



Produktivitet vid stubbskörd
- Inverkan av stubbstorlek och avstånd

Stump harvest productivity
- Effects of stump size and distance



Foto: Simon Berg

David Eriksson och Erik Lindgren



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens biomaterial och teknologi Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	David Eriksson och Erik Lindgren
Titel, Sv	Stubbskörd, en framtida energikälla - En tidsstudie om produktivitet
Titel, Eng	<i>Stump harvest a future energy source - A time study of productivity</i>
Nyckelord/ Keywords	<i>Produktivitet, Tidsstudie, Stubbrytning, Biobränslen, Gran Productivity, Time study, Stump harvest, Biofuels, Norway spruce</i>
Handledare/Supervisor	<i>Simon Berg, institutionen för skogens biomaterial och teknologi (SBT); Teknologi</i>
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0813
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2018
Serie	Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

FÖRORD

Detta kandidatarbete har utförts inom ramen för Jägmästarprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet och omfattar 15 högskolepoäng på C-Nivå.

Stort tack till vår handledare Simon Berg som har tagit fram materialet till detta arbete och tack för all hjälp som han bidragit med under arbetets gång. Även ett tack till Hilda Edlund för hjälpen vid de statistiska analyserna.

David Eriksson och Erik Lindgren

SAMMANFATTNING

Sverige står inför en stor klimatomställning och kraven på allt effektivare och miljövänligare energikällor ökar. Biobränslen anses vara en viktig del i denna omställning och stubbved är ett av de primära biobränslena som har stor potential att öka. Syftet med studien var att undersöka hur produktiviteten påverkas av stubbdiametern samt hur avstånden från centrumlinjen påverkar produktiviteten.

Materialet i tidsstudien kommer från ett försök utfört i Jämtland fördelat på två trakter med fyra provtytor vardera. Antalet stubbar som studerats i studien uppgick till 340 st. Dessa har skördats med en grävmaskin utrustad med aggregatet Biorex 30 från ufo AB. Genomsnittsmassan för de studerade stubbarna på de två trakterna var 0,087 TonTS och 0,066 TonTS.

Medeltalet för produktiviteten var 8,7 tonTS/G₀-timme (ton/G₀-h). Regressionsanalysen visar tydligt att en grövre stubbdiameter ger en högre produktivitet till en viss gräns. Denna gräns ligger på mellan 55–60 cm och efter det börjar produktiviteten avta. Huvuddelen av tidsåtgången är fördelade på tre arbetsmoment. Dessa tre är kranrörelse (57 %), rensning (25 %) och upplyftning (17 %). Den sista procenten är för körning, övrigt och avbrott.

En ökad produktivitet ses i jämförelser med tidigare studier som gjorts inom ämnet. Från 2008 tills idag har produktiviteten närmare fördubblats och trenden visar på utveckling inom ämnet stubbskörd. Regressionsanalysen tyder på att avståndet till centrumlinjen inte hade någon påverkan gällande produktiviteten i denna studie.

Nyckelord: Produktivitet, Tidsstudie, Stubbrytning, Biobränslen, Gran, Biorex 30

SUMMARY

Sweden faces a major climate conversion and demands for increasingly efficient and environmentally friendly energy sources are increasing. Biofuels are considered to be an important part of this conversion, and stump wood is one of the primary fuels that has a high potential for increasing in used volume. The purpose of the study was to investigate how productivity is affected by the stub diameter and how distances from the centrum line affect productivity.

The material in the time study was collected in Jämtland at two sites with 4 plots each. The number of studied stumps was 340. These stumps were harvested with an excavator equipped with the stump harvest head Biorex 30 from ufo AB. The average mass of studied stumps at the two sites was 0,087 TonDm and 0,066 TonDM, respectively.

The average productivity was 8.7 tonDM/G₀-hour. The regression analysis clearly shows that a larger stump diameter results in higher productivity until a certain point. The limit is 50-55 cm, where the curve flattens out. However, distance from the centrum line did not affect the productivity. The majority of the work was spent on three work elements. These three are crane work of 57%, 25% cleaning and 17% lift. The last percentage is for driving, other and interruptions.

The productivity have increased compared to previous studies. The productivity have roughly doubled since 2008. This trend will hopefully continue and make help make stump wood a part of the transition a bioeconomy.

Keywords: Productivity, Time Study, Stump harvest, Biofuels, Norway Spruce, Biorex 30

1. INLEDNING

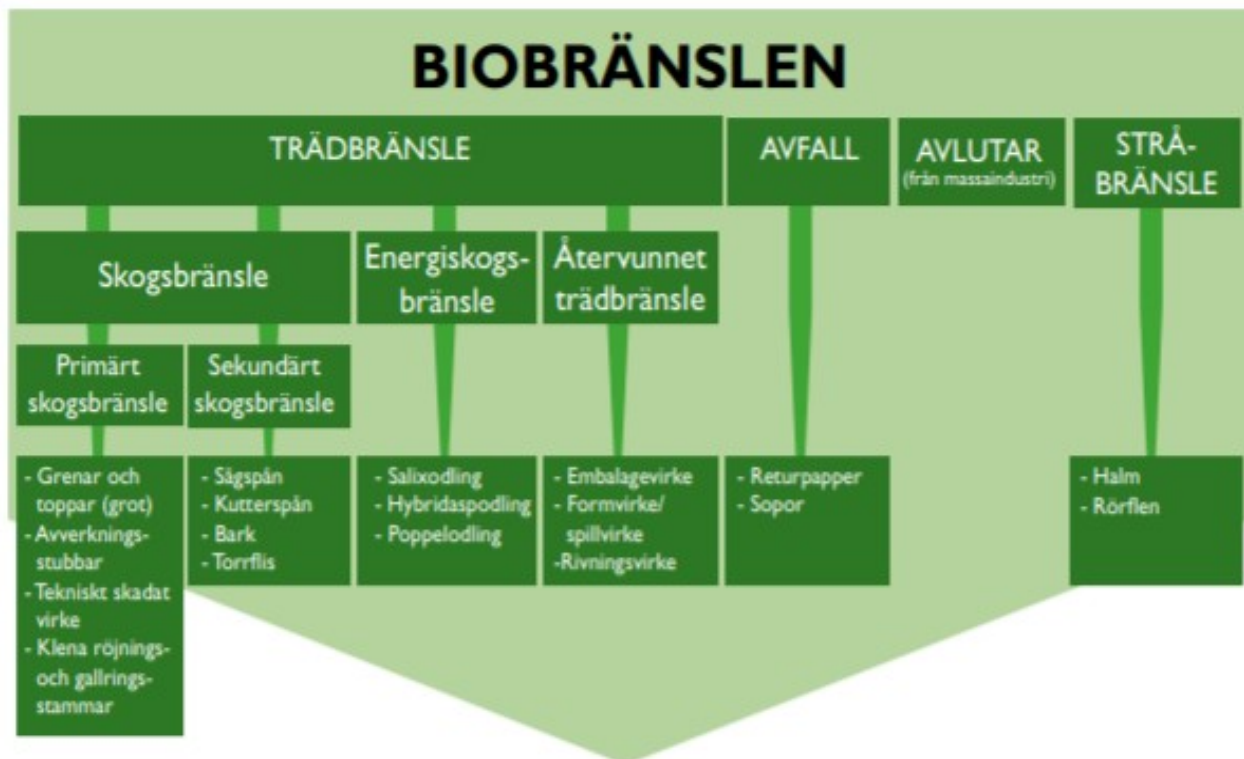
1.1 Biobränslen i samtiden

Sverige har som ett led i klimatomställningen antagit sexton stycken miljö kvalitetsmål uppdelade i ett flertal delmål. För att uppnå målsättningen kommer stora insatser att krävas. Trots de stora insatser som redan genomförts anser miljömålsrådet att flertalet av målen kommer vara ouppfyllda när planperioden når sitt slut år 2045 (Naturvårdsverket 2008). Ett av delmålen, begränsad klimatpåverkan, syftar till att:

