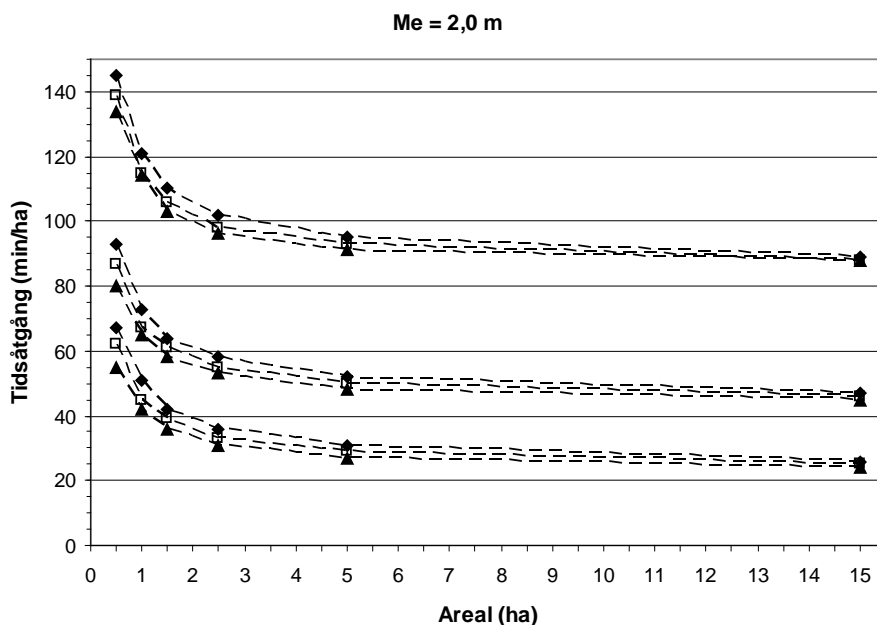
I figur 21 visas tidsåtgången, uttryckt i minuter per ha, för olika effektiva maskinarbetsbredder som funktion av arealen på fält med formen 2:1 och med en maximal körhastighet på 8,0 km/tim. Från en areal på ca 5 ha sker ingen större förändring av tidsåtgången ju större fälten blir. För fält på 5 ha sker nästan en halvering av tidsåtgången när maskinarbetsbredden dubblas från 1,0 m till 2,0 m, och från 2,0 m till 4,0 m. För större arbetsbredder blir tidsvinsten, relativt sett, allt mindre ju bredare maskinen blir. För fält på 0,5 ha blir tidsvinsten något mindre procentuellt sett när maskinbredden dubblas från 1,0 m till 2,0 m, och från 2,0 m till 4,0 m.



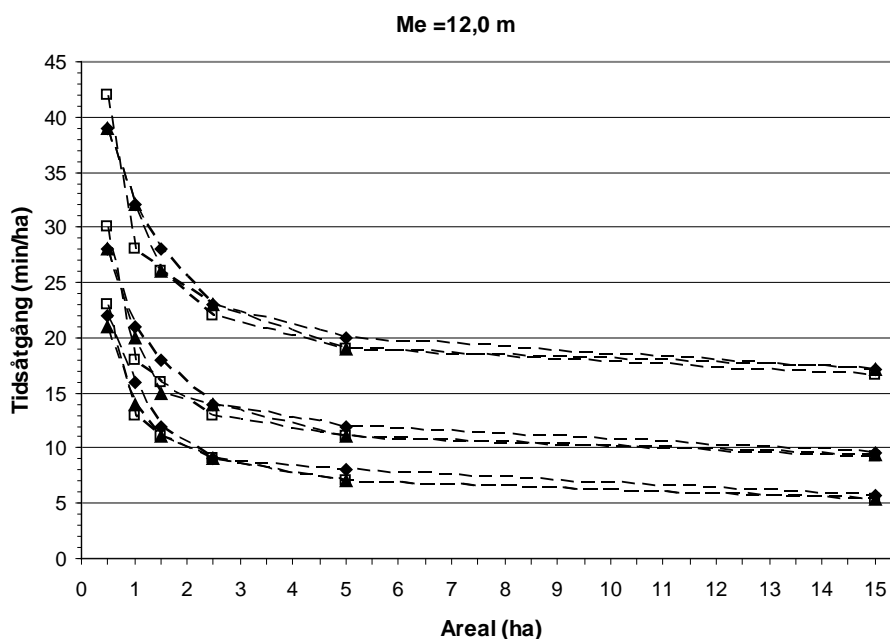
Figur 21. Tidsåtgång för arbetsoperationer (maximal körhastighet 8,0 km/tim) med de effektiva arbetsbredderna 1,0 m (◆), 2,0 m (□), 4,0 m (▲), 12,0 m (■) och 24,0 m (X) som funktion av skiftesarealen (fältformen var 2:1).

I figur 22 visas tidsåtgången för olika maximala körhastigheter och fältformer som funktion av arealen för ett arbetsredskap med den effektiva bredden 2,0 m. På små fält hade en fördubbling av körhastigheten mindre betydelse än för stora fält, där tidsåtgången nästan halverades. Av figuren framgår också att de aktuella hastighetsförändringarna hade större betydelse än de gjorda förändringarna i fältform.

Ju bredare maskinerna är, desto större betydelse får eventuella tomkörningsdrag på små fält (figur 23). För en maskin med bredden 12,0 m, blir det inga tomkörningsdrag tillbaka till ursprungsplatsen om fältets bredd är 48 m, men däremot om bredden t.ex. är 50 m. På stora fält får detta, relativt sett, en mindre betydelse.



Figur 22. Tidsåtgång för fältoperationer med en effektiv arbetsbredd på 2,0 m med maximala körhastigheter på 4 km/tim (kurvskaran överst), 8 km/tim (kurvskaran i mitten) och 16 km/tim (kurvskaran underst) för fältformerna 1:1 (◆), 2:1 (□) och 4:1 (▲), som funktion av skiftesarealen.

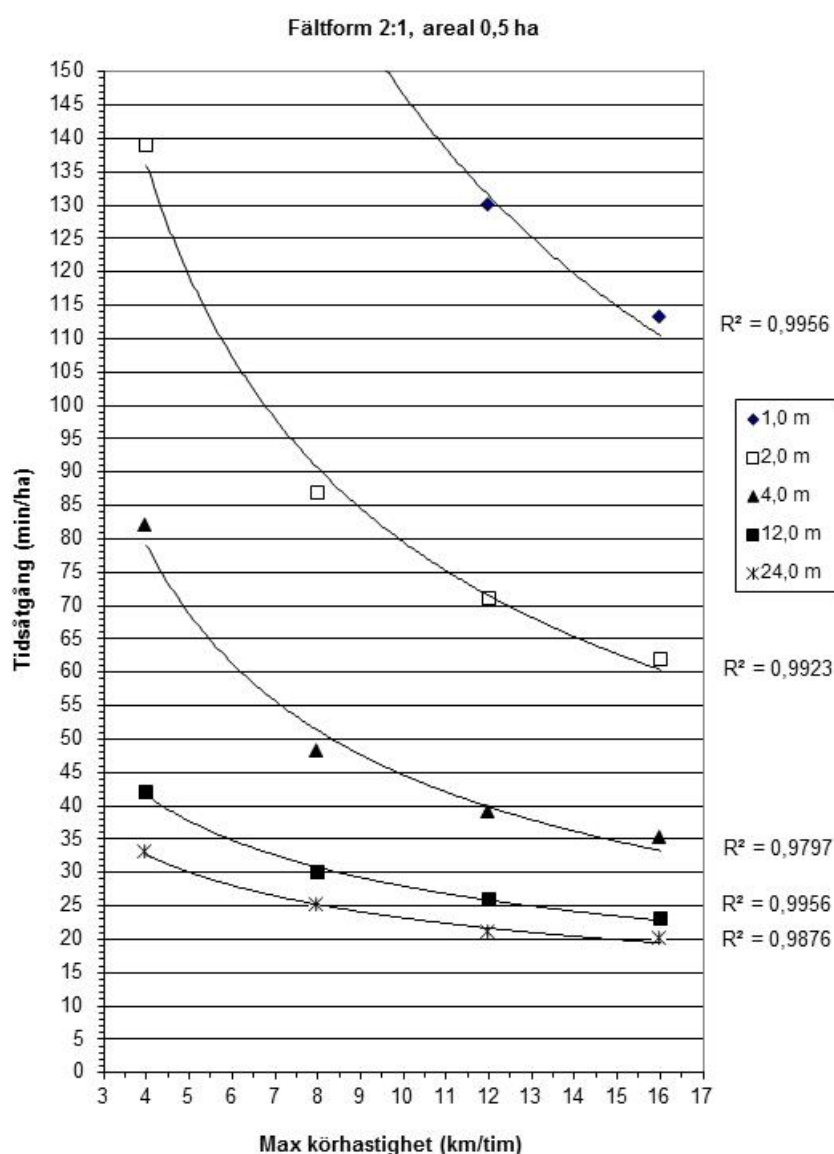


Figur 23. Tidsåtgång för fältoperationer med en effektiv arbetsbredd på 12,0 m med maximala körhastigheter på 4 km/tim (kurvskaran överst), 8 km/tim (kurvskaran i mitten) och 16 km/tim (kurvskaran underst) för fältformerna 1:1 (◆), 2:1 (□) och 4:1 (▲), som funktion av skiftesarealen.

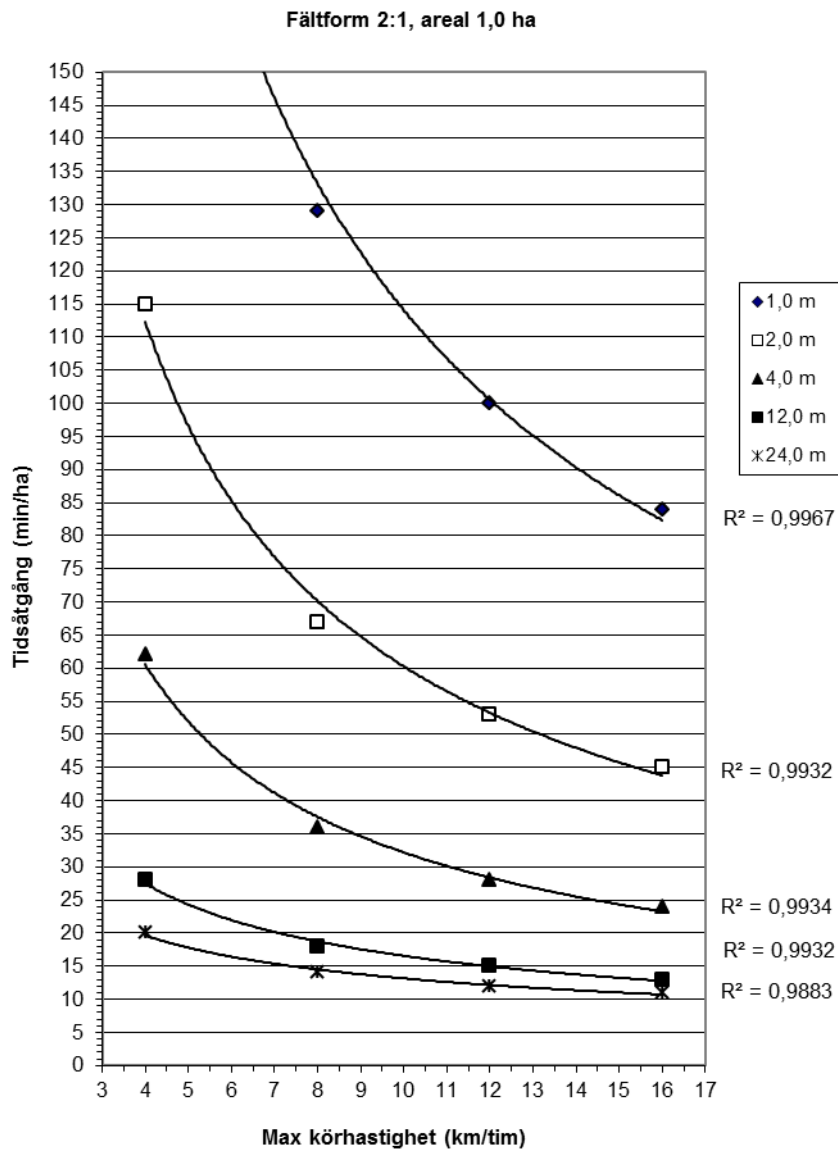
Resultaten kan användas för att uppskatta maskinkapaciteten under olika förhållanden. I många fall anges kapaciteten för olika arbetsoperationer inom jordbruket i termer av antalet ha per timme. Om man t.ex. vet maskinens arbetsbredd, kan man uppskatta den maximala (optimala) körhastigheten vid en given fältform och areal. Den maximala körhastigheten beror

av arbetets art och grödan. Om det är någon form av jordbearbetning har t.ex. jordarten betydelse för hur snabbt man kan köra, och om man bearbetar grödan på något sätt har grödans mängd per ytenhet betydelse för körhastigheten. Den maximala (optimala) körhastigheten kan däremot anses vara oberoende av fältformen och arealen. Ett sätt att ta reda på hur stor kapaciteten skulle vara för en annan areal, antaget att den maximala körhastigheten är densamma, är därför att gå in i tidsåtgång-körhastighets-diagram och läsa av hur stor kapaciteten skulle vara med maskinen för denna areal (figurerna 24-29).