”Halten av växthusgaser i atmosfären ska i enlighet med FN:s ramkonvention för klimatförändringar stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig.”
(Naturvårdsverket 2008 s.90)

För att klara av dessa mål har miljömålsrådet tillsammans med berörda myndigheter arbetat fram tre strategier som via kostnadseffektiva lösningar, skall kunna uppnå ett eller flera av de aktuella miljömålen och dess delmål, bland annat begränsad klimatpåverkan genom minskande växthusgaser. Målet med att minska utsläppen av dessa gaser är att förhindra en ökning av jordens globala medeltemperatur med mer än två grader Celsius (Naturvårdsverket 2008).

Strategierna är inriktade på att angripa problemet via flera fronter med avseende på, effektivare energianvändning och transporter (EET), giftfria och resurssnåla kretslopp (GRK) samt hushållning med mark, vatten och bebyggd miljö (HUM), varav den sistnämnda bland annat inriktas mot skog och skogsbruk (Naturvårdsverket 2008). Den betonar vikten av effektivt utnyttjande av avverkad skog samt att i större utsträckning ta tillvara den tillgängliga biomassan som skogsproduktionen ger i form av biobränslen. Biobränslen delas in i olika kategorier av biologiskt baserade råvaror (Egnell *et al.* 2013). Dessa råvaror består av flera undergrupper beroende på ursprung (Figur 1).



Figur 1 Biobränslen uppdelade med avseende på ursprung (Egnell *et al.* 2013)
 Figure 1 Biofuel divided depending on origin (Egnell *et al.* 2013)

År 2015 stod biobränsle för 134 TWh av Sveriges totala energitillförsel på 525 TWh (Energimyndigheten 2017), nettoutfallet användbar energi var dock i realiteten 370 TWh. De beror bland annat på energiförluster i tillverkning och distribution (omvandling i kraftanläggningar, värmeverk och gasverk m.m.). För att uppnå miljömålen och samtidigt förse samhället med den energi som krävs kommer kraven på förnybara energikällor att öka, både i kvalitet och kvantitet (Naturvårdsverket 2008), samtidigt som den aktuella förbränningen av fossila bränslen förväntas minska.

Biobränslen står för 25 % av energitillförseln och har potential att öka sin andel under den närmaste tiden (Egnell *et al.* 2013). Det kan ske i form av ökad skörd av grot, stubbar och klana trädstammar. Finns det även en marknad med hög betalningsvilja för biobränslen kan omfördelning av stamved mellan skogsindustri och energiproducenterna bidra till ökad mängd råvara. Hur stubbskörd kan komma att påverka de sociala och ekologiska värdena är ännu svåra att besvara och det krävs mer forskning inom området.

Fördelat på de primära energikällorna grot, brännved och stubbar uppgick den årliga energitillförseln år 2005 till 20 TWh (Egnell *et al.* 2013). Skogsstyrelsen (2008) menar på att även om de ekologiska restriktionerna för att uppnå ett hållbart utnyttjande är låga, bör den reella hållbara potentialen hos enbart stubbskörd kunna ligga på en nivå närmare 21–34 TWh per år under perioden 2010–2019.

Stubbar är idag en av de minst nyttjade primära skogsbränslena (Egnell *et al.* 2013). Det beror till stor del på att certifieringar som Forest Stewardship Council (FSC) och Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) endast tillåter en begränsad areal stubbruten mark per år. Genomslaget blir stort då stora delar av den svenska skogsindustrin lyder under dessa certifieringskrav.

1.2 Stubbskörd

1.2.1 Historik

Historiskt sett har stubbar varit ett intressant sortiment, användningen har emellertid varierat genom åren som en följd av teknikutveckling och utökad kunskap om virkestillgången i Sverige (Stendahl 2009). Under 1500-talet skördades tallstubbar främst i syftet att producera tjära för impregnering av båtar till den kungliga flottan och för tillverkningen av rep. Tjära var under många år en viktig exportvara för Sverige och de övriga nordiska länderna eftersom de under en tid stod för större delen av den dåvarande världsmarknaden. Tjära framställdes i hela landet under hela perioden från 1500 till mitten av 1900-talet och den största tillverkningen var lokaliserad i norr. Vid kulminationen i mitten av 1800-talet stod Västerbotten för i stort sett all tillverkning av trätjära i Sverige.

Under 1970- och 1980-talen befarades en virkessvacka med brist på råvara för massabruken och för att fortsatt kunna förse industrierna med råvara påbörjades en mer intensiv stubbrytning kring Mackmyra i närheten av Gävle (Stendahl 2009). Att använda stubbved för produktion av massa visades emellertid vara svårt då stubbar innehåller stora mängder föroreningar, bland annat grus och sten som försvårar användningen i massabruken. Det är en av anledningarna till att det idag endast förekommer som skogsbränsle sortiment.

1.2.2 Teknik och utförande

Tekniken för stubbskörd som används idag utvecklades redan på 70-talet och var då baserat på ett stubbskördssaggregat monterat på en grävmaskin av större modell (Jonsson 1985). Grävmaskiner för upptagning av stubbar bör enligt Lindroos *et al.* (2010) hålla en vikt på ca 20–23 ton och vara bandgående i standardutförandet. Bredden på band varierar och på trakter med blötare terräng är ett bredare band för ökad bärighet att föredra. Utöver det bör grävmaskinen även utrustas med en förstärkande plåt monterad under maskinen, dessa så kallade hasplåtar skyddar maskinen från stubbar och stenar eftersom de annars kan orsaka skador vid

körning i svår terräng. Bandgrävare används främst som grundmaskin på grund av dess stabila uppbyggnad och kraftiga kran som med lätthet klarar av att lyfta upp även mer krävande stubbar.

Bearbetning av stubbarna börjar i marken och fortsätter enligt momentindelningen som följer. Aggregatet griper om stubben och lyfter den (upplyftning), efter detta följer momentet (rensning). Där grus och andra föroreningar avlägsnas genom att maskinisten ruskar om stubben. En del aggregat är även utrustade med en sax som de använder för att klyva stubben i fler bitar både i marken och efter lyftet (Lindroos *et al.* 2010) (Figur 2).