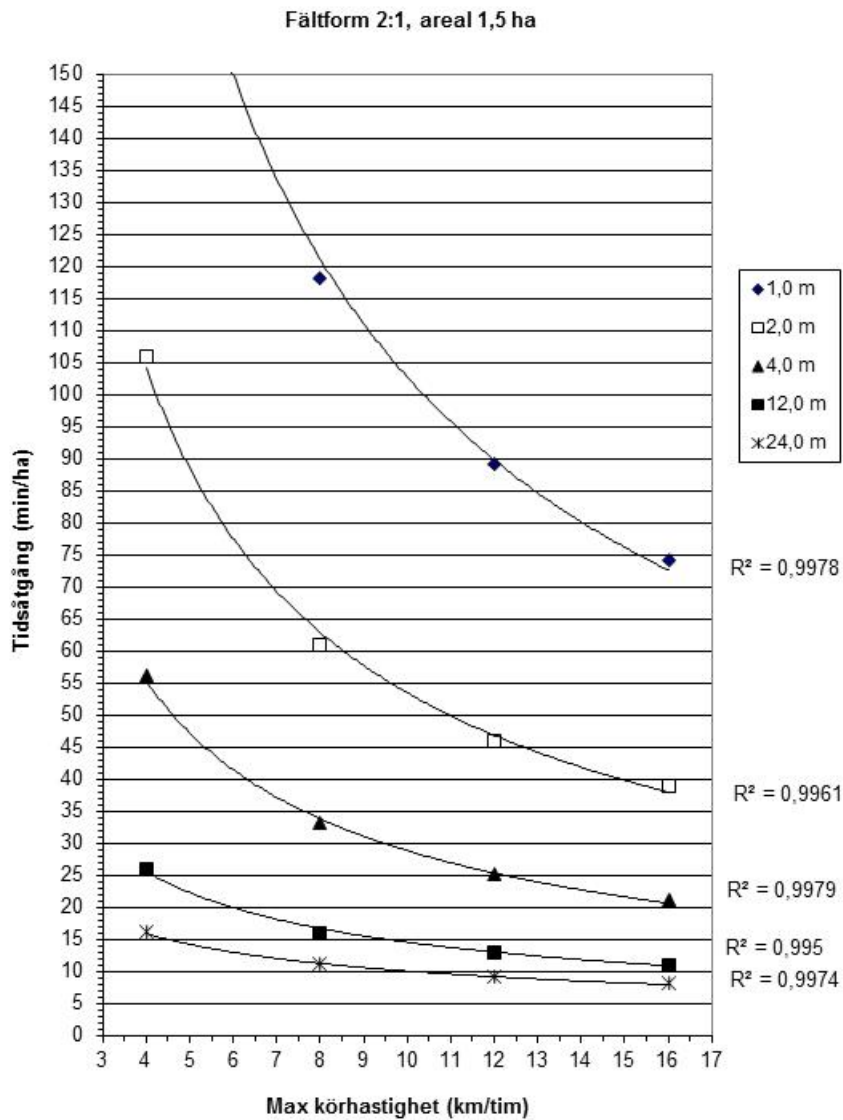
Om t.ex. kapaciteten för en maskin, som har en effektiv arbetsbredd på 4 m, anges vara 2,0 ha/tim, så blir tidsåtgången 30 min/ha. Om denna kapacitet antas gälla för ett fält på 5,0 ha med fältformen 2:1, blir den maximala körhastigheten ca 7 km/tim (se figur 28). Kapaciteten på fält med samma fältform, men med arealerna 0,5 ha och 15,0 ha, blir då drygt 50 min/ha (se figur 24) respektive ca 28 min/ha (se figur 29).



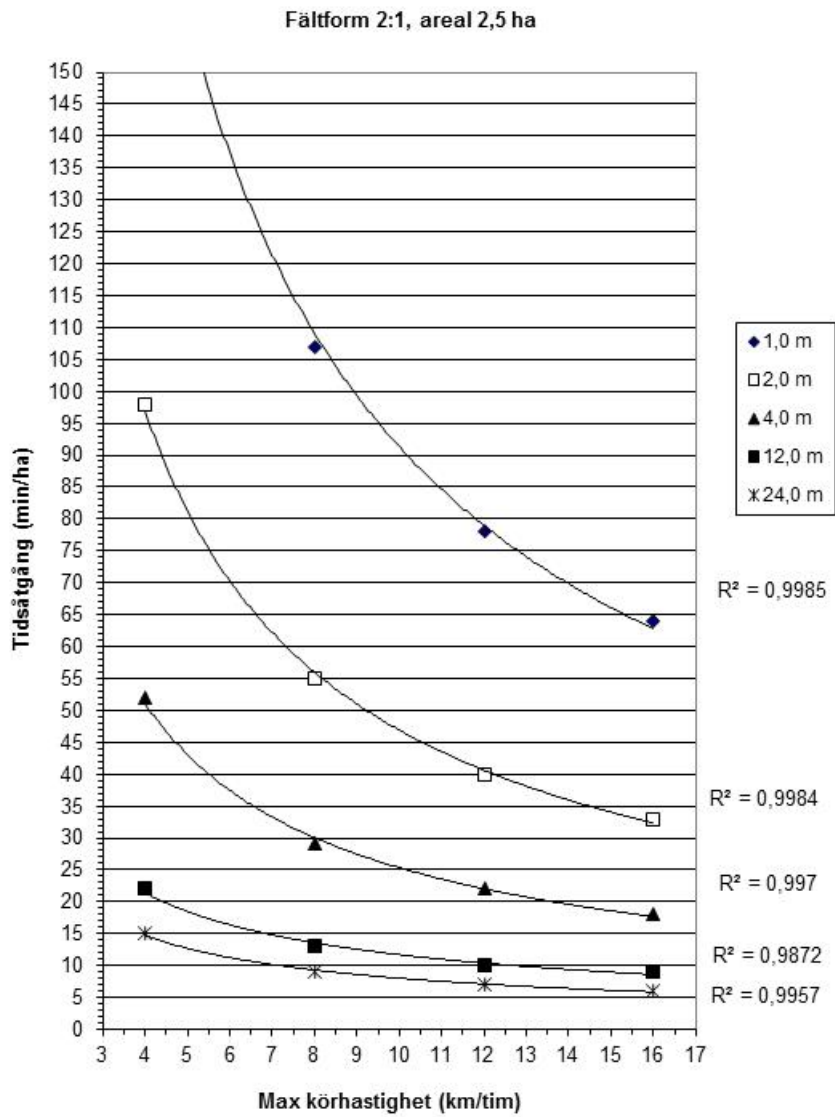
Figur 24. Tidsåtgång för fältarbeten som funktion av maximal körhastighet för olika effektiva maskinbredder (M_e) vid fältformen 2:1 och arealen 0,5 ha. Kurvanpassningen har gjorts för simuleringsresultaten i bilaga A.



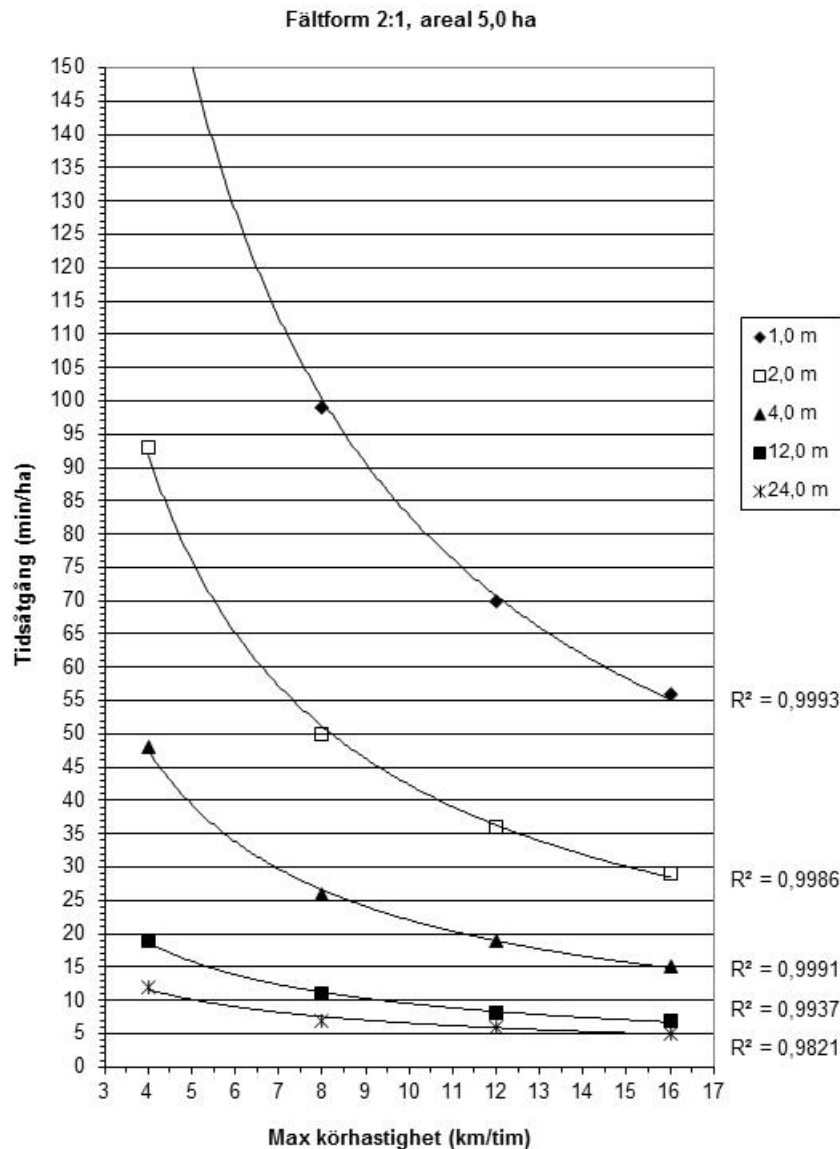
Figur 25. Tidsåtgång för fältarbeten som funktion av maximal körhastighet för olika effektiva maskinbredder (M_e) vid fältformen 2:1 och arealen 1,0 ha. Kurvanpassningen har gjorts för simuleringsresultaten i bilaga A.



Figur 26. Tidsåtgång för fältarbeten som funktion av maximal körhastighet för olika effektiva maskinbredder (M_e) vid fältformen 2:1 och arealen 1,5 ha. Kurvanpassningen har gjorts för simuleringsresultaten i bilaga A.

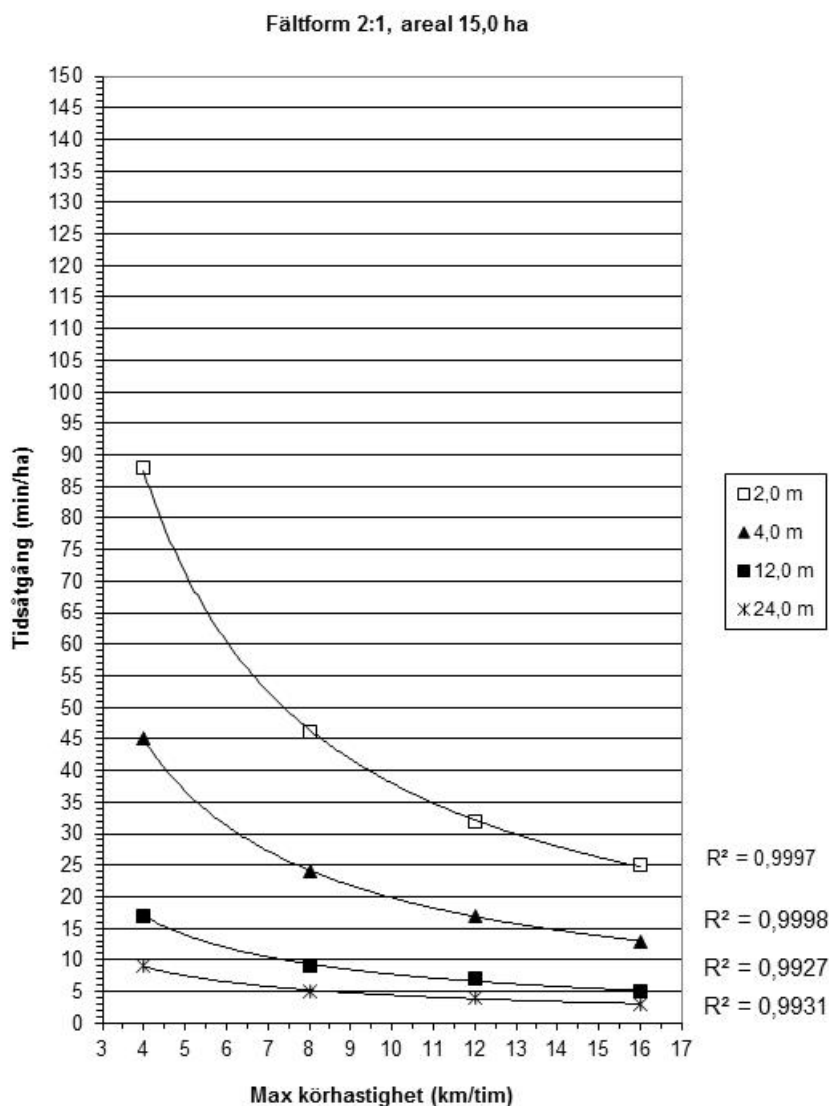


Figur 27. Tidsåtgång för fältarbeten som funktion av maximal körhastighet för olika effektiva maskinbredder (M_e) vid fältformen 2:1 och arealen 2,5 ha. Kurvanpassningen har gjorts för simuleringsresultaten i bilaga A.