De utförs bland annat för att underlätta lyftmomentet och möjliggöra en effektiv och snabb torkprocess i stubbhögen på hygget och vid avlägg intill väg (Hofsten *et al.* 2012). Efter detta följer (kranrörelse) som avser hantering av stubbarna när kranen rörde sig i någon riktning i sidled för att flytta stubbveden till exempelvis en hög. Övriga moment i arbetet var (körning, avbrott och övrigt) (Hedman 2008). För ingående beskrivning se Tabell 3.

Enligt Hofsten *et al.* (2012) är klyvning en viktig faktor för tidsåtgången under brytningsprocessen, men klyvningen är även nyttig för att avlägsna skräp och förbättra hanteringen i andra delar av den logistiska försörjningskedjan. Exempelvis kan vissa stubbar vara för stora för en del krossaggregat, eller för stora för en effektiv transport. Stubbar krossas till skillnad från andra biobränslen som oftast flisas. Krossaggregaten kan hantera den stora mängden föroreningar som stubbveden innehåller och för att ytterligare minska föroreningar i bränslet används siktar, som i slutet på maskinen som siktar bort sten och grus (Bertilsson 2011).



Figur 2 Stubbgrepp Biorex 30 tillverkat av ufoAB
Figure 2 The stump harvesting head biorex 30 manufactured

Efter hantering med grävmaskin används en modifierad skotare för att skota fram stubbveden till ett vägavlägg. Skotaren är av vanlig skotartyp utrustad med en lastbalja och större gripverktyg avsedd för hantering av stubbar (Jonsson 1985).

1.2.3 Forskning

Ett antal studier har genomförts för att bereda en grund för brytning av stubbar i Sverige som en framtida energiresurs. Studierna är utförda av bland annat SLU och Energimyndigheten. Energimyndighetens sammanställning av kunskapsläget visade att det fanns ett brett forskningsutrymme gällande flertalet aspekter inom stubbskörd. Aspekter som innefattar produktion, ekonomi och miljöpåverkan (Egnell 2007). Karlsson (2007) och Hedman (2008) är två studier som undersökt produktiviteten för olika typer av stubbrytaraggregat, där aspekter som geografiskt läge och bördighet var en faktor. Eftersom de är bland de första studierna sedan stubbrytning återigen aktualiserats kommer med all sannolikhet den tekniska utvecklingen

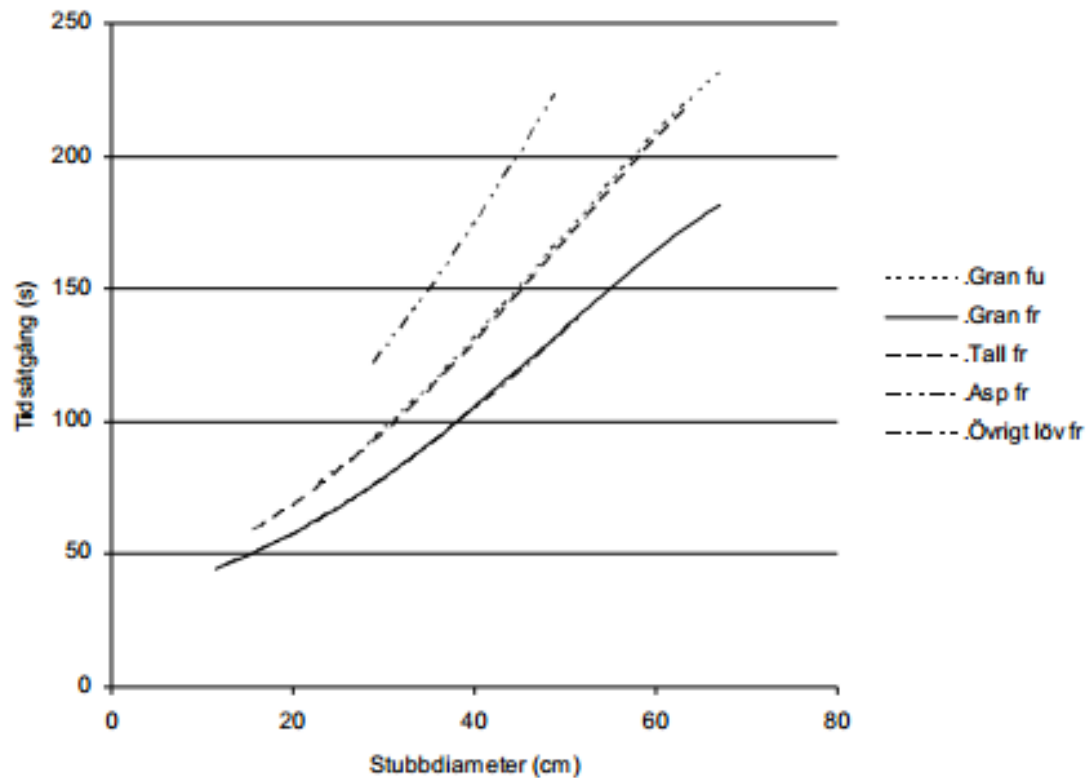
medföra bättre aggregat, som bör studeras med avseende på produktivitet och ekonomi (Karlsson 2007). Karlsson (2007) konstaterade att den stubberoende variabeln diameter i stubbskäret starkt påverkade prestationen vid stubblyftning.

En av flera studier som behandlar klimatmässiga värden visar på en ökning av kväveutlakningen från trakter där stubbskörd utförts och som ett resultat av större yta exponerad mineraljord. Skillnaden i denna studie baseras på en jämförelse mellan standardiserad markberedning och stubbrytning (Kataja 2012).

En annan studie visar att värme och elektricitet skapad från bibränslen hade en stor klimatnytta i förhållande till liknande typ av förbränning av fossila bränslen. Nyttan varade under en tidsperiod på 20 till 120 år efter slutavverkning (Persson 2016).

På grund av avsaknaden av kunskap om miljöeffekter vid stubbskörd har Skogsstyrelsen tagit fram rekommendationer baserade på försiktighetstänkande. Sett i areal anses 5–10 % av den årliga förnygringsavverkade arealen vara en hållbar yta att skörda stubbar på. Denna areal kommer enligt beräkningar att resultera i måttliga till acceptabla negativa biologiska effekter. Utöver arealen finns ett flertal andra rekommendationer publicerade i en handbok om stubbskörd, producerad av Skogsstyrelsen (Stendahl 2009). Rekommendationerna innefattar riktlinjer om var stubbrytning inte är lämplig, till exempel i syfte om att förhindra slamtransport och urlakning av näringsämnen.

Hedman (2008) presenterade resultat som visar hur lång tid det tar för ett Pallari-aggregat att bryta upp en stubbe med en specifik diameter, givet olika trädslag och marktyper. Den totala upptagningstiden för stubbarna var nära nog det dubbla vid en stubbdiameter på 50 cm kontra en på 25 cm, se Figur 3. Produktiviteten låg i genomsnitt på 4,12 tonTS/G₀ –timme för Hedman (2008).