Figur 28. Tidsåtgång för fältarbeten som funktion av maximal körhastighet för olika effektiva maskinbredder (M_e) vid fältformen 2:1 och arealen 5,0 ha. Kurvanpassningen har gjorts för simuleringsresultaten i bilaga A.

Även för små och smala rektangulära skiften har tidsåtgången analyserats enligt de förutsättningar som beskrivs i tabell 5. Skiftenas bredd var 16,0 m och 8,0 m, vilket kan representera förhållandena för körning på t.ex. vändtegar respektive skydds-zoner. Observera att skiftena i detta sammanhang inte behöver vara strikt geometriskt rektangulära, utan detta begrepp innefattar här alla skiften där sidokanterna är tillräckligt ”parallella” för att inga nya triangulära tegar ska uppstå där man, i förhållande till maskinens effektiva arbetsbredd, måste köra ytterligare drag. Skiftenas sidokanter antas ej heller ha svängar som är så stora att de inverkar på körhastigheten i kördrag och vändningar/svängar.

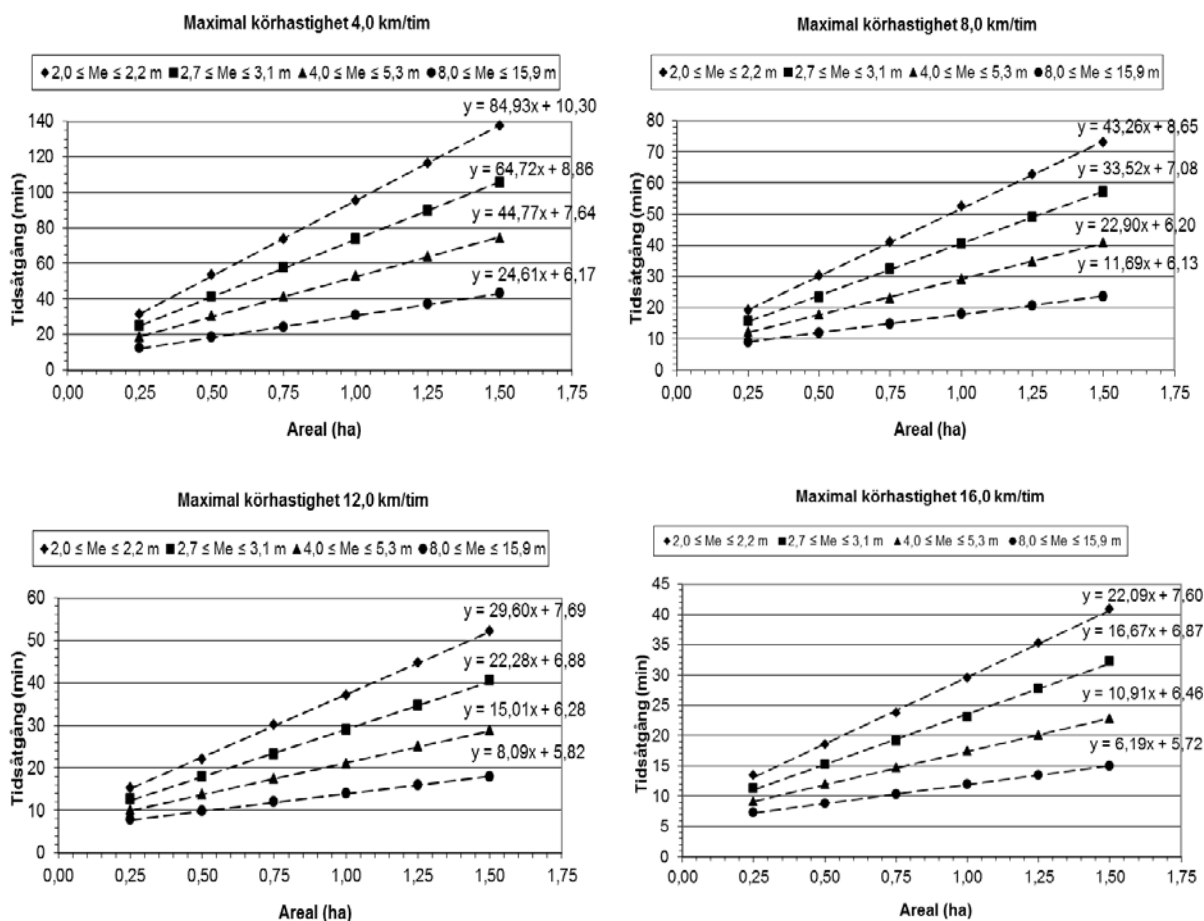


Figur 29. Tidsåtgång för fältarbeten som funktion av maximal körhastighet för olika effektiva maskinbredder (M_e) vid fältformen 2:1 och arealen 15,0 ha. Kurvanpassningen har gjorts för simuleringsresultaten i bilaga A.

Resultaten för skiften med bredden 16 m (t.ex. vändtegar) visas i figur 30. Maskiner med effektiva arbetsbredderna 2,0 m, 3,0 m och 4,0 m antogs köra ett varv runt skiftet innan de påbörjade tegdragen, medan maskinen med $M_e = 12,0$ m enbart körde två tegdrag (endast backvändningar användes i analyserna, och för kördragen längs fältkanten var hastigheten nedsatt med 25 %).

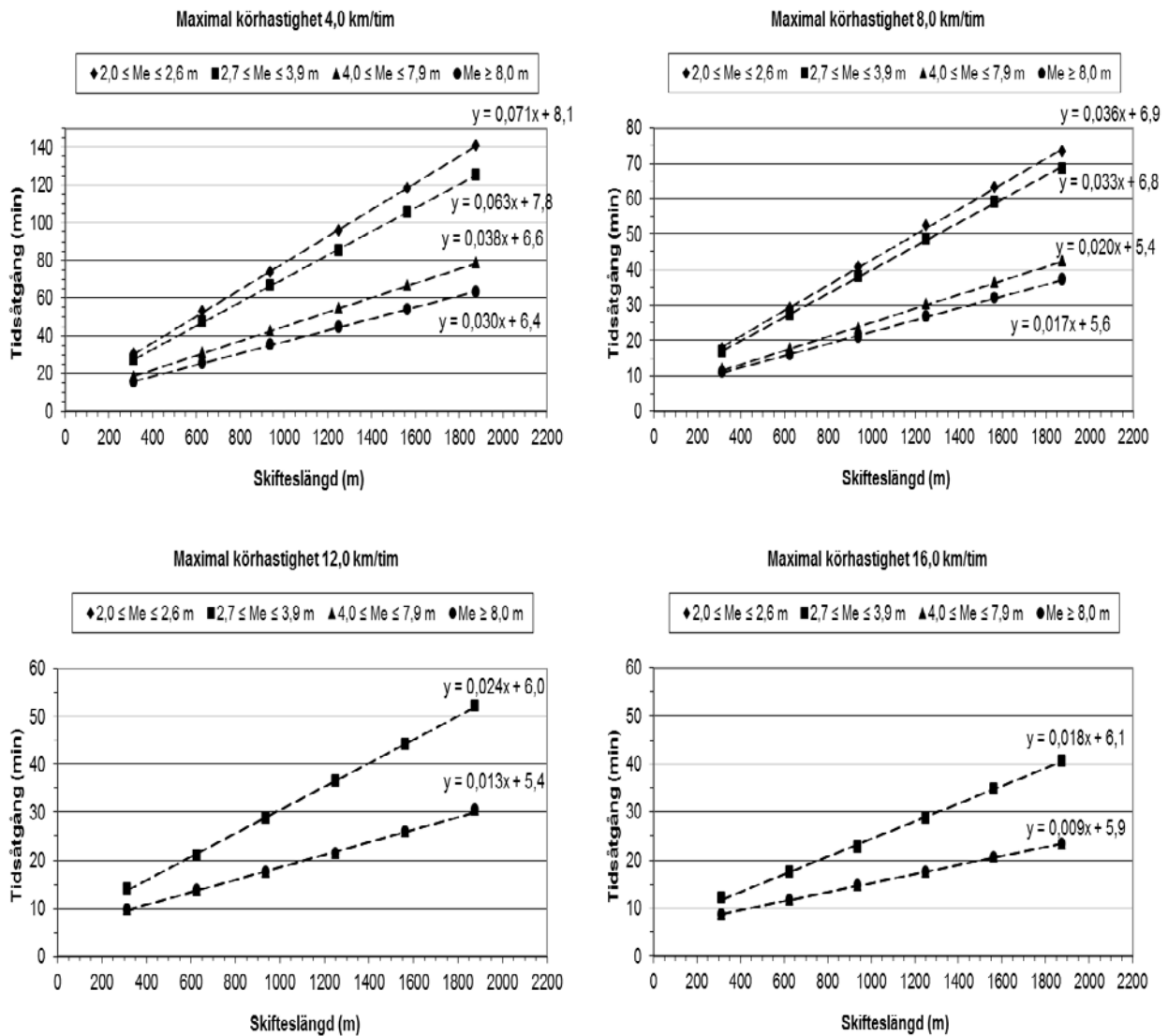
Maskinernas effektiva arbetsbredd får mycket stor betydelse för tidsåtgången på långa och smala skiften. I detta fall behövde maskinerna 8, 6, 4 och 2 längsgående kördrag för de undersökta arbetsbredderna 2,0 m, 3,0 m, 4,0 m respektive 12,0 m. En maskin med $M_e = 7,0$ m får exempelvis samma tidsåtgång som en maskin med $M_e = 4,0$ m, förutsatt att de ska tillbaka till ursprungsplatsen, ska bearbeta jorden/grödan minst lika mycket överallt, och ha samma maximala körhastighet. Jämfört med "ordinära" rektangulära skiften kan effektiviteten annars vara betydligt högre för välanpassade maskinkedjor på vändtegsskiften, eftersom det är långa kördrag och få vändningar på de senare. För en maskin med maximala körhastigheten 8,0 km/tim, maskinbredden 4,0 m och arealen 1,0 ha, var tidsåtgången ca 29 min för

vändtegsskiftet (figur 30), medan den var ca 36 min för ett rektangulärt skifte med formen 2:1 (figur 25).



Figur 30. Tidsåtgången för arbetsoperationer på skiften med bredden 16,0 m (t.ex. vändtegar) för maskiner med effektiva arbetsbredder 2,0-2,2 m (\blacklozenge), 2,7-3,1 m (\blacksquare), 4,0-5,3 m (\blacktriangle) och 8,0-15,9 m (\bullet), och maximala körhastigheterna 4,0 km/tim (överst t v), 8,0 km/tim (överst t h), 12,0 km/tim (nederst t v) samt 16,0 km/tim (nederst t h). Längden på skiftena vid simuleringspunkterna var 156 m (0,25 ha), 312 m (0,5 ha), 469 m (0,75 ha), 625 m (1,0 ha), 781 m (1,25 ha) samt 938 m (1,5 ha).

Resultaten för skiften med bredden 8,0 m (t.ex. skyddszoner) visas i figur 31 (i analyserna användes här inga vändtegsdrag, alla vändningar var av typen backvändningar, för kördraget närmast fältkanten var hastigheten nedsatt med 25 %, och för ”tomkörningsdragen” tillbaka till ursprungsplatsen var körhastigheten 100 % och 50 % högre för maximala arbetshastigheterna 4,0 resp. 8,0 km/tim). Längden på dessa skiften var dubbelt så lång som för vändtegs-skiftena ovan, och arbetsbredden får här således ännu större betydelse för den totala kapaciteten. Antalet kördrag blir samma (4 st.) för $M_e = 2,0$ m och $M_e = 3,0$ m, men den kortare tidsåtgången i figur 31 för $M_e = 3,0$ m med arbetshastigheterna 4,0 resp. 8,0 km/tim beror på att körhastigheten för ”tomdraget” tillbaka till ursprungsplatsen ökades med 100 % resp. 50 %. Tidsåtgången var samma för $M_e = 2,0$ m och $M_e = 3,0$ m resp. för $M_e = 4,0$ m och $M_e = 12,0$ m för hastigheterna 12 km/tim och 16 km/tim eftersom antalet kördrag var samma.



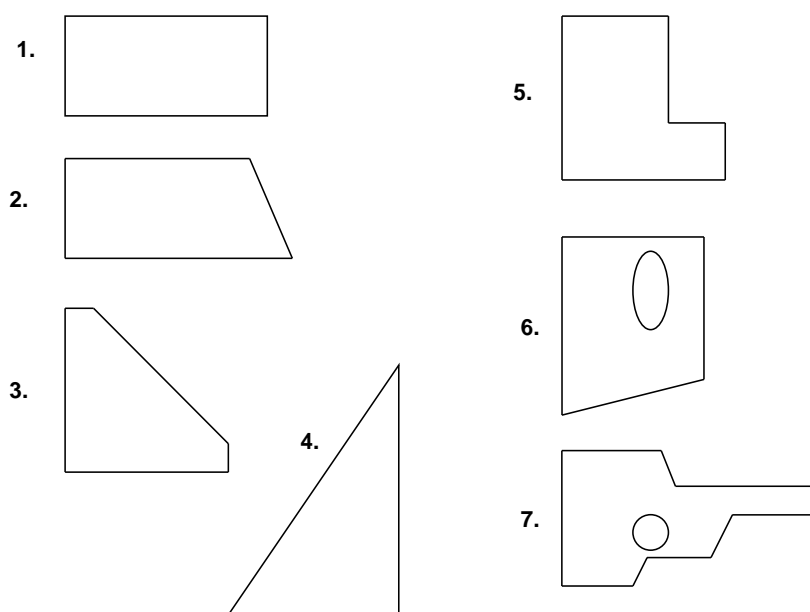
Figur 31. Tidsåtgången för arbetsoperationer på skiften med bredden 8,0 m (t.ex. skydds-zoner) för maskiner med effektiva arbetsbredder 2,0-2,6 m (◆), 2,7-3,9 m (■), 4,0-7,9 m (▲) och $\geq 8,0$ m (●), och maximala körhastigheterna 4,0 km/tim (överst t v), 8,0 km/tim (överst t h), 12,0 km/tim (nederst t v) samt 16,0 km/tim (nederst t h). Arealen på skiftena vid simuleringspunkterna var 0,25 ha (längd 313 m), 0,50 ha (625 m), 0,75 ha (938 m), 1,00 ha (1250 m), 1,25 ha (1563 m) samt 1,50 ha (1875 m).

5. SIMULERING AV MASKINARBETEN PÅ ”OREGELBUNDNA” SKIFTEN

5.1. Förutsättningar och antaganden

Mångformiga skiften innebär här alla skiften som inte kan klassificeras som rektangulära, dvs. skiften som brukar betecknas som ”oregelbundna”. I figur 32 visas de skiftesformer som har simulerats. Ett rektangulärt skifte (nr 1 i figur 32), med längd:bredd-förhållandet 2:1, har använts som referens. I simuleringarna antas alla skiften ha arealen 1,00 ha. Vidare har det antagits att det är en specifik arbetsoperation som ska utföras (slåtter), där den använda maskinen är en rotorslåttermaskin med en nominell arbetsbredd på 2,40 m och en effektiv arbetsbredd på 2,25 m. Maximal körhastighet antas vara 10 km/tim (FAT-Berichte, 2002), vilket också ungefärligen motsvarar den kapacitet (1,6 ha/tim) som uppges av Maskinkalkylgruppen (2012) och som här antas gälla för ett rektangulärt skifte (2:1) på 5,0 ha (se figur 28).

Maskinen körs med sex vändtegsdrag, dvs. med en vändtegsbredd på 13,5 m. Kördragen har lagts ut på skiftena på samma sätt som för de rektangulära skiftena ovan (ett generellt exempel för triangulära skiften visas i figur 33). Omkrets, formfaktor och antalet länkar för de olika fältformerna visas i tabell 6. I övrigt gäller de indata som finns beskrivna i tabell 5.

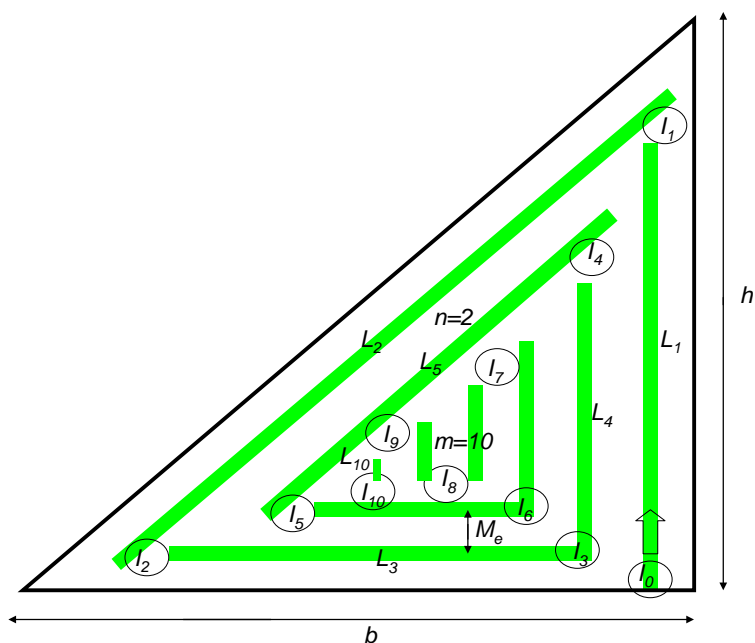


Figur 32. Fältformer som har använts i simuleringarna. Fältform nr 1 fungerade som en referens. Arealen för alla skiften var 1,00 ha.

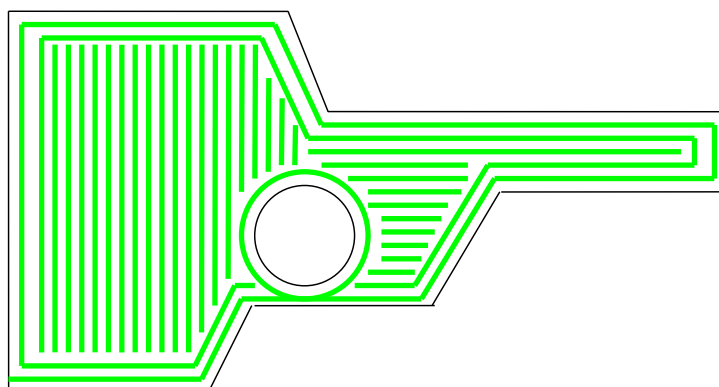
En mer detaljerad analys av fältform nr 7 i figur 32 har också gjorts. Denna fältform har en formfaktor på 1,75, och den kan anses vara en typisk representant för ”små och oregelbundna fält”. Olika arealer (0,50 ha, 1,00 ha resp. 1,50 ha), effektiva maskinbredder ($M_e = 2,0$ m, 4,0 m och 12,0 m) och maximala körhastigheter (4,0 km/tim, 8,0 km/tim, 12,0 km/tim, 16,0 km/tim) simulerades. Det generella körmönstret visas i figur 34. I övrigt gäller de antaganden och förutsättningar som finns beskrivna i tabell 5.

Tabell 6. Omkrets, formfaktor och antalet länkar (inkl. en länk för körning tillbaka till fältets tillfartsväg) för fältformerna i figur 32

Fältform	1	2	3	4	5	6	7
Omkrets (m)	424	443	433	495	455	554	620
Formfaktor (-)	1,20	1,25	1,22	1,40	1,28	1,56	1,75
Totalt antal länkar (st)	45	43	74	55	65	67	95



Figur 33. Ett (rätvinkligt) triangulärt fält med basen b och höjden h . En maskin med den effektiva arbetsbredden M_e bearbetar grödan med totalt m st kördrag, varav n st vändtegrundor. Körmönstret beskrivs av ett antal noder (intersections I) och länkar (links L).



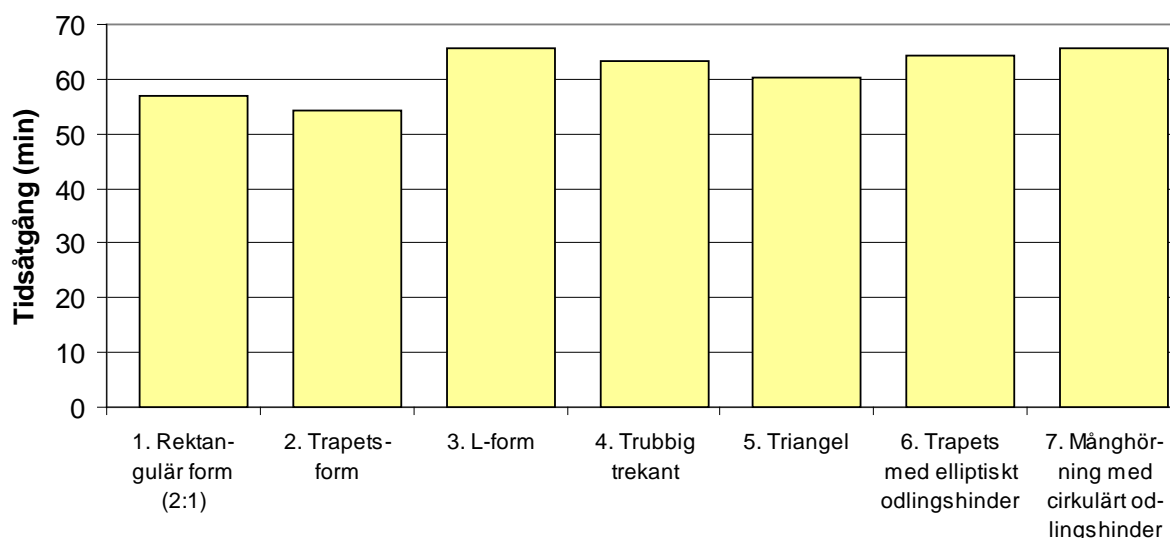
Figur 34. Principskiss av körmönstret för den fältform (nr 7 i figur 32) som har analyserats med avseende på olika arealer, effektiva maskinbredder och maximala körhastigheter.

5.2. Resultat och diskussion

Resultaten för jämförelserna mellan de olika fältformerna visas i figur 35. Den kortaste tidsåtgången hade fältform nr 2. Den något lägre tidsåtgången för nr 2 jämfört med nr 1 berodde på att svängarna i ett av hörnen på fält nr 2 antogs kunna ske med maskinen i arbete (men med något nedsatt körhastighet; se i tabell 5 för de antaganden som gällde för svängar).

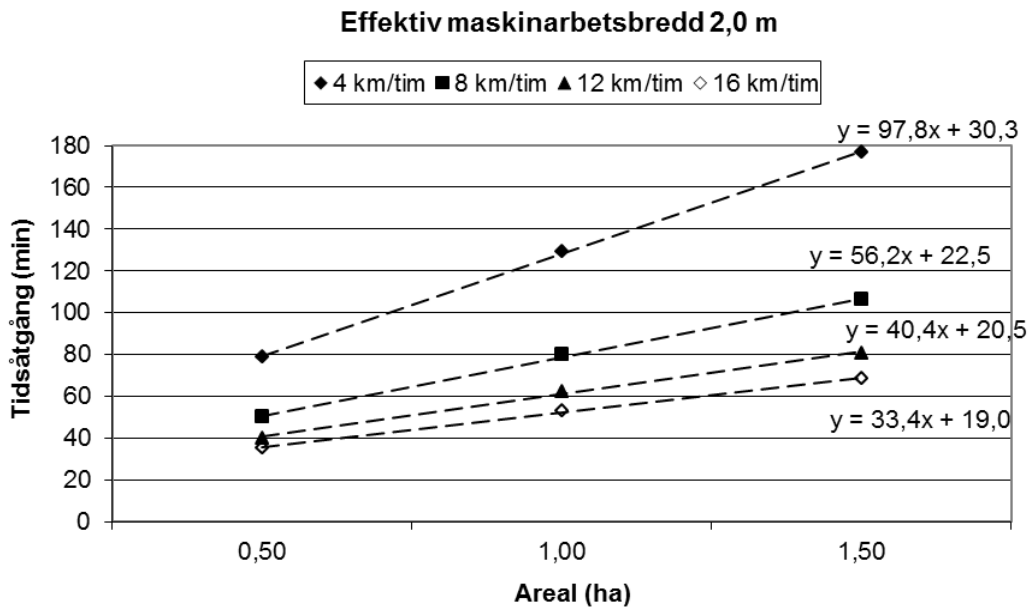
Det fanns, som väntat, också ett tydligt samband mellan antalet svängar/vändningar (dvs. antalet noder och länkar, se tabell 6) och den totala tidsåtgången. Fältformerna nr 3 (L-form) och 7 (månghörning med cirkulärt odlingshinder) hade högst antal länkar (kördrag), och de hade också högst tidsåtgång. Även om antalet kördrag var betydligt högre för fältform nr 7, så var skillnaden i tidsåtgång på samma nivå som för fältform nr 3. Den viktigaste orsaken till denna obetydliga tidsskillnad var att andelen svängar med maskinen i arbete (dvs. svängar med $\alpha < 90^\circ$) var avsevärt högre för alternativ 7.