Figur 3 Total tidsåtgång för stubbskörd (upplyftning, rensning, kranrörelse, igenläggning av hål, körning och övrigt) som funktion av stubbdiameter (Hedman 2008)

Figure 3 Time consumption for stump harvesting (lifting, cleaning, crane movements, filling of holes, driving and other) depending on stump diameter (cm) (Hedman 2008)

En finsk studie har jämfört tre olika aggregat (Palander *et al.* 2015).

I den studien framkommer varierande produktivitet beroende på vilket fabrikat som används för stubbskörden. Terosa är det märke som hade högst produktivitet, Väkevä och Xteho låg något lägre. Terosas aggregatet uppnådde en produktivitet på 7,1 tonTS/G₀-h vid skörd av stubbar med diametern 40 cm.

För att överväga stubbrytning bör bestånden ha en stor andel stubbar med diameter i intervallet 20–70 cm (Karlsson 2007). Då en studie av Kärhä (2012) från Finland indikerar att skörd av stubbar med en diameter under 20 centimeter ger en negativ påverkan på produktiviteten, bör dessa stubbar därmed lämnas oskördade. Eftersom det påverkar nettoresultatet i slutändan. Tidigare rapporter inriktade på produktiviteten hos stubbrytare Hedman (2008) och Karlsson (2007) visar vilka arbetsmoment som har den största tidsåtgången och var de ligger i stubbrytningen.

Gällande det finska stubbaggregatet Pallari (KH 160) och på grandominerade marker av frisk typ ligger övervägande del av tidsåtgången i kranhanteringen (45 %). Näst största tidsmoment är rensningsarbetet på 25 % av total tidsåtgång för stubbskördaren.

För att säkra kvaliteten på skogsbränslet och framförallt minska halten av askpartiklar och fukt i den slutliga produkten rekommenderas enligt Anerud & Jirjis (2011) att stubbveden skall lagras under en längre tid. Denna lagring bör vara 13–16 månader för att torka och underlätta rensningen innan krossning av materialet och efter denna tid kommer askhalten ligga under 4 % som anses vara en riktlinje för värmeverken. Det bör även nämnas att förhållandena vid skörd av stubbar påverkar innehållet av oorganiska ämnen, förhållanden som årstid och tid efter avverkning. Även markförhållandena hade en stor påverkan i form utav jordmån.

Stubbskörden är mer aktuellt nu än tidigare (Egnell 2007). Det ger incitament till att utveckla nya aggregat och applikationer för arbetet. Dessa produkter kommer att behöva analyseras och studeras med avseende på produktivitet, påverkan på mikroklimat samt även dess påverkan i ett större perspektiv.

1.2.4 Tidsstudie

Arbetsstudier går att dela in i fyra principiella kategorier, tidsstudie, frekvensstudie, elementärtidsstudie och tidformel (Olhager 2000). I arbeten med produktiviteetsfunktioner bör en kontinuerlig tidsstudie föredras på grund av att de ger ingående information om tidsåtgången för olika arbetsmoment och även den totala uppmätta tiden per moment, då arbetet behandlas kontinuerligt under observationstiden (Forsberg & Romuk-Wodoracki 2015).

1.2.5 Syfte och Hypotes

Syftet med studien var att ta reda på hur produktiviteten (tonTS/Go-h) påverkas av stubbdiameter och avstånd i sidled från centrumlinjen. För beskrivning av centrumlinjen, se Material och metod under kapitel 2.

Hypotesen var att produktiviteten ökar med större stubbdiameter samt att den minskar med längre avstånd i sidled från centrumlinjen.

1.2.6 Frågeställning

Hur påverkar stubbdiameter och avstånd till centrumlinjen produktiviteten vid stubbrytning?

2. MATERIAL OCH METODER

2.1 Plats och information om stubbar

Stubbrytningen har skett på två olika trakter i Jämtlands län, Munkflo och Storahögen. Arbetet utfördes under perioden juni och juli 2012. På båda trakterna skördades fyra stycken försöksytor med måtten 50x20 m motsvarande 0,1 ha. Med undantag för de ytor med mindre än 50 stubbar på ytan som då utökades till 80x20 m motsvarande 0,16 ha (Tabell 2). Hyggena var till stor del grandominerade med enstaka inslag av tall (*Pinus sylvestris L.*) och lövträd. Det var emellertid enbart gran (*Picea abies L.*) som skördades under denna studie.

Informationen som var tillgänglig om stubbarna innan stubbskörden var trädslag, medeldiameter i stubbhöjd, längd- och sidposition i förhållande till centrumlinjen. Centrumlinjen är en tänkt linje som går genom centrum av provytan för att på de viset se stubbarnas förhållande till varandra och även hur långt grävaren behöver förflyttas mellan varje stubbe. Provytorna är utmarkerade kvadrater i terrängen som visar inom vilket område som stubbskörden kommer ske och centrumlinjen går parallellt genom dessa ytor. För att estimeras varje stubbes torrsvikt användes biomassa-funktioner från Marklund (1988). Då denna formel baserades på trädets brösthöjdsdiameter (Dbh) och inte stubbens diameter krävs ett omvandlingstal från stubbdiameter till Dbh. För gran är omvandlingstalet 0,765 enligt Karlsson (2007) (Tabell 1 och 2).

Funktion för granens stubbrotsystem (torrsvikt):

$$Biomassan = e^{\left(\left(\frac{d}{d+14}\right)^{10,5381-2,4447}\right)}$$

Massan mäts i KgTs; Kilogram torrs substans

d är Dbh och mäts i centimeter

Antalet stubbar varierade mellan 72 till 98 för de fyra ytor som studerades vid Munkflo. Den beräknade vikten av torrs substans per stubbe låg mellan 0,047 TonTS och 0,081 TonTS (Tabell 1).

Tabell 1 Grunddata från ytorna vid Munkflo innan skörd
Table 1 Information about the Munkflo harvesting site before harvest

YTA	1	2	3	4
ANTAL STUBBAR	72	80	78	98
MEDEL (TON/TS)	0,0551*	0,0484*	0,081*	0,047*
MEDEL DIAMETER (CM)	28 (8,8)	25,8 (8,1)	31,2 (11,2)	25,7 (8,5)
STUBBAR/HA (ST)	720	800	780	980
EJ SKÖRDADE (ST)	14	9	12	7

* markerar värden framtagna med (Marklund 1988)

() Markerar Standardavvikelsen

Antalet stubbar varierade mellan 55 till 114 för de fyra ytor som studerades vid Storahögen. Den beräknade vikten av torrs substans per stubbe låg mellan 0,0631 TonTS och 0,0919 TonTS (Tabell 2).