Med de förutsättningar och antaganden som gällde här, så hade inslaget av odlingshinder ingen större inverkan på tidsåtgången. Detta berodde på att odlingshindren hade rundade former, vilket inte hade någon större påverkan på körhastigheten då det inte fanns några tvära svängar. Däremot påverkades den totala tidsåtgången av att det antogs att körhastigheten i ytterdragen var nedsatt till 75 %.

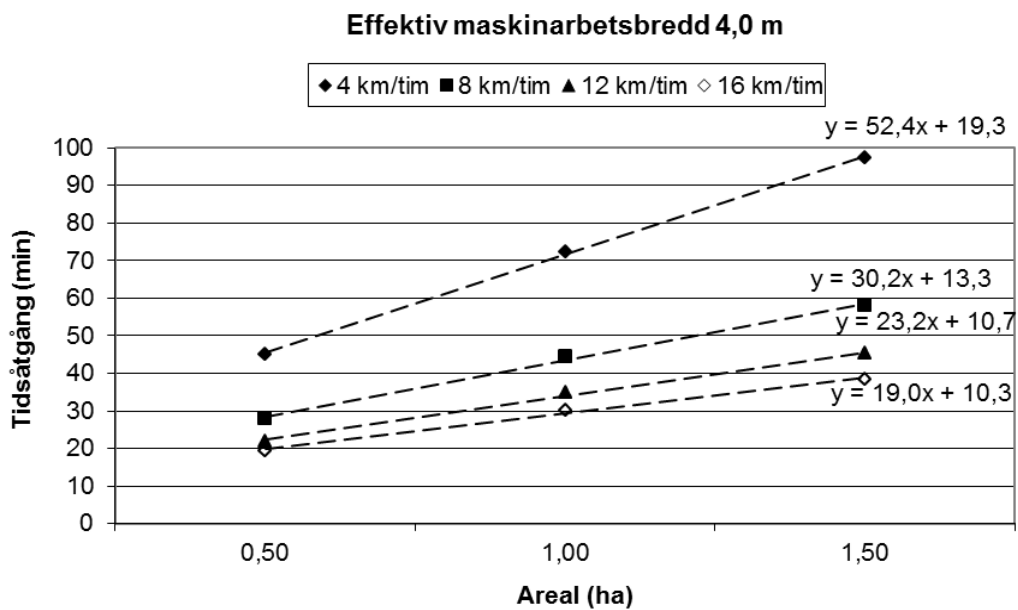


Figur 35. Simulerad tidsåtgång för slåtter på fält med olika form (areal 1,00 ha, effektiv arbetsbredd 2,25 m, maximal körhastighet 10 km/tim).

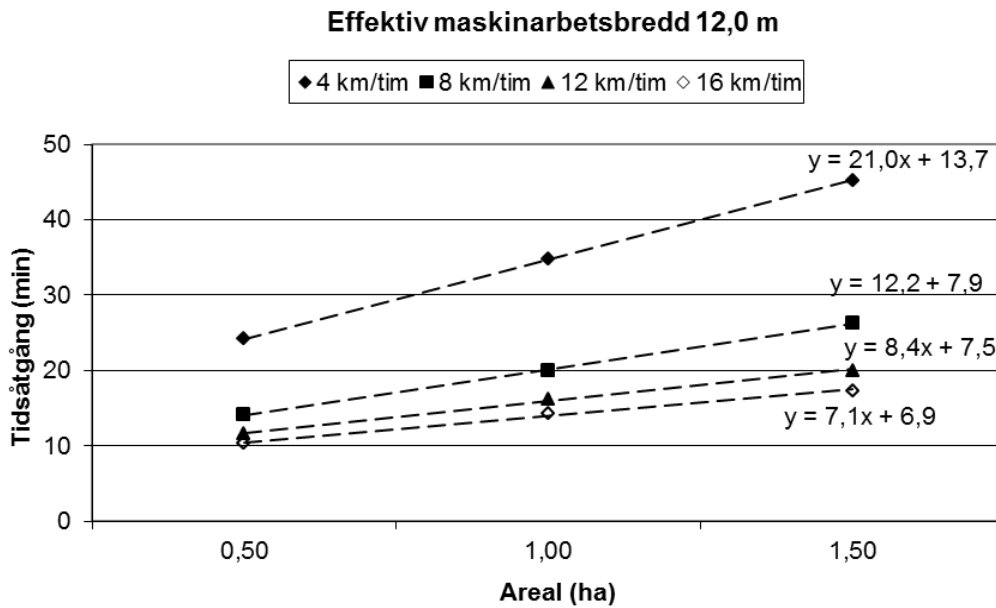
Tidsåtgången för olika maskinarbetsbredder för fältform nr 7 visas som funktion av arealen i figurerna 36-38 och som funktion av den maximala körhastigheten för A=1,00 ha i figur 39. Det var som väntat samma tendenser för dessa små oregelbundna fält som tidigare för de rektangulära skiftena (kapitel 4), t.ex. ett ökande beroende av körhastigheten ju större skiftena blir, och en sjunkande ”marginalvinst” ju större maskinerna blir. När det gäller arealen 1,00 ha i figur 39, så var tidsåtgången per hektar i storleksordningen minst 50 % högre jämfört med ett rektangulärt ”normalfält” med fältformen 2:1 och arealen 5,0 ha (figur 28).



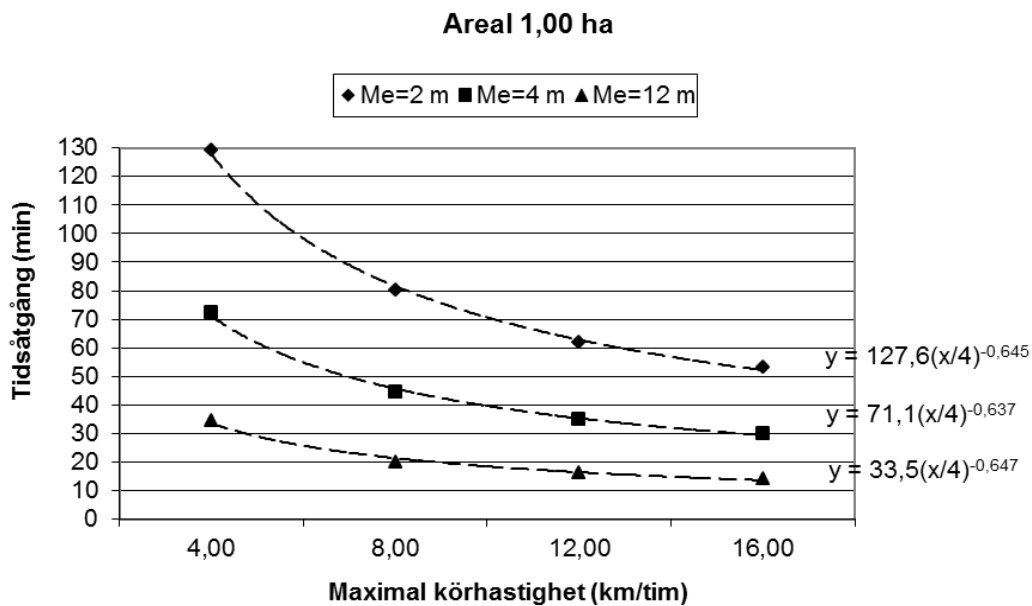
Figur 36. Tidsåtgången vid olika maximala arbetshastigheter som funktion av arealen för små fält med oregelbunden form (figur 34). Den effektiva maskinarbetsbredden är 2,0 m. Linjerna visar linjära kurvanpassningar inom det studerade intervallet.



Figur 37. Tidsåtgången vid olika maximala arbetshastigheter som funktion av arealen för små fält med oregelbunden form (figur 34). Den effektiva maskinarbetsbredden är 4,0 m. Linjerna visar linjära kurvanpassningar inom det studerade intervallet.



Figur 38. Tidsåtgången vid olika maximala arbetshastigheter som funktion av arealen för små fält med oregelbunden form (figur 34). Den effektiva maskinarbetsbredden är 12,0 m. Linjerna visar linjära kurvanpassningar inom det studerade intervallet.



Figur 39. Tidsåtgången vid olika maskinbredder som funktion av maximal körhastighet för ett litet (1,00 ha) oregelbundet fält (figur 34). Linjerna visar kurvanpassningar inom det studerade intervallet.

Ett alternativ till att läsa av tidsåtgången i diagram för en godtycklig arbetsoperation, är att med hjälp av regression bilda formler som kan användas istället. Anta t.ex. att det för ett fält med en given form finns tre oberoende variabler (arealen A , maximal körhastighet v_a , effektiv arbetsbredd M_e), samt en beroende variabel som beskriver tiden det tar att utföra en viss operation (tidsåtgången T). Med hjälp av kalkylprogrammet Excel har två olika regressionsmodeller testats för de data som togs fram i simuleringarna för fältform nr 7 ovan (med 36 ”mät”-punkter), dels en multipel linjär modell av formen (funktionen LINEST i Excel):

$$T = x_1 A + x_2 v_a + x_3 M_e + m$$

och dels en multipel exponentiell modell av formen (funktionen LOGEST i Excel):

$$T = m \cdot x_1^A \cdot x_2^{v_a} \cdot x_3^{M_e}$$

Determinationskonstanten var högre för den sistnämnda modellen ($R^2=0,93$ jämfört med $R^2=0,74$). Skillnaderna i resultat mellan regressionsmodellerna och manuell avläsning i diagram bedömdes dock vara för stora för att ge tillförlitliga resultat. Värdet på R^2 kan förbättras betydligt om datamängden i regressionen snävas in så att värdena på A , v_a , och M_e för sökt värde på T endast ligger mellan två uppmätta (simulerade) värden (betecknade med k resp $k+1$); datamängden utgörs då av en 8-radig matris med $A_k < A < A_{k+1}$, $v_{a,k} < v_a < v_{a,k+1}$, $M_{e,k} < M_e < M_{e,k+1}$. Även med denna metod blev avvikelserna mellan beräknade och manuellt avlästa värden dock alltför stora.

Generellt har metoden med händelsestyrd dynamisk simulering visat sig vara ett bra verktyg för att få fram data om tidsåtgången för maskinarbeten på små och oregelbundna fält. Med tanke på syftet i denna studie, så hade en dynamisk modell kanske inte varit nödvändig. För en utvidgad analys med syfte att ta hänsyn till begränsade resurser i form av maskiner och traktorer, läglighetseffekter, transportavstånd, m.m. så är Arena ett utmärkt hjälpmedel.