Tabell 2 Grunddata från ytorna vid Storahögen innan skörd
Table 2 Information about the Storahögen harvesting site before harvest

YTA	1	2	3	4
ANTAL STUBBAR	55	65	114	81
MEDEL (TON/TS)	0,0873*	0,0919*	0,0644*	0,0631*
MEDEL DIAMETER (CM)	33 (10,8)	32,4 (16,1)	28,7 (10,3)	28,8 (10,7)
STUBBAR/HA (ST)	344"	406"	1140	810
EJ SKÖRDADE (ST)	7	12	22	7

* markerar värden framtagna med (Marklund 1988)

() Markerar Standardavvikelsen

" markerar ytor med areal 0,16 ha

2.2 Maskin och utrustning

Maskinen som användes vid stubbrytningen var en grävmaskin av märket Hyundai, modell 210 i standardutförande. Grävmaskinen var utrustad med ett BioRex 30 aggregat som var tillverkat av UFO (Umeå försäljning AB).

Aggregatet var en hydraulisk stubbgrep med en vikt på 1 500 kg och hade en klippkraft som motsvarar 30 ton, knivens syfte var att klyva stubben i och ovan mark (Figur 2). Det för att underlätta lyftning av stubbarna och minimera mängden föroreningar som ändå kan uppgå till 20 % samt underlätta i torkprocessen (Karlsson 2007).

Kameran som användes vid inspelning av stubbrytningen arbetade med 25 bildrutor per sekund. Bildrutor per sekund eller Frames Per Second (FPS) är ett mått på hur snabbt en film behandlas i en uppspelningsenhet. Standardhastigheten för tv motsvarar 25 FPS. Det inspelade materialet var klippt för att enbart innehålla faktiska arbetsmoment och minska avbrott samt körning som inte räknas in i produktivetsberäkningarna.

2.3 Processer och momentindelning

Stubbskörden började med att aggregatet grep tag om stubben och drog upp den ur marken, om stubben var för stor eller av annan anledning satt fast kunde Biorex 30 aggregatet klyva den redan i marken för att underlätta lyftmomentet. Utöver jordklyvning löd förarinstruktionerna att en stubbe skulle klyvas fyra gånger, även om det kunde vara svårt för mindre stubbar.

Studien avvek från normala instruktioner vid stubbskörd då stubbar under 20 cm i diameter skördades. Att skörda stubbar under 20 cm bör normalt inte ske då det kan påverka produktiviteten i en negativ riktning (Egnell 2007).

Tidsstudien utfördes framför dator utifrån det inspelade materialet och den momentindelning som valdes beskrivs i Tabell 3. Momentindelningen utformades i stora drag efter tidigare studier (Hedman 2008; Karlsson 2007) med vissa korrigeringar för att studien ska vara jämförbar med tidigare studier. Momentet markberedning ansågs inte vara nödvändigt då maskinföraren endast fyllde i hål efter stubbar.

Studien gjordes med hjälp av en tidsstudieapplikation i Excel utvecklad av Metla (nuvarande LUKE) (Nuutinen *et al.* 2016; Niemistö *et al.* 2012). Applikationen utvecklades i syfte att lättare kunna analysera videofilm material med hjälp av Microsoft Visual Excel. Filmmaterialet lades in i uppspelningsdelen i Excel-arket där analysen sedan ägde rum. Programmet sparar information i form av tidsintervall kopplade till den momentindelning som valts.

Tabell 3 Beskrivning av arbetsmomentindelning

Table 3 Description of the different work elements used in the time study.

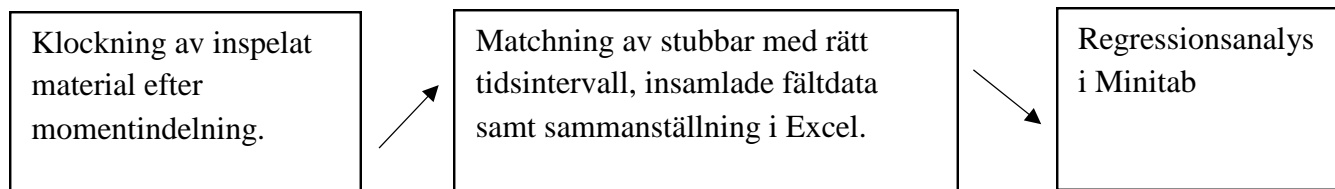
ARBETSMOMENT	BENÄMNING	MOMENTGRÄNS	PRIORITET
UPPLYFTNING	Uppl	Börjar med att aggregatet griper stubben som ska lyftas. Avslutas när kranen skakar aggregatet, eller är i högsta position.	1
KRANRÖRELSE	Kran	Börjar när kranen röra sig i sidled och slutar när kranen står stilla. Även plockning av redan upplyfta delar som inte tydligt sitter fast i marken. Även fortsatt rörelse mot ny stubbe för moment 1.	2
RENSNING	Rens	När maskinen klyver och släpper ned stubbdelar i marken för att rensa dem från jord. Även sortering av stubbdelar i stubbhögen.	3
KÖRNING	Körn	Börjar då maskinen startar en rörelse i någon riktning och avslutas när maskinen står stilla igen.	3
AVBROTT	Avb	Driftstörning	4
ÖVRIGT	Övg	Aktivitet som inte passar in i ovan nämnda.	5

Momenten benämns med förkortningar som underlättar arbetet i Metla programmet.

För att reda ut när ett moment skall övergå i ett annat har enskilda moment delats in i olika prioriteringsordningar. Då arbetsmoment med högre prioritetnivå startar avslutas arbetsmoment med lägre prioritet (Tabell 3).

2.4. Analys av data och arbetsgång

Arbetsgång



Figur 4 Grovt flödesschema för arbetsgången av studien

Figure 4 Flow chart of the workflow in the study

För att utföra den statistiska analysen har data vidare bearbetats i Excel. Tidsåtgången per arbetsmoment som togs fram med hjälp av Metlas tidsstudieapplikation kopplas till rätt stubbe, stubbdata kommer från fältinventering innan och under stubbskörd. Stubbarna har fått en tidstagg för den ungefärliga mitt (mellan första upplyft och lyft av nästa stubbe) av skörden av den enskilda stubben, det gjorde att skördade stubbar kunde kopplas till en tid samt annan data som diameter och sidposition. Får föraren tag i fler stubbar eller att det finns andra oklarheter som gör att distinktion för individuella stubbar är svår, då lämnas den utanför studien, får ingen tidstagg och uteblir från kategorin studerade stubbar. Enbart stubbar kopplade till en tid räknas som studerade stubbar.

På så sätt kom varje enskild stubbe att behandlas i Minitab med avseende på tid per moment, vikt och avstånd till centrumlinjen. Vikten analyseras i form utav tidsåtgång och produktiviteten (Ton/Go-h). Arbetsmomenten som gäller avbrott och körning användes inte i den statistiska analysen då de inte ansågs ingå i själva skördandet av stubbarna. De är däremot med i den totala tidsåtgången.

Analysen av insamlade data från de filmade materialet utfördes med hjälp av en regressionsanalys. Regressionen syftade till att jämföra de oberoende variablerna, stubbdiameter och längd från centrumlinjen mot den beroendevariabeln tidsåtgången per stubbe och senare produktivitet. Det resulterade i en regressionsanalys med avseende på tid per diameter i stubbskäret. Samt produktivitet per stubbe, produktiviteten baseras på tid per ton givet en diameter i stubbskäret.

De åtta olika försöksytorna analyserades separat med avseende på tidsåtgång per stubbe, resultatet sammanslogs sedan för att få så stort sammanhängande material som möjligt. Ett tvåparat t-test gjordes för att säkerställa att materialen från de två trakterna inte var signifikant olika, för att på så sätt kunna slå samman resultaten. Det tvåparade t-testet utfördes på produktiviteten för trakterna.

För de statistiska analyserna användes programmet Minitab, där gränsen för signifikans valdes till 95 %. Vid bedömning av normalfördelningen hos det insamlade materialet användes en visuell metod, där residualplottar från Minitab analyserades. Enligt de fyra residualdiagrammen Versus fits, Normal probability plot, Histogram samt versus order (Samuels 2016).

3. RESULTAT

3.1 Stubbdata

Antalet studerade stubbar per hektar (ha) för ytorna varierade enligt (Tabell 4 och 5) med ett medeltal på 402 för Storahögen och 447,5 för Munkflo. Medeldiametrarna för de två bestånden varierade mellan 32,5 cm för Storahögen och 29,2 cm i stubbskåret för Munkflo.

Genomsnittsmassan för studerade stubbar på de två trakterna var 0,0874 TonTS för Storahögen och 0,0657 TonTS för Munkflo.

Tabell 4 Data från studerade stubbar på Storahögen efter skörd
Table 4 Information from Storahögen about studied stumps

yta	1	2	3	4	Medel
Antal studerade stubbar (st)	32	35	45	49	40,2
Antal studerade stubbar/ha	200	219	450	490	402,5
Diameter (cm)	35,2	37,6	28	29,32	32,5
Massa (TonTS)	0,0977	0,1236	0,0611	0,0674	0,0874

Tabell 5 Data från studerade stubbar vid Munkflo efter skörd
Table 5 Information about Munkflo after harvesting

yta	1	2	3	4	Medel
Antal studerade stubbar (st)	39	38	41	61	44,8
Antal studerade stubbar/ha	390	380	410	610	447,5
Diameter (cm)	28	27,3	34,8	26,8	29,2
Massa (TonTS)	0,0595	0,0536	0,0982	0,0516	0,0657

Vikt är framtaget med hjälp av (Marklund 1988) biomassafunktioner.

Det fanns ingen signifikant skillnad för produktiviteten mellan trakterna Munkflo och Storahögen, vilket P-värdet på 0,541 indikerar. Därför slogs materialet samman i den fortsatta analysen.

3.3 Tidsåtgång vid stubbskörd

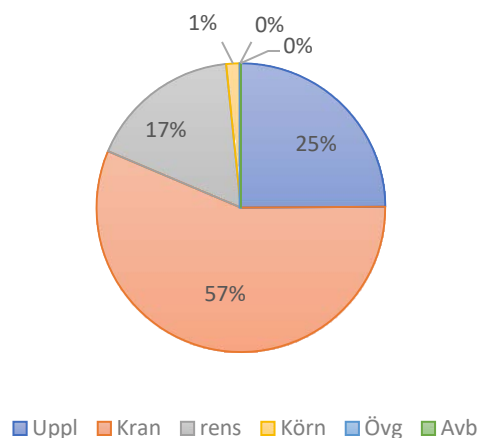
Baserat på ett medeltal av studiens alla brutna stubbar uppgick arbetstiden per stubbe i medel till 30 sekunder (Tabell 7).

Tabell 6 Medeltal för tidsåtgången och produktiviteten för alla skördade stubbar inkluderande momenten (Uppl, Kran och Rens) vid diameter 30,4 cm

Table 7 Total time spent and productivity for the work elements (Lift, Crane and Clean) at average diameter 30,4 cm.

Tid/stubbe (sek)	Stubbar/h	Ton/h	Medeldiameter
30	119	8,5	30,4 cm

Majoriteten av det produktiva arbetet bestod av kranrörelse medan upplyftning och rensning stod för mindre delar (Figur 5). Resterande arbetsmoment förekom sparsamt.



Figur 5 Arbetsmomentens fördelning i % för alla uppbrutna stubbar (ink ej studerade stubbar). Förkortningar se tabell 3.

Figure 5 Relative distribution of work elements (%) for all harvested stumps (excluding non-studied stumps). Abbreviations in Table 3.

3.4 Regressions analys

P-värdet för den beroende variabeln avstånd från centrumlinjen påverkar inte tidsåtgången vid stubbskörden då signifikansnivån ligger på 95 % (Tabell 8).

Tabell 7 Regressionsfunktion för sidpositionens påverkan gentemot centrumlinjen.

Table 8 Regression function impact of the stumps' side position on against the centrum strip.

Source	DF	F-value	P-value
Regression	2	201,8	0,000
Diameter vid stubbskåret	1	400,01	0,000
Avstånd från centrumlinjen	1	1,57	0,211

När regressionskoefficienten och interceptet har ett visst värde kan man med hjälp av ett P-värde som man räknar fram ta reda på sannolikheten att hypotesen är fel. Ett P-värde tar man fram med hjälp av statistikprogram

DF=Frihetsgrader

Stor påverkan på tidsåtgången för stubbskörden hade variabeln diameter vid stubbskåret, P-värdet för denna variabel var 0,000, vilket tyder på att noll hypotesen kan förkastas och variabeln påverkar tidsåtgången. R-Sq(adj) 61,4 är en koefficient som anger hur stor del av variationerna i den beroende variabeln (diameter) som kan förklaras av variationer i den oberoende variabeln (tid) (Tabell 9).

Tabell 8 Regressionsfunktion samt beslutsvariabler för (Uppl, Kran och Rens)

Table 9 Regression function and decision variables for the time consumption given (lift, Crane and Clean) depending on stump diameter

Funktion	$Tid(sek) = 11,97 + 0,0318 * (diameter\ vid\ stubbskär) + (diameter\ vid\ stubbskär)^2$					
<u>Analysis of variance</u>						
Källa	DF	SS	F	P	S	R-Sq (adj)
Regression	2	45 829	213,6	0,000	10,16	61,4 %

DF= Degrees of freedom

SS=Sum of squares

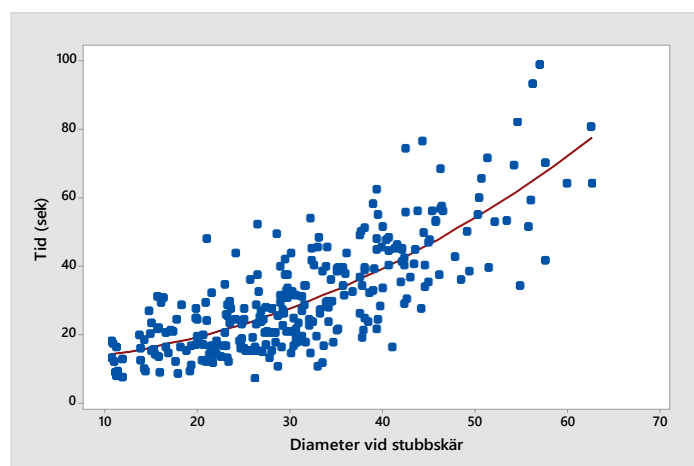
F= F-value

P= P-value

S= Standard deviation

R-Sq=Statistical measure that states how much of the result is explained by the function.