6. SLUTSATSER

Följande slutsatser kan dras av resultaten i denna studie:

- Vilken areal ett ”litet” fält har är beroende på var i landet man befinner sig. I slättbygder, där jordbruket präglas av storskalighet, kan ett fält på 5 ha betraktas som ”litet”, medan gränsen kan vara betydligt lägre i skogs- och mellanbygder. Av de undersökta kommunerna i denna studie (Svalöv, Ronneby, Vingåker och Skellefteå), var den genomsnittliga skiftesarealen högst i Svalövs kommun (6,7 ha) och lägst i Ronneby kommun (1,9 ha). En aspekt som påverkar hur stort ett fält kan anses vara, är vilken storlek maskinerna generellt har i området. Om det är vanligt med stora maskiner (vilket i sig indikerar stora fält inom området) kan en liten areal vara stor i ett annat sammanhang.
- Det finns ingen entydig definition på vad som menas med ett ”oregelbundet” fält. Ofta avser man dock fält med många hörn och flikar, eventuellt också innehållande trånga passager och ”öar” med annan mark. Ju mer oregelbundet ett fält är, desto mer svårbrukat anses det vara. En jämförelse av fältens s.k. formfaktor i de olika kommunerna indikerade att kommuner med större brutenhet i landskapet (Ronneby och Vingåker) också har mer ”oregelbundna” fält. Analyserna visade även att ju mindre blocken blev generellt, desto lägre var formfaktorn. Detta tyder på att dagens små fält åtminstone måste ha en form som underlättar maskinarbetena för att de ska anses vara brukningsvärda.
- Tidsåtgången för maskinarbeten på rektangulära fält simulerades med effektiv maskinbredd, optimal (maximal) körhastighet, fältareal och fältform som oberoende ingångsvariabler. I simuleringarna togs hänsyn till tid för vändningar, svängar (hastighetsbegränsande), acceleration/retardation, ställtider, slumpmässiga avbrott, m.m. Resultaten visade t.ex. att tidsåtgången för en maskin med effektiva arbetsbredden 4,0 m och körhastigheten 8,0 km/tim, och som arbetade på ett rektangulärt fält med formen 2:1 (längd:bredd), var 36 min/ha när arealen var 1,0 ha, 26 min/ha när arealen var 5,0 ha och 24 min/ha när arealen var 15,0 ha. En slutsats var alltså att arealen har stor betydelse för tidsåtgången även för ”regelbundna” rektangulära fält. Simuleringar gjordes också för avlånga rektangulära fält (t.ex. vändtegar och kantzoner), och resultaten för dessa visade bl.a. att tiden för icke-produktiv tomkörning kan bli lång, relativt sett, om maskinbredden inte är anpassad efter bredden för dessa fälttyper.
- Tidsåtgången för slåtter av vall (maskinbredd 2,25 m, maximal körhastighet 10 km/tim, areal 1,0 ha) jämfördes för olika ”oregelbundna” fältformer. Jämfört med ett rektangulärt 2:1-fält, varierade tidsåtgången från -4 % (trapetsformat fält) till +16 % (månghörning med cirkulärt odlingshinder). Framförallt hade antalet vändningar (maskinen ej i arbete) en avgörande betydelse för resultaten, men antalet svängar (maskinen i arbete men med nedsatt körhastighet) var också en viktig faktor.
- Även om simuleringarna endast omfattade maskinarbeten på fältnivå, och inte transporter till och från fälten, så har också en enkel modell tagits fram i projektet för att beräkna transportavstånden (bilagorna B och C).

REFERENSER

- Amiama, C., Bueno, J. & Alvarez, C. J. 2008. Influence of the physical parameters of fields and of crop yield on the effective field capacity of a self-propelled forage harvester. *Biosystems Engineering*, 100, 198-205.
- Bochtis, D. D., Sørensen, C. G., Green, O., Moshou, D. & Olesen, J. 2010. Effect of controlled traffic on field efficiency. *Biosystems Engineering*, 106, 14-25.
- Cousins, S. A. O. & Aggemyr, E. 2008. The influence of field shape, area and surrounding landscape on plant species richness in grazed ex-fields. *Biological Conservation*, 141, 126-135.
- de Clercq, E. M., Vandemoortele, F. & De Wulf, R. R. 2006. A method for the selection of relevant pattern indices for monitoring of spatial forest cover pattern at a regional scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformatics*, 8, 113-125.
- Eriksson, I. & Zetterberg, G. 1984. Fältmaskiner i jordbruket. LTs förlag. Stockholm.
- FAT Berichte. 2002. Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zur Raufutterernte. Nr. 588/2002. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT). Ettenhausen, Schweiz.
- Gonzalez, X. P., Alvarez, C. J. & Crecente, R. 2004. Evaluation of land distributions with joint regard to plot size and shape. *Agricultural Systems*, 82, 31-43.
- Hunt, D. 2001. Farm Power and Machinery Management. Iowa State University Press. Iowa, USA.
- Jordbruksverket. 2008. Kartläggning av mark som tagits ur produktion. Rapport 2008:7. Jordbruksverket. Jönköping.
- Jordbruksverket. 2012. www.jordbruksverket.se (2012-04-13).
- Jordbruksverket. 2013a. Statistiska uppgifter om markanvändningen. <http://www.jordbruksverket.se> (2013-09-23).
- Jordbruksverket. 2013b. www.jordbruksverket.se (2013-09-23).
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. & Sturrock, D. T. 2007. Simulation with Arena. McGraw-Hill. New York.
- Liu, T. T., McConkey, B. G., Ma, Z. Y., Liu, Z. G., Li, X. & Cheng, L. L. 2011. Strengths, weaknesses, opportunities and threats analysis of bioenergy production on marginal land. *Energy Procedia*, 5, 2378-2386.
- Maskinkalkylgruppen. 2012. Maskinkostnader 2012. Underlag och kalkylexempel. Hushållningssällskapet. Malmö.
- Mellifica. 2012. Konvertering SWEREF99/RT90/WGS84. <http://latlong.mellifica.se> (2012-07-11).
- Pegden, C. D., Shannon, R. E. & Sadowski, R. P. 1995. Introduction to simulation using SIMAN. McGraw-Hill. New York.
- SOU. 2007. Bioenergi från jordbruket - en växande resurs. SOU 2007:36. Statens offentliga utredningar. Fritzes förlag. Stockholm.
- Witney, B. 1995. Choosing and using farm machines. Land Technology Ltd. Edinburgh, Scotland.

BILAGA A - RESULTAT FRÅN SIMULERINGAR

Tabell A1. Tidsåtgång (min/ha), exklusive transporter till/från fältet, som funktion av areal och maximal hastighet i kördraget för maskiner med den effektiva arbetsbredden 1,0 m på rektangulära fält med formen 1:1, 2:1 resp. 4:1 (längd:bredd)

	0,50 ha	1,00 ha	1,50 ha	2,50 ha	5,00 ha	15,0 ha
<i>1:1</i>						
4 km/tim	271	230	213	200	188	-
8 km/tim	176	141	126	114	103	-
12 km/tim	143	110	96	85	74	-
16 km/tim	126	94	81	71	60	-
<i>2:1</i>						
4 km/tim	259	219	205	192	184	-
8 km/tim	163	129	118	107	99	-
12 km/tim	130	100	89	78	70	-
16 km/tim	113	84	74	64	56	-
<i>4:1</i>						
4 km/tim	246	216	199	189	179	-
8 km/tim	150	123	112	103	95	-
12 km/tim	120	93	83	74	66	-
16 km/tim	103	79	68	60	52	-

Tabell A2. Tidsåtgång (min/ha), exklusive transporter till/från fältet, som funktion av areal och maximal hastighet i kördraget för maskiner med den effektiva arbetsbredden 2,0 m på rektangulära fält med formen 1:1, 2:1 resp. 4:1 (längd:bredd)

	0,50 ha	1,00 ha	1,50 ha	2,50 ha	5,00 ha	15,0 ha
<i>1:1</i>						
4 km/tim	145	121	110	102	95	89
8 km/tim	93	73	64	58	52	47
12 km/tim	76	58	50	43	38	33
16 km/tim	67	51	42	36	31	26
<i>2:1</i>						
4 km/tim	139	115	106	98	93	88
8 km/tim	87	67	61	55	50	46
12 km/tim	71	53	46	40	36	32
16 km/tim	62	45	39	33	29	25
<i>4:1</i>						
4 km/tim	134	114	103	96	91	88
8 km/tim	80	65	58	53	48	45
12 km/tim	65	50	43	38	34	31
16 km/tim	55	42	36	31	27	24

Tabell A3. Tidsåtgång (min/ha), exklusive transporter till/från fältet, som funktion av areal och maximal hastighet i kördraget för maskiner med den effektiva arbetsbredden 4,0 m på rektangulära fält med formen 1:1, 2:1 resp. 4:1 (längd:bredd)

	0,50 ha	1,00 ha	1,50 ha	2,50 ha	5,00 ha	15,0 ha
<i>1:1</i>						
4 km/tim	83	65	59	53	49	45
8 km/tim	51	40	36	30	27	24
12 km/tim	41	32	27	23	20	17
16 km/tim	37	27	23	19	16	14
<i>2:1</i>						
4 km/tim	82	62	56	52	48	45
8 km/tim	48	36	33	29	26	24
12 km/tim	39	28	25	22	19	17
16 km/tim	35	24	21	18	15	13
<i>4:1</i>						
4 km/tim	77	62	57	51	47	45
8 km/tim	43	36	32	28	25	23
12 km/tim	35	27	24	21	18	16
16 km/tim	30	23	20	17	14	13

Tabell A4. Tidsåtgång (min/ha), exklusive transporter till/från fältet, som funktion av areal och maximal hastighet i kördraget för maskiner med den effektiva arbetsbredden 12,0 m på rektangulära fält med formen 1:1, 2:1 resp. 4:1 (längd:bredd)

	0,50 ha	1,00 ha	1,50 ha	2,50 ha	5,00 ha	15,0 ha
<i>1:1</i>						
4 km/tim	39	32	28	23	20	17
8 km/tim	28	21	18	14	12	10
12 km/tim	24	17	14	11	9	7
16 km/tim	22	16	12	9	8	6
<i>2:1</i>						
4 km/tim	42	28	26	22	19	17
8 km/tim	30	18	16	13	11	9
12 km/tim	26	15	13	10	8	7
16 km/tim	23	13	11	9	7	5
<i>4:1</i>						
4 km/tim	39	32	26	23	19	17
8 km/tim	28	20	15	14	11	9
12 km/tim	24	17	12	10	8	7
16 km/tim	21	14	11	9	7	5

Tabell A5. Tidsåtgång (min/ha), exklusive transporter till/från fältet, som funktion av areal och maximal hastighet i kördraget för maskiner med den effektiva arbetsbredden 24,0 m på rektangulära fält med formen 1:1, 2:1 resp. 4:1 (längd:bredd)

	0,50 ha	1,00 ha	1,50 ha	2,50 ha	5,00 ha	15,0 ha
<i>1:1</i>						
4 km/tim	31	22	18	15	12	10
8 km/tim	23	16	12	9	7	6
12 km/tim	20	13	10	8	5	4
16 km/tim	19	12	9	7	5	3
<i>2:1</i>						
4 km/tim	33	20	16	15	12	9
8 km/tim	25	14	11	9	7	5
12 km/tim	21	12	9	7	6	4
16 km/tim	20	11	8	6	5	3
<i>4:1</i>						
4 km/tim	30	23	18	15	12	10
8 km/tim	21	16	12	9	7	6
12 km/tim	19	13	10	7	6	4
16 km/tim	17	12	9	6	5	3

BILAGA B - LOKALISERING AV STUDERADE MARGINALFÄLT

I föreliggande projekt, ”Odling av energigräs på marginell jordbruksmark, kostnader och miljöpåverkan”, har det också ingått att beräkna transportavstånden för de olika marginalfälten (de ovan beskrivna simuleringarna gjordes endast för maskinarbeten på fältnivå).

Lokaliseringen av fält för eventuell odling av energigräs har stor betydelse för transportkostnaderna. Ju närmare de ligger varandra, och ju närmare de ligger en tänkt förädlings- eller förbränningsanläggning, desto lägre blir kostnaderna.

Alla jordbruksblock beskrivs av ett 11-siffrigt blocknummer, där de sju första siffrorna beskriver positionen för blockets centrum i ett nationellt geografiskt koordinatsystem (RT 90). De fyra första siffrorna anger positionen i syd-nordlig riktning och de tre nästkommande siffrorna positionen i väst-östlig riktning. De sju första siffrorna i blocknumret anger alltså i vilken ruta blockets centrum finns i ett rutnät på 1 x 1 km. Genom att beräkna det totala antalet potentiella block med fält (tabell B1) för odling av energigräs inom varje ruta, får man en uppskattning av hur den geografiska fördelningen ser ut inom kommunen. Observera att grannkommunerna inte är medtagna i denna studie, och att sådana ”randvillkor” därför kan ha stor betydelse för hur man väljer att göra i verkligheten. Utanför den egna kommungränsen kan det t.ex. finnas en stor arealpotential i den angränsande kommunen, vilket kan påverka lokaliseringen av en eventuell förädlings- eller förbränningsanläggning.