Regressionsfunktion för upparbetning av en stubbe baserat på brösthöjdsdiameter samt medföljande funktionsdiagram (Figur 6)



Figur 6 Observerad Upparbetningstid per stubbe innefattande (Uppl, Kran och Rens) beroende på stubbdiameter (cm) samt regressions funktion

Figure 6 Time consumption per harvested stump for (lift, Crane and Clean) depending on diameter (cm), and the regression line

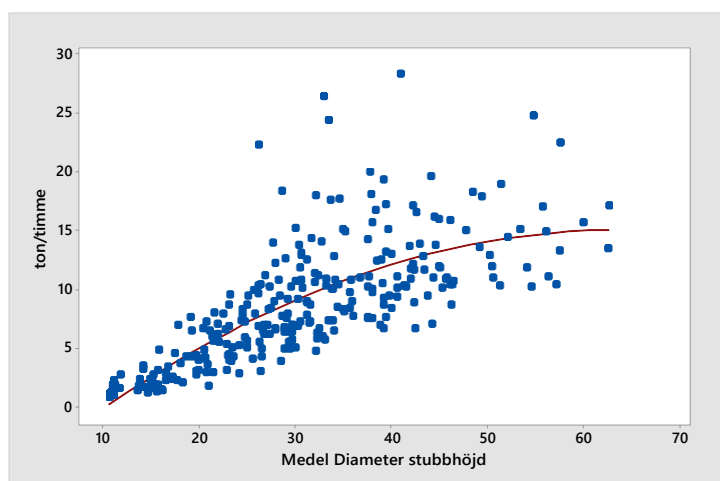
3.5 Produktivitet

Diameter vid stubbskåret påverkade signifikant produktiviteten för stubbskördaren (Tabell 10), P- värdet för denna variabel var 0,000 det tyder på att noll hypotesen kan förkastas och variabeln påverkar tidsåtgången. Figur 7 visar på produktiviteten vid varierande diameter i stubbskåret.

Tabell 9 Regressionsfunktion för produktiviteten vid stubbskörd samt statistiska beslutsvariabler.

Table 10 Regression function for stump harvesting productivity and statistical decision variables.

Funktion	$\frac{\text{Ton}}{\text{timme}} = -6,395 + 0,6764 * (\text{diameter vid stubbskär}) - 0,005379 * \text{diameter vid stubbskär}^2$					
<u>Analysis of variance</u>						
Källa	DF	SS	F	P	S	R-Sq (adj)
Regression	2	3 809	1 622	0,000	3,42	53,7 %



Figur 7 Observerad produktivitet (ton/h) per stubbe innefattande momenten (Uppl, Kran och Rens) beroende på diameter i stubbskåret. Samt en regressionsfunktion

Figure 7 Observed productivity (ton/hour) per harvested stump based on work phases (Lift, Crane and Clean). Including a regression chart.

4 DISKUSSION

4.1 Material och metod

Det inspelade materialet har i stora drag varit enkelt att analysera med ett fåtal undantag från insamlandet. Inspelandet av filmerna har skett från en position utanför hytten på grävmaskinen, det har möjliggjort en bredare överblick av stubbskörden. För att vid framtida studier underlätta arbetet med att analysera och bearbeta dessa filmer önskas en annan typ av kameraplacering. Genom att placera kameran i hytten, riktad mot förarens synriktning eller eventuellt på kranen riktad ner mot aggregatet så skulle själva arbetsprocessen tydligare gå att urskilja. Det blir inte heller någon data som försvinner på grund av att föraren utför oväntade rörelser och hamnar ur bild. Analysen kommer då enbart behandla stubbar som är aktuella och tid som annars skulle gå till att urskilja stubbar som inte går att använda skulle minskas.

Det finns även andra fördelar med att sätta kameran i hytten. Ur säkerhetssynpunkt slipper någon person att vistas runt maskinen och filma. En annan aspekt är att det finns en risk att personen som blir studerad överpresterar, att personen helt enkelt jobbar fortare än vad den skulle gjort i vanliga fall när den inte blir studerad. På så sätt ges inte ett korrekt resultat, eftersom de resultat som ges i studien inte baseras på normala prestationsförhållanden.

För att kunna redogöra för en mer specificerad produktivitet likt den i andra fallstudier kan övrig information om GYL förhållanden samt årstid vara aktuella. Även en vidare studie innefattande fler trädslag på mer varierande marker, för att kunna få mer kunskap om vilka marker som ger en tillräckligt hög produktivitet för att det ska vara värt att bedriva stubbrytning. Något som kan ses i (Palander *et al.* 2015) är att det kan skilja mellan olika aggregat, även det vore en intressant analysaspekt.

Avståndet till centrumlinjen är beroende av stubbskördarens position i förhållande till stubben och bör i teorin påverka uppärbetningstiden. Genom att kranen får arbeta längre ifrån maskinens tyngdpunkt och därmed öka belastningen bör även denna tidsåtgång öka, det bör i sin helhet minska produktiviteten för hela arbetsprocessen. Det gick däremot inte att bevisa något samband mellan avståndet till centrumlinjen och produktiviteten i vår fallstudie. För att kunna göra denna typen av analys i framtida studier kan några förfiningar behövas. Genom att använda en fast position som aggregatet arbetar mot vid uppärbrytningen av stubbarna kommer tidsåtgången troligtvis gå att koppla till avståndet från denna fasta punkt. Ett exempel på en sådan punkt är stubbhögen eller centrumlinjen. På sättet studien var utformad kan maskinisten ta upp ett flertal stubbar utan att återgå till någon form av nollpunkt. På grund av det blev analysen svår, då det inte gav tillförlitligt data för alla stubbar.

4.2 Stubbddata

De två trakterna som studerades gav en antydning om att vara relativt lika i övriga yttre påverkande faktorer, som GYL etc. Men för att på något sätt säkerställa att det går att sammanslå ytorna gjordes ett statistiskt test. För att kunna sammanföra data från dessa två trakter har ett Tvåparat T-test utförts, testet visade på att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan trakterna och en vidare analys kunde genomföras. Testet analyserar variansen mellan produktiviteten på två medelvärden och det resultat som framkom visade på att en sammanslagning av trakterna vore fördelaktigt.

4.3 Tidsåtgång och Produktivt

Den relativa arbetsmomentfördelningen för denna studie skiljer en aning från tidigare studier, bland annat (Hedman 2008). Det som skiljer dessa åt kan till stor del bero på att momentindelningen varierar mellan studierna men även saker som att insamlandet av data skiljer. Det inspelade materialet som denna studie har tagit del av har varit klippt för att minska påverkan av moment som för vår studie saknar betydelse. Delar som körning, avbrott och övrigt förekom i försvinnande liten del i det tillgängliga materialet, något som tydligt visas i resultat (Figur 5). Momenten som till stor del är bortklippta har enligt denna studie inte heller någon större påverkan på aggregatens produktivitet vid normal körning.