Tabell B1. Beskrivning av egenskaper för de åkermarksblock som räknades för varje 1 x 1 km-ruta

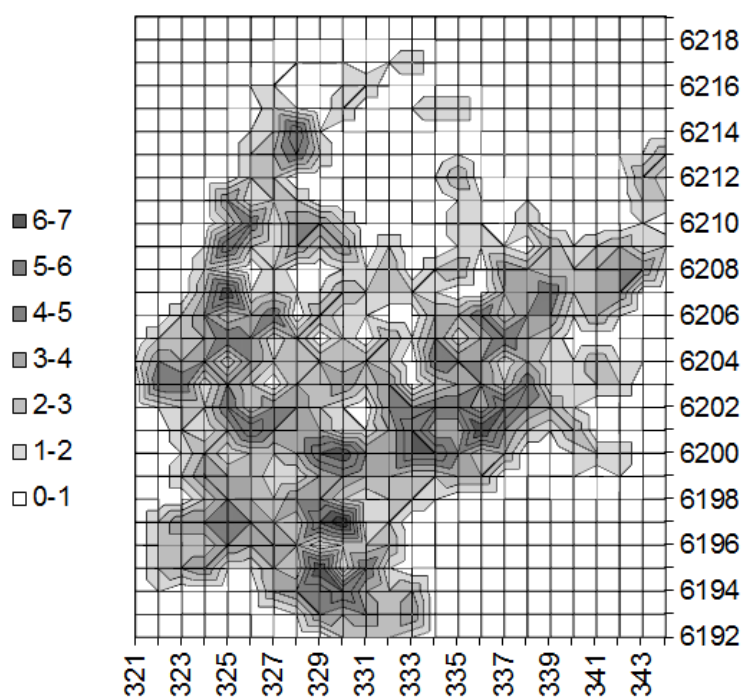
Fältkategori	Beskrivning och datakällor
Skyddszoner	Alla block innehållande skiften där man angett grödkoden 77 i 2012 års SAM-ansökan (skyddszoner där man skulle kunna odla energigräs). Arealer från 2012 års SAM-ansökan (skiftesarealer).
Mark med låg bördighet	Alla block innehållande skiften mindre än 2,00 ha där man angett grödkoden 60 i 2012 års SAM-ansökan (små, eventuellt lågavkastande skiften, där energigräs skulle kunna vara en alternativ gröda). Arealer från 2012 års SAM-ansökan (skiftesarealer).
Vändtegar	Alla åkermarksblock större än 10,00 ha (där man skulle kunna odla energigräs på vändtegar). Vändtegsarealerna har beräknats utifrån antagandena att blocken är rektangulära med längd:bredd-förhållandet 2:1 och att de har två vändtegar med vardera bredden 16 m.
Små oregelbundna fält	Alla åkermarksblock mindre än 2,00 ha och där formfaktorn $F > 1,75$ (små och oregelbundna block). Arealer från Jordbruksverkets blockdatabas (blockarealer).

I tabell B2 visas antalet åkermarksblock enligt ovanstående indelning (tabell B1) i de fyra kommunerna. I Svalövs kommun dominerar kategorin block > 10,00 ha, dvs. potentiella vändtegsytor. I Ronneby kommun är andelen små och oregelbundna block störst, medan små block med träda utgör den viktigaste kategorin i Vingåker och Skellefteå kommuner. Ett block kan innehålla flera olika kategorier, t.ex. kan det innehålla ett skyddszonsskifte och samtidigt vara större än 10,00 ha. I tabellen visas därför även antalet unika block. Antalet geografiska rutor med minst ett unikt block visas också i tabellen (rutor på 1 x 1 km enligt de sju första siffrorna i blocknumret).

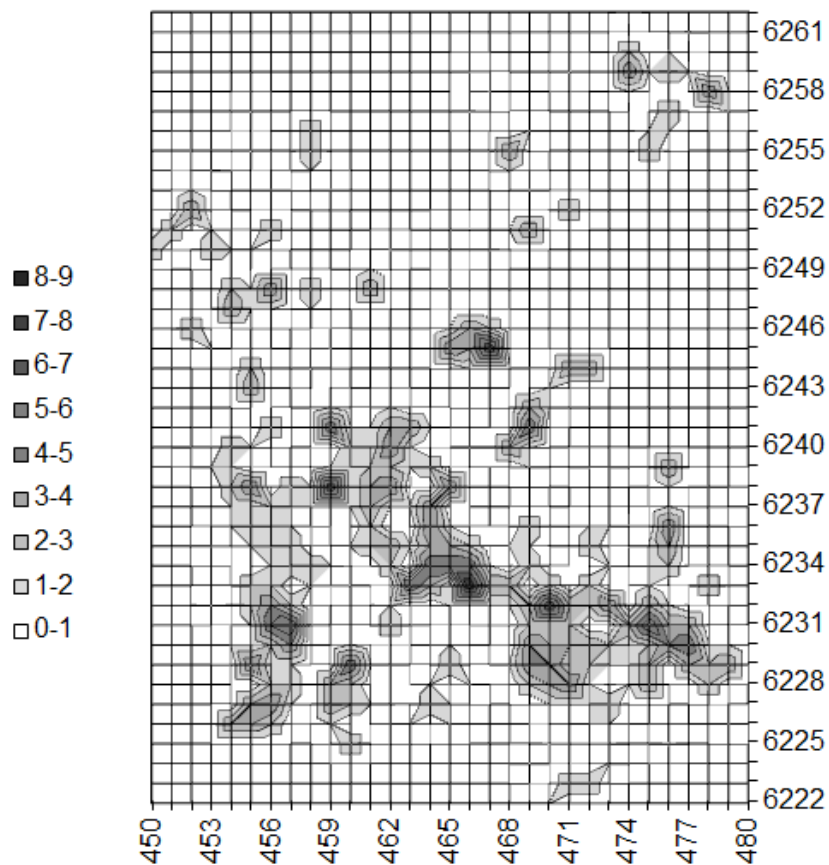
Den geografiska fördelningen av de unika blocken visas i figurerna B1-B4. I diagrammen motsvarar x-axeln blockens väst-öst-koordinater och y-axeln blockens syd-nord-koordinater. Observera att diagrammen visar antalet potentiella block, och inte den potentiella arealen, för varje skärningspunkt (ruta). Koordinaterna för olika samhällen, m.m., angivna i RT 90, kan t.ex. fås via Mellifica (2012).

Tabell B2. Antal potentiella åkermarksblock för odling av energigräs enligt fyra olika indelningskategorier, samt antal unika block och antalet geografiska rutor (1 x 1 km) med minst ett block i de olika kommunerna

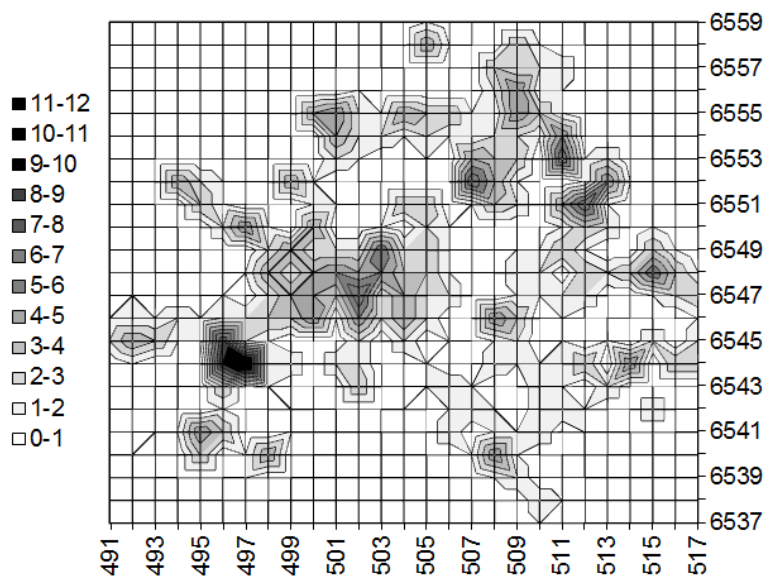
	Svalöv	Ronneby	Vingåker	Skellefteå
Block med skyddszonsskiften	171	55	66	0
Block med små (<2,00 ha) trädesskiften	106	206	245	869
Block större än 10,00 ha	627	99	180	212
Små (<2,00 ha) block med $F > 1,75$	<u>56</u>	<u>298</u>	<u>115</u>	<u>761</u>
Summa	960	658	606	1 842
Totalt antal unika block med energigräspotential	811	598	527	1 732
Totalt antal rutor med minst ett gräspotential-block	310	302	225	788



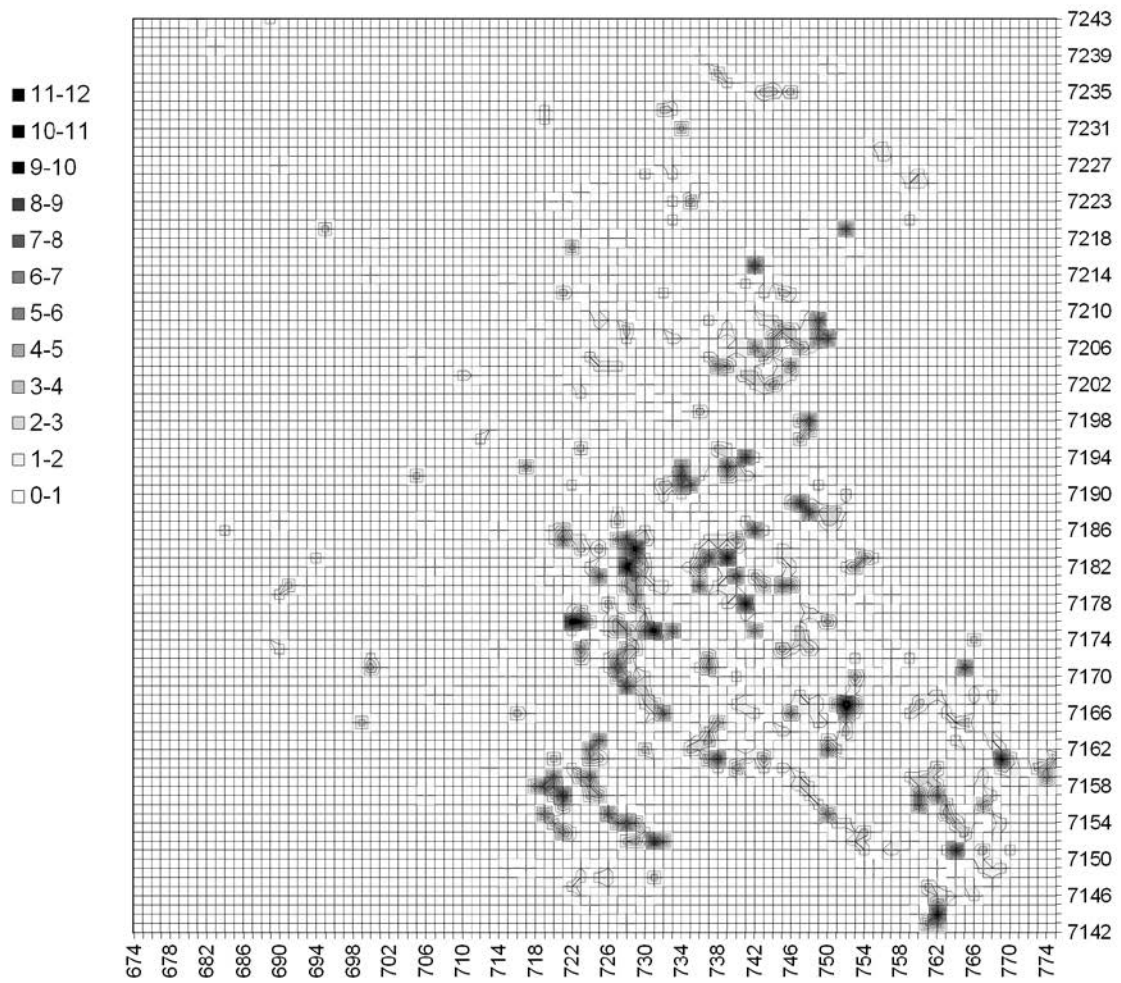
Figur B1. Den geografiska fördelningen av potentiella åkermarksblock för odling av energigräs i Svalövs kommun. Varje ruta är 1 x 1 km. Huvudorten Svalöv finns i området kring koordinaterna 6201-331.



Figur B2. Den geografiska fördelningen av potentiella åkermarksblock för odling av energi-gräs i Ronneby kommun. Varje ruta är 1 x 1 km. Huvudorten Ronneby finns i området kring koordinaterna 6231-467.



Figur B3. Den geografiska fördelningen av potentiella åkermarksblock för odling av energi-gräs i Vingåkers kommun. Varje ruta är 1 x 1 km. Huvudorten Vingåker finns i området kring koordinaterna 6547-504.



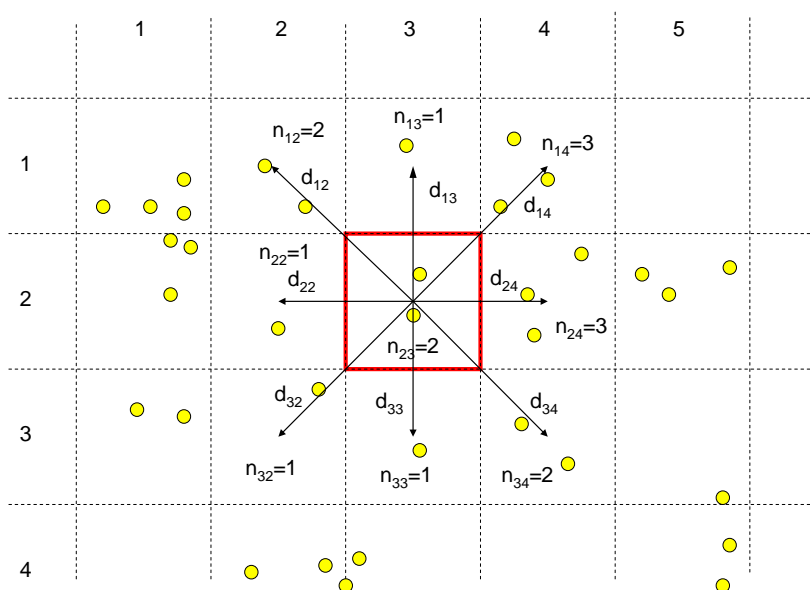
Figur B4. Den geografiska fördelningen av potentiella åkermarksblock för odling av energi-gräs i Skellefteå kommun. Varje ruta är 1 x 1 km. Huvudorten Skellefteå finns i området kring koordinaterna 7193-745.

BILAGA C - TRANSPORTAVSTÅND

En eventuell anläggning för användning/förädling av grödan bör lokaliseras så att transportavstånden blir så korta som möjligt. En lämplig placering kan vara i den ruta $R_{i,j}$ (1 x 1 km) som har det maximala värdet på summan av de omgivande rutornas antal block med gräs dividerat med en avståndsfaktor $f_{i,j}$

$$\max \left| \sum_{k=1}^m (n_{i,j} / f_{i,j})_k \right| \quad (C1)$$

där $n_{i,j}$ (se figur C1) alltså är antalet potentiella energigräsblock i rutorna, som beskrivs av i (fysiffrig koordinat) och j (tresiffrig koordinat). Vidare är $f_{i,j}$ en faktor som tar hänsyn till avståndet $d_{i,j}$ från den analyserade rutans mittpunkt till mittpunkterna i de m omgivande rutorna (här antas att blocken är jämnt fördelade inom respektive ruta). Med exempelvis $f_{i,j} = 1$ tas ingen hänsyn till att avståndet varierar. Om avståndet $d_{i,j}$ t.ex. är maximalt 4,0 km och om värdena på $f_{i,j} = d_{i,j}$ (dvs. $f_{i,j}$ är direkt proportionell mot avståndet), blir $f_{i,j}$ för de olika rutorna 1,0 km, 1,41 ($=\sqrt{1^2+1^2}$) km, 2,0 km, 2,24 ($=\sqrt{1^2+2^2}$) km, osv. upp till 4,0 km. Med $d_{i,j} \leq 4,0$ km blir antalet rutor (m) runt varje analyserad ruta 49 st. och den totalt undersökta ytan 49 km².



Figur C1. Principen för att bestämma en lämplig lokalisering av mottagaranläggningen. Gula prickar betecknar block.

I verkligheten kan antalet transporter bli betydligt högre för en ruta som visserligen har lika många block som de andra rutorna, men där arealen (dvs. den totalt skördade mängden) är större. Därför kan det vara bättre att använda

$$\max \left| \sum_{k=1}^m (A_{i,j} / f_{i,j})_k \right| \quad (C2)$$

där $A_{i,j}$ är den totala potentiella gräsarealen i varje 1 x 1 km ruta, vilken beräknas som summan av potentiell gräsareal i varje block b , som i sin tur utgörs av summan av skiftenas potentiella gräsodlingsareal a_s , enligt

$$A_{i,j} = \sum_{b=1}^c \sum_{s=1}^t a_s \quad (C3)$$

På så sätt kan man beräkna vilken ruta som omges av störst potentiell gräsodlingsareal inom ett visst avstånd. Genom att sätta $f_{i,j}=t_l+d_{i,j}/v$ där t_l är tiden för lastning/avlastning (tim) och v är transporthastigheten (km/tim), kan man ta hänsyn till att tiden det tar att köra någon kilometer extra när lasset väl är lastat, i verkligheten ofta har en mindre relativ inverkan på resultatet. Formel C2 kan därför skrivas

$$\max \left| \sum_{k=1}^m (A_{i,j} / (t_l + d_{i,j} / v))_k \right| \quad (C4)$$

För varje kommun gjordes en analys av var koncentrationen av potentiella gräsfält, enligt definitionerna i tabell B1, var som högst. Data om kommunernas skiften och block bearbetades i Excel, bl.a. genom att bilda $i \times j$ - matriser med hjälp av pivot-tabell-funktionen.

För Svalövs kommun, med $d_{i,j} \leq 4,0$ km (49 rutor, 49 km^2), blev den högsta koncentrationen av potentiella gräsfält, enligt formel C1 ($f=1$), vid koordinaterna 6203-335, dvs. ca 3-4 km öster om Svalövs samhälle. Antalet potentiella block i rutorna kring $R_{6203,335}$, med $d_{i,j} \leq 4,0$ km, var 158 st. Om man istället tar hänsyn till arealerna enligt formel C2 (med $f=1$), så blir den högsta fältkoncentrationen någon kilometer öster om Svalövs samhälle (6201-332). Med hänsyn tagen till lastningstider och transporthastighet (formel C4), med $t_l = 0,5$ tim och $v = 20$ km/tim, så blir resultatet oförändrat, dvs. den högsta koncentrationen blir vid koordinaterna 6201-332. Antalet block vid denna lokalisering med $d_{i,j} \leq 4,0$ km var 149 st. och arealen 178 ha. Rutan med högst fältkoncentration i övriga kommuner, enligt formel C4, visas i tabell C1.

Resultaten i tabell C1 gäller för de fyra fältkategorier (skyddszoner, vändtegar, lågbördiga samt oregelbundna fält) med liten areal så som är beskrivet i tabell B1. Tillkomsten av t.ex. ett ”normalt” skifte på några tiotals hektar med gräsodling, kanske med en areal motsvarande dubbelt så många marginalfält som innan, får en avgörande betydelse för var man slutligen lokaliserar förädlings-/användaranläggningen. Exempelvis blir transportbehovet betydligt lägre för ett närbeläget skifte på 30 ha med odling av gräs, jämfört med om man ska samla in samma mängd gräs från t.ex. 60 st. utspridda vändtegar på vardera 0,5 ha. En annan invändning kan också vara varför inte *alla* små fält har tagits med i analysen, vilket också förmodligen skulle ha stor betydelse för lokaliseringen. Det primära syftet här var dock att se var koncentrationen av de kategorier av fält som ingår i denna studie var som högst i de aktuella kommunerna.

Tabell C1. Ruta med högst koncentration av de fältkategorier som finns beskrivna i tabell B1 i Svalövs, Ronneby, Vingåkers och Skellefteå kommuner, med $d_{i,j} \leq 4,0$ km (formel C4 har använts)

	Ruta med högst fältkoncentration (koordinater)	Lägesbeskrivning	Antal block	Areal (ha)
Svalöv	6201-332	Ca 1 km öster om Svalöv	149	178
Ronneby	6230-472	Vid Leråkra, ca 5 km öster om Ronneby	100	97
Vingåker	6547-502	Ca 2 km väster om Vingåker	115	126
Skellefteå	7182-728	Kring Djupliden, ca 20 km sydväst om Skellefteå	105	120

Det finns också en viss risk att identifiering av lämplig lokalisering med ett maximalt avstånd $d_{i,j}$ på endast 4 km ger missvisande resultat. Upptagningsytan motsvarar dock en areal på totalt ca 50 km², och eftersom ingen hänsyn tas till potentialen i grannkommunerna, kan höga värden på $d_{i,j}$ också ge missvisande resultat, särskilt om den studerade kommunen är liten och har geografiskt ”flikiga” gränser.

För att beräkna det genomsnittliga avståndet mellan blocken och en eventuell anläggning, kan man använda

$$\bar{d}_n = \tau \frac{\sum n_{i,j} d_{i,j}}{\sum n_{i,j}} \quad (C5)$$

där τ är slingerfaktorn, dvs. det verkliga avståndet i förhållande till ”fågelvägen”. Dessa avstånd gäller när man kör tur och retur från anläggningscentrum för att utföra enskilda arbetsoperationer på fälten (t.ex. slåtter). För arealrelaterade transporter, t.ex. för transport av den skördade grödan till anläggningen, blir det genomsnittliga avståndet

$$\bar{d}_A = \tau \frac{\sum A_{i,j} d_{i,j}}{\sum A_{i,j}} \quad (C6)$$

Det genomsnittliga avståndet mellan blocken inom anläggningens upptagningsområde, dvs. när man kör mellan olika block, kan uppskattas med hjälp av

$$\bar{d}_b = \tau l = \tau \sqrt{\pi r^2 / c \sum n_{i,j}} \quad (C7)$$

Här har det antagits att blocken är jämnt fördelade inom en cirkel med radien r och med en användbar sektorsandel på $1/c$ (med $c = 2$ är t.ex. endast halva cirkeln användbar för odling av grödan). Avståndet l är sidorna på ett (större) antal kvadrater som totalt antas ha samma areal som cirkeln/cirkelsektorn. Värdet på l blir därmed likvärdigt med det kortaste avståndet mellan kvadraternas mittpunkter. I formel C7 tas inte hänsyn till transporter mellan olika skiften på ett block.

En jämförelse av transportavstånden i de studerade kommunerna visas i tabell C2. Vid jämförelsen användes Svalövs kommun som referens, med en lokalisering motsvarande en areal på 178 ha inom radien 4,0 km enligt tabell C1. För Ronneby, Vingåker och Skellefteå kommuner beräknades antalet block $\sum n_{i,j}$ för de framtagna rutorna i tabell C2 så att gräsarealen blev minst lika stor som för Svalövs kommun enligt

$$\sum_{i,j \in \text{kommun}} A_{i,j} \geq \sum_{i,j \in \text{Svalöv}} A_{i,j} \quad (C8)$$

Resultaten visas i tabell C2. Blockens genomsnittliga gräsareal var störst för den lokalisering (tabell C1) som togs fram för Svalövs kommun; 178 ha/149 block = 1,19 ha/block. Därefter följde lokaliseringarna i Skellefteå (1,12 ha/block), Vingåker (1,07 ha/block) och Ronneby kommuner (1,06 ha/block). De genomsnittliga avstånden från blocken till de tänkta anläggningarna, med en upptagningsareal på 178 ha (referensvärde) för varje ort, varierade från 2,6 km till 3,8 km (antalsrelaterat) respektive från 2,7 km till 4,0 km (arealrelaterat). Skillnaden mellan antals- och arealrelaterade avstånd ger en indikation på skiftesstorlekens homogenitet. För den aktuella lokaliseringen i Ronneby kommun (och även i Svalövs kommun) är det

arealrelaterade avståndet längre än det antalsrelaterade, vilket tyder på att perifera block i genomsnitt har något större arealer än blocken närmast anläggningen.

Tabell C2. Beräknade avstånd vid lokalisering av en förädlings-/slutanvändaranläggning i Svalövs, Ronneby, Vingåkers och Skellefteå kommuner med ett antaget arealbehov på 178 ha (antagna värden på τ och c var 1,5 resp. 1,0)

	Koordinater för anläggning	Areal (ha)	Antal block	Genomsnittligt ”fågel”-avstånd till anläggning (km) Antalsrel./Arealrel.	Genomsnittligt avstånd till anläggning (arealrel.) (km)	Genomsnitt- ligt avstånd mellan block (km)
Svalöv	6201-332	178	149	2,6/2,7	4,0	0,80
Ronneby	6230-472	178	168	3,8/4,0	6,0	1,10
Vingåker	6547-502	178	167	3,1/3,1	4,6	0,90
Skellefteå	7182-728	178	159	3,3/3,3	5,0	0,98

De genomsnittliga avstånden mellan blocken varierade från 0,80 km (Svalöv) till 1,10 km (Ronneby). I beräkningarna antogs att $\tau = 1,5$ och $c = 1,0$ för alla kommunerna, vilket var ganska rimliga antaganden utifrån de geografiska förutsättningarna. På blocknivå kan dock värdet på τ eventuellt vara något för högt, särskilt i slättbygder. Som jämförelse var ”fågelvägs”-avstånden ($\tau = 1$) 530 m, 730 m, 600 m och 650 m för lokaliseringarna i Svalövs, Ronneby, Vingåkers resp. Skellefteå kommun. En förenkling var också antagandet att $r = \sqrt{2}$ x det genomsnittliga ”fågelvägs”-avståndet (antalsrel.) för respektive kommun. En generell slutsats var dock att de genomsnittliga avstånden mellan potentiella gräsblock var i storleksordningen 0,5-1,0 km.

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
www.slu.se/energyandtechnology

SLU
Department of Energy and Technology
Box 7032
S-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000