Något som är anmärkningsvärt gällande tidsåtgången per stubbe för studien av (Hedman 2008) är att tiden för upptag av en stubbe på 40 cm i stubbhöjd har minskat markant i denna studie. Det beror troligen på förändrad momentindelning, det bör dock inte vara den enda förklaringen. Det kan också vara skillnader i aggregaten och arbetsinstruktionerna som givits. Den minskade tidsåtgången har även påverkat produktiviteten vilket syns tydligt. Denna studie visar en fördubbling av produktivitet jämfört med (Hedman 2008). Övrig information som kan påverka produktiviteten kan vara väderlek och årstid och föraren, även fast arbetsinstruktionen är desamma.

Även (Palander *et al.* 2015) visar på en högre produktivitet jämfört med (Hedman 2008). Där syns att vid en stubbdiameter på 40 cm har de en produktivitet på 7,1 ton/h. För lika grova stubbar i vår studie uppgår produktiviteten till 12 ton/h. Vid jämförelser med dessa studier har utvecklingen gått starkt framåt på 10 år. Ifall det fortsätter i denna takt kan stubbrytning ha en bättre framtid.

För att studera hur pass stor påverkan stubbar som är under 20 cm i stubbdiameter har på produktiviteten bör fler analyser göras. Det hade även i mån av tid varit intressant att i vår studie plockat bort stubbar under 20 cm för att se dess påverkan i materialet. Påverkan bör troligtvis visa på en större produktivitetsökning gentemot (Hedman 2008) tidigare rapport. Något annat intressant hade varit att studera kostnadsberäkningar för att få en större förståelse för lönsamhet.

4.4 Slutsatser

Resultatet tyder på att hypotesen stämmer till stor del. Den förväntade tidsåtgången kommer att öka med en ökande stubbdiameter för aggregatet Biorex 30. Lika så kommer produktiviteten att öka med ökande diameter, då volymen biomassa per tidsenhet ökar. Att tidsåtgången skulle påverkas av förflyttning i sidled kunde inte bevisas med denna studie.

REFERENSER

- Anerud, E. & Jirjis, R. (2011). Fuel quality of Norway spruce stumps - influence of harvesting technique and storage method. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(3), pp. 257-266.
- Naturvårdsverket (2008). Miljömålen: *Nu är det bråttom! Miljömålsrådets utvärdering av Sveriges miljömål*. Stockholm, Sweden: Naturvårdsverket.
- Skogsstyrelsen (2008). *Skogliga konsekvensanalyser 2008*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag. Skogsstyrelsen. (Skogsstyrelsen Rapport, 2008:25).
- Bertilsson, M. (2011). *Grovkrossning av stubbar - en produktivetsstudie SLU*. Examensarbete D 30 p. Institutionen för skoglig resurshushållning Umeå Arbetsrapport, 335
- Egnell, G. (2013) *Skogsbränsle*. Skogsskötselserien del 17. [online] Tillgänglig: www.Skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2018-04-05]
- Egnell, G., Hyvönen, R., Högbom L., Johansson T., Lundmark T., Olsson B., Ring E., Von Sydow F. (2007). *Miljökonsekvenser av stubbskörd – en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet. Rapport ER 2007:40. 116 p.
- Energimyndigheten, (2017). *Energiläget 2017*, Eskilstuna: Bromma. Energimyndigheten. Upplaga 2017:12
- Forsberg, J. & Romuk-Wodoracki, K. (2015). *Tidsstudier och analyser av det interna transportarbetet av rundvirke och sågade produkter på ett sågverk*. Kandidatarbete G2E 15 p. SLU, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. Umeå. Arbetsrapport 9.
- Hedman, L. (2008). *Produktivitet vid stubbskörd*. Examensarbete D 30 p. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning. Umeå Arbetsrapport 219.
- Jonsson, Y. (1985). *Teknik för tillvaratagande av stubbved*. 1.uppl. Spånga: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Karlsson, J. (2007). *Produktivitet vid stubblyftning*. Examensarbete D 20 p. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning. Umeå. Arbetsrapport 168.
- Kataja-aho, S., Smolander, A., Fritze, H., Norrgard, S. & Haimi, J. (2012). Responses of Soil Carbon and Nitrogen Transformations to Stump Removal. *Silva Fennica*, 46(2), pp. 169-179
- Kärhä, K. (2012). Comparison of Two Stump-Lifting Heads in Final Felling Norway Spruce Stand. *Silva Fennica*, 46(4), pp. 625–640.

- Lindroos, O., Henningsson, M., Athanassiadis, D. & Nordfjell, T. (2010). Forces required to vertically uproot tree stumps. *Silva Fennica*, 44(4), pp. 681 - 694
- Marklund, L-G. (1988) *Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogstaxering. Umeå. Rapport 45.
- Niemistö, P., Korpunen, H., Laurén, A., Salomäki, M. Uusitalo, J. 2012. Impacts and productivity of harvesting when retaining young understorey spruces in final cutting of downy birch (*Betula pubescens*). *Silva Fennica* 46(1): 81–97.
- Nuutinen, Y., Petty, A., Bergström, D., Rytönen, M., Di Fulvio, F., Tiihonen, I., Lauren A., Dahlin, B. (2016). Quality and productivity in comminution of small-diameter tree bundles. *International Journal of Forest Engineering* 27(3), 179–187. DOI:10.1080/14942119.2016.1223926
- Olhager, J. (2000). Produktionsekonomi. s.102-110. Studentlitteratur. Lund.
- Palander, T., Smolander J. & Kärhä K (2015) Work system study of three stump-lifting devices in Finland, *Scandinavian Journal of Forest Research*, pp. 1-27. DOI: 10.1080/02827581.2015.1027731
- Persson, T., Palmér, C.H., Lithell, C. (red). (2017). *Stubbskörd – hur påverkas klimat och miljö?* Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).
- Persson, T. (2016) Stump harvesting – impact on climate and environment. *Forest Ecology and Management*, 371, pp.1–4. DOI: 10.1016/.2016.04.046
- Samuels, M.L. & Witmer, J.A., (2016) *Statistics for the life sciences 5. edition*, Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Stendahl, J. (2009). *Handbok stubbskörd*. Tabergs Tryckeri AB, Taberg. Skogsstyrelsens förlag. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/bruka-skog/avverkning/stubbskord.pdf> [2018-03-22]
- Thorsén, Å, Björheden, R. & Skogforsk, (2010). *Skogen: en växande energikälla: sammanfattande rapport från Effektivare skogsbränslesystem 2007–2010*, Uppsala: Skogforsk. URL: <https://www.skogforsk.se/contentassets/b43f244a4c4641d0aff6290a173eac27/skogen---en-vaxande-energikalla.pdf> [2018-03-22]
- Von Hofsten, H., Johannesson, T. & Anerud, E. (2012). *Effekter på stubbskördens produktivitet beroende på klippningsgraden*. (Arbetsrapport, 759). Uppsala: The Forestry Research Institute of Sweden.